

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**UNIVERSITE SAAD DAHLEB-BLIDA 1**

**Faculté De Technologie**

Département De Science De l'Eau Et Environnement



## **MEMOIRE DE MASTER**

Filière : **Hydraulique**

Spécialité : **Ressources Hydrauliques**

Thème :

**Étude de la qualité des eaux de consommation du barrage de Boukourdane  
(Wilaya de TIPAZA), impact potentiels sur la santé des populations.**

Présenté par :

**ZOUANI Nasreddine**

**GUERROUMI Djelloul**

Devant le jury composé de :

**Mr. GUENDOZ, A**

**Professeur**

**Examineur**

**Mr. HADDAD, A**

**M.C.B.UNIV.BLIDA 1**

**Président**

**Mme. BOUZOUIDJA, S**

**M.A.A.UNIV.BLIDA 1**

**Promotrice**

Promotion 2020/2021

*Nous remercions Dieu Le Tout Puissant, pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté d'étudier et pour nous avoir permis de réaliser ce travail dans les meilleures conditions.*

*Au terme de ce travail, Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos vifs remerciements à **Mme BOUZOUIDJA. S** pour son soutien, ses conseils et ses orientations.*

*Nos sentiments de profonde gratitude vont à **Mme BENKACI. S** chef de département des sciences de l'eau et environnement de l'université de BLIDA-1 ainsi qu'à nos professeurs qui nous ont transmis leur savoir sans réserve tout au long de nos années d'études.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font pour avoir accepté d'évaluer notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Un Merci pour le Directeur du Barrage Boukourdane, chef d'exploitation **Mr BOUINOUN. M**, et le chef de service maintenance d'usine de traitement **Mr METMATI. M**, le chef de service laboratoire **Mme DAOUAOUI. G**, le personnel de laboratoire **SEAAL Mme CHABNI. O** et **Mme ABID. R.***

*Merci à tous nos amis de l'Université chacun son nom.*

*A ma chère mère la lumière de ma vie,  
A la mémoire de mon père,  
A mes chers frères,  
A toute ma famille,  
A mes amis,  
A mes collègues*

*ZOUANI Nasreddine*

*Je dédie ce travail et le fruit de mes études en premier lieu à  
ceux qui m'ont donné la vie, qui m'ont été la source  
De l'amour, de la tendresse, et du courage, qui m'ont soutenu  
durant ma vie.*

*A mes très chers parents la lumière de ma vie.*

*A mes chers frères et mes sœurs.*

*A tout la famille GUERROUMI en générale.*

*A mes collègues de la promotion de 2<sup>ém</sup> année Master de  
Ressources en eau (2020-2021).*

*A tous mes chers amis qui sont proches de mon cœur.*

*A tous ceux qui m'aiment et me respectent, de près ou de  
loin.*

**GUERROUMI Djelloul**

## ملخص :

أنجز هذا العمل بهدف دراسة نوعية المياه الموجهة للاستهلاك لسد بوكوردان أولا، ثم مدى تأثيرها المحتمل على صحة المواطن أين يعرف هذا السد انخفاضا كبيرا في منسوب مياهه مما يجعل احتمال تراجع جودتها وانعكاسها على الصحة واردا.

تمت دراسة بعض الخصائص الفيزيوكيميائية و البكتيرية لمياه السد الخام مثل ( درجة الحرارة، درجة الحموضة، الناقلية، التعكر، النترات و النيتريت، الأمونيوم، وبعض المواد السامة والمعادن الثقيلة و تركيز مجموع القولونيات و القولونيات المعوية ) وذلك بعد أخذ عينات و تحليلها في مختبر محطة معالجة المياه لمدينة سيدي اعمر.

بعد مناقشة النتائج المتحصل عليها و مقارنتها مع التوصيات المعمول بها في الجزائر و توصيات منظمة الصحة العالمية، تبين أن المياه الخام لسد بوكوردان ذات جودة فيزيوكيميائية و بكتيرية مقبولة، مع تسجيل نسبة تعكر عالية نسبيا يتناسب طرديا مع تركيز ملحوظ للبكتيريا التي من المحتمل أنه نتيجة للانخفاض الحاد لمنسوب المياه و مياه الصرف الصحي التي تصب في مجرى الوديان التي تغذي بحيرة السد، غير أن معالجتها قبل توجيهها للاستهلاك لا بد منه لتفادي التأثير المحتمل للبكتيريا المسجلة على الصحة العامة.

كلمات مفتاحية : سد بوكوردان، جودة المياه، مياه سطحية، خصائص فيزيوكيميائية، خصائص بكتيرية، تحليل العناصر الأساسية، منظمة الصحة العالمية.

## Résumé :

Ce travail a été réalisé dans le but d'étudier la qualité de l'eau destinée à la consommation dans le barrage de Boukourdane, puis son impact potentiel sur la santé, où ce barrage connaît une baisse importante de son niveau d'eau, ce qui rend la possibilité d'une dégradation de sa qualité d'eau et son impact sur la santé.

Certaines propriétés physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes du barrage telles que (température, pH, conductivité, turbidité, nitrates et nitrites, ammonium, certaines substances toxiques, métaux lourds et la concentration en coliformes totaux et coliformes fécaux) ont été étudiées après avoir prélevé des échantillons et les avoir analysés dans le laboratoire de l'usine de traitement de la ville de Sidi Amar.

Après discussion des résultats obtenus et comparaison avec les recommandations en vigueur en Algérie et les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé, il a été constaté que l'eau brute du barrage de Boukourdane est de qualité physico-chimique et bactérienne acceptable. Avec un taux de turbidité relativement élevé qui est directement proportionnel à une concentration notable de bactéries qui est probablement due au forte diminution d'eau du barrage et d'eaux usées s'écoulant dans les oueds qui alimentent le lac de barrage, cependant, le traiter avant de le diriger vers la consommation est nécessaire pour éviter le potentiel impact des bactéries enregistrées sur la santé publique.

Mots clé : barrage Boukourdane, qualité des eaux, eau de surface, paramètres physico-chimiques, paramètres bactériologique, ACP, OMS.

## Abstract:

This work was carried out with the aim of studying the quality of water intended for consumption in the Boukourdane dam, then its potential impact on health, where this dam is experiencing a significant drop in its water level, this which makes the possibility of a degradation of its water quality and its impact on health.

Certain physicochemical and bacteriological properties of the raw water of the dam such as (temperature, pH, conductivity, turbidity, nitrates and nitrites, ammonium, certain toxic substances, heavy metals and the concentration of total Coliforms and fecal Coliforms) were studied after having taken samples and analyzed them in the laboratory of the treatment plant in the town of Sidi Amar.

After discussion of the results obtained and comparison with the recommendations in force in Algeria and the recommendations of the World Health Organization, it was found that the raw water from the Boukourdane dam is of acceptable physicochemical and bacterial quality. With a relatively high turbidity rate, which is directly proportional to a noticeable concentration of bacteria which is likely due to the sharp decrease in dam water and wastewater flowing into the wadis that feed the dam lake, however, the treating before directing it for consumption is necessary to avoid the potential impact of the bacteria recorded on public health.

Keywords: Boukourdane dam, water quality, surface water, physicochemical and bacteriological parameters, PCA, WHO.

## Sommaire

|   |           |
|---|-----------|
| Remerciement.....   | ii        |
| Dédicace.....   | iii       |
| Résumé :.....   | vi        |
| Abstract:.....  | vii       |
| Liste des tableaux :.....   | xii       |
| Liste des figures :.....  | xiii      |
| Liste des annexes : .....   | xv        |
| Abréviations : .....  | xvi       |
| Introduction générale :.....  | 1         |
| <b>ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>  |           |
| <b>Chapitre I: présentation de la zone d'étude .....</b>              | <b>3</b>  |
| Introduction : .....  | 3         |
| I.1. Situation géographique : .....                                   | 3         |
| I.2. Localisation et description du barrage : .....                   | 4         |
| I.3. Bassin versant :.....  | 5         |
| I.4. Historique du barrage :.....                                     | 6         |
| I.5. Topographie, aperçu géologique :.....                            | 7         |
| I.6. Caractéristiques du barrage : .....                              | 8         |
| I.6.1. Le barrage (digue) :.....                                      | 9         |
| I.6.2. La tour de prise d'eau :.....                                  | 10        |
| I.6.3. Evacuateur de crues : .....                                    | 11        |
| I.7. Caractéristiques climatiques :.....                              | 11        |
| I.7.1. Pluviométries et températures :.....                           | 12        |
| I.7.2. Pluies : .....   | 13        |
| I.7.3. Températures : .....   | 15        |
| I.7.4. Diagramme ombrothermique :.....                                | 16        |
| I.8. Faune et Flore du barrage: .....                                 | 17        |
| I.8.1. La faune : .....   | 17        |
| I.8.2. Faune aquatique :.....   | 18        |
| I.9. Conclusion : .....   | 18        |
| <b>Chapitre II : Qualité physicochimique et bactériologique .....</b> | <b>19</b> |
| Introduction : .....  | 19        |
| II.1. Qualité de l'eau: .....   | 19        |

|                              |   |    |
|------------------------------|---|----|
| II.1.1.                      | Evaluation de la qualité des eaux : .....                       | 20 |
| II.1.2.                      | Le système d'évaluation de la qualité (SEQ-Eau) : .....         | 21 |
| II.1.3.                      | Normes et classes de la qualité des eaux superficielles : ..... | 21 |
| II.1.4.                      | Qualité organoleptique : .....                                  | 22 |
| II.1.4.1.                    | Couleur : .....   | 22 |
| II.1.4.2.                    | Odeur et saveur : .....   | 22 |
| II.1.5.                      | Qualité physique : .....  | 22 |
| II.1.5.1.                    | Température : .....   | 22 |
| II.1.5.2.                    | PH : .....  | 23 |
| II.1.5.3.                    | Turbidité : .....   | 23 |
| II.1.5.4.                    | Conductivité électrique : .....                                 | 23 |
| II.1.6.                      | Qualité chimique : .....  | 24 |
| II.1.6.1.                    | Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) : .....                            | 24 |
| II.1.6.2.                    | Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) : .....                            | 24 |
| II.1.6.3.                    | Ortho phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) : .....                  | 24 |
| II.1.6.4.                    | Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) : .....                            | 24 |
| II.1.6.5.                    | Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) : .....                         | 25 |
| II.1.6.6.                    | Oxygène dissous ( $\text{O}_2$ ) : .....                        | 25 |
| II.1.6.7.                    | Demande biochimique en oxygène (DBO) : .....                    | 25 |
| II.1.6.8.                    | Demande chimique en oxygène (DCO): .....                        | 25 |
| II.1.7.                      | Qualité bactériologiques : .....                                | 25 |
| II.1.8.                      | Les principaux groupes des Bactéries : .....                    | 26 |
| II.1.8.1.                    | Les germes totaux : .....                                       | 26 |
| II.1.8.2.                    | Coliformes totaux (BactColif): .....                            | 26 |
| II.1.8.3.                    | Coliformes fécaux (Ecoli): .....                                | 26 |
| II.1.8.4.                    | Streptocoques fécaux (Entérocoques) : .....                     | 27 |
| II.1.8.5.                    | Salmonelles : .....   | 28 |
| II.2.                        | Pollution de l'eau: .....                                       | 29 |
| II.2.1.                      | Les origines de la pollution de la ressource en eau : .....     | 29 |
| II.2.2.                      | Les différents types de pollution : .....                       | 30 |
| II.2.3.                      | L'eau et la santé des consommateurs : .....                     | 30 |
| II.2.4.                      | Les maladies liées à l'eau : .....                              | 30 |
| <b>MATERIELS ET METHODES</b> |   |    |
| II.3.                        | Analyse de l'eau: .....   | 33 |

|   |   |    |
|---|---|----|
| II.3.1.   | Choix des stations : .....                    | 33 |
| II.3.2.   | Matériel et techniques de prélèvement : ..... | 34 |
| II.3.3.   | Flaconnage : .....                            | 35 |
| II.4.   | Détermination des résultats : .....           | 37 |
| II.4.1.   | Les paramètres physico-chimiques:.....        | 37 |
| II.4.1.1.   | Température : .....                           | 37 |
| II.4.1.2.   | PH : .....                                    | 37 |
| II.4.1.3.   | Turbidité : .....                             | 37 |
| II.4.1.4.   | Conductivité : .....                          | 37 |
| II.4.1.5.   | Dosage de l'oxygène dissous : .....           | 37 |
| II.4.2.   | Paramètres minéralisation globale : .....     | 37 |
| II.4.2.1.   | Dosage de calcium : .....                     | 37 |
| II.4.2.2.   | Dosage de magnésium : .....                   | 38 |
| II.4.2.3.   | Dosage de sulfates : .....                    | 38 |
| II.4.2.4.   | Dosage de chlorures : .....                   | 38 |
| II.4.3.   | Paramètres de pollution : .....               | 38 |
| II.4.3.1.   | Dosage des nitrates : .....                   | 38 |
| II.4.3.2.   | Dosage des nitrites : .....                   | 38 |
| II.4.3.3.   | Dosage d'ammonium : .....                     | 38 |
| II.4.3.4.   | Dosage d'ortho phosphate : .....              | 38 |
| II.4.4.   | Paramètres indésirables : .....               | 38 |
| II.4.5.   | Paramètres microbiologiques : .....           | 39 |
| II.5.   | Conclusion : .....                            | 39 |
| <b>Chapitre III : Résultats et discussion</b> ..... |   | 40 |
| Introduction : .....                                |   | 40 |
| III.1.  | Analyse de comparaison et tendance:.....      | 42 |
| III.1.1.  | Température : .....                           | 42 |
| III.1.2.  | PH : .....                                    | 43 |
| III.1.3.  | Oxygène dissous : .....                       | 44 |
| III.1.4.  | Turbidité : .....                             | 45 |
| III.1.5.  | Conductivité : .....                          | 46 |
| III.1.6.  | Nitrates : .....                              | 47 |
| III.1.7.  | Nitrites : .....                              | 48 |
| III.1.8.  | Ammonium : .....                              | 49 |

|  |   |              |
|--|---|--------------|
| III.1.9.   | Phosphates :  | 50           |
| III.1.10.  | DBO5 :  | 51           |
| III.1.11.  | DCO :   | 52           |
| III.1.12.  | Coliformes totaux (BactColif) :                         | 53           |
| III.1.13.  | Coliformes fécaux (Ecoli) :                             | 54           |
| III.2.   | Analyse en composant principale :                       | 55           |
| III.2.1.   | Matrice de corrélation :                                | 55           |
| III.2.2.   | Relations entre les variables et les facteurs :         | 57           |
| III.2.3.   | Relations entre individus/variables :                   | 59           |
| III.3.   | Conclusion :  | 60           |
| <b>Chapitre IV : Impact de la qualité d'eau de boisson sur la santé des populations.</b> |   | <b>61</b>    |
| Introduction :   |   | 61           |
| IV.1.  | Effets potentiels sur la santé :                        | 61           |
| IV.2.  | Effets de la turbidité sur la santé :                   | 61           |
| IV.2.1.  | Maladies causés par la turbidité:                       | 62           |
| IV.3.  | Effets potentiels sur la santé des produits chimiques : | 63           |
| IV.3.1.  | Nitrates et nitrites :                                  | 63           |
| IV.3.2.  | Effets des Phosphates :                                 | 63           |
| IV.3.3.  | Effets potentiels d'ammonium sur la santé :             | 63           |
| IV.3.4.  | Effets potentiels des sulfates sur la santé :           | 63           |
| IV.3.5.  | Effets potentiels de l'arsenic sur la santé :           | 64           |
| IV.3.6.  | Effets potentiels de bore sur la santé :                | 65           |
| IV.3.7.  | Effets potentiels de cadmium sur la santé :             | 65           |
| IV.3.8.  | Effets potentiels de sélénium sur la santé :            | 66           |
| IV.3.9.  | Effets potentiels du baryum sur la santé:               | 67           |
| IV.4.  | Conclusion :  | 68           |
| Conclusion générale :  |   | 69           |
| Bibliographie  |   | xiii         |
| <b>ANNEXES</b>   |   | <b>xviii</b> |

## Liste des tableaux :

|   |    |
|---|----|
| ○ Tableau 1: Caractéristique morphométriques du bassin versant du barrage de Boukourdane (A.N.B 1994) .....   | 6  |
| ○ Tableau 2: Caractéristiques morphométriques du barrage de Boukourdane (A.N.B.T. 2008) .....   | 8  |
| ○ Tableau 3: Moyennes mensuelles des Températures (Max et Min) et annuelle (T moyenne) et des précipitations (P mm) sur une période de quinze ans (2005-2020).... | 15 |
| ○ Tableau 4: Répartition de la superficie par occupation du sol (TADRIST 2004) .....  | 17 |
| ○ Tableau 5: Paramètres retenus dans la grille générale.....  | 20 |
| ○ Tableau 6: Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité des eaux superficielles (ABH, 2009).....   | 21 |
| ○ Tableau 7: La classification de la qualité des cours d'eau en Algérie selon (ABH, 2009). .....  | 21 |
| ○ Tableau 8: Classification des eaux selon la conductivité (Rodier. J, 2005). .....   | 23 |
| ○ Tableau 9: Maladies véhiculées par l'eau et ses agents (Opas, 1999).....  | 31 |
| ○ Tableau 10: Effets potentiels sur la santé des produits chimiques dans l'eau de boisson (CAWST, 2013). .....  | 32 |
| ○ Tableau 11: caractéristiques des stations d'étude .....   | 34 |
| ○ Tableau 12: Dates et données des prélèvements .....   | 34 |
| ○ Tableau 13: Exemple de lavage et stérilisation des flacons de prélèvement (SEAL, 2021) .....  | 35 |
| ○ Tableau 14: Les résultats physico-chimiques et bactériologiques des analyses d'eau du barrage Boukourdane.....  | 41 |
| ○ Tableau 15: variation de la température des eaux de barrage Boukourdane .....   | 42 |
| ○ Tableau 16: Variation du pH des eaux du barrage Boukourdane .....   | 43 |
| ○ Tableau 17: Variation d'oxygène dessous des eaux du barrage Boukourdane .....   | 44 |
| ○ Tableau 18: Variation de la turbidité des eaux du barrage Boukourdane.....  | 45 |
| ○ Tableau 19: Variation de la conductivité des eaux du barrage Boukourdane .....  | 46 |
| ○ Tableau 20: Variation de nitrate des eaux du barrage Boukourdane .....  | 47 |
| ○ Tableau 21: Variation de nitrite des eaux du barrage Boukourdane .....  | 48 |
| ○ Tableau 22: Variation d'ammonium des eaux du barrage Boukourdane .....  | 49 |
| ○ Tableau 23: Variation de phosphate des eaux du barrage Boukourdane .....  | 50 |
| ○ Tableau 24: Variation de DBO5 des eaux du barrage Boukourdane .....   | 51 |
| ○ Tableau 25: Variation de DCO des eaux du barrage Boukourdane .....  | 52 |
| ○ Tableau 26: Variation de Coliformes totaux (BactColif) des eaux du barrage Boukourdane .....  | 53 |
| ○ Tableau 27: Variation de Coliformes fécaux (Ecoli) des eaux du barrage Boukourdane .....  | 54 |
| ○ Tableau 28: Matrice de corrélation (Pearson(n)).....  | 56 |
| ○ Tableau 29: Valeurs propres.....  | 57 |

## Liste des figures :

|  |    |
|--|----|
| ○ Figure 1: Localisation géographique du bassin versant de site du barrage de Boukourdane. (A.N.B 1994) .....  | 4  |
| ○ Figure 2: Bassin Hydrographique Algérois- Soummam- Hodna Schématisé à partir d'une carte d'AHS. (REMINI B. 2018) .....   | 5  |
| ○ Figure 3: Les limites du bassin versant à l'amont du barrage de Boukourdane, schématisé à partir d'une carte de l'ANRH. (REMINI B. 2018) .....   | 6  |
| ○ Figure 4: Côte de la retenue du barrage de Boukourdane avec le niveau de la retenue normale (RN) et le niveau bas (Batardeau) de la retenue (A.N.B.T 2002) .....   | 7  |
| ○ Figure 5: Barrage Boukourdane (Photo prise pendant la sortie, Mai 2017). .....   | 9  |
| ○ Figure 6: La tour de prise d'eau du barrage de Boukourdane (Photo prise pendant la sortie, Mai 2017).....  | 10 |
| ○ Figure 7: Evacuateur de crues du barrage de Boukourdane (Photos prise pendant la sortie, Mai 2017).....  | 11 |
| ○ Figure 8: La station météorologique du barrage de Boukourdane (Photos prise pendant la sortie, Mai 2017).....  | 12 |
| ○ Figure 9: Histogramme de répartition des précipitations P (mm) totale mensuelle et annuelle sur une période de quinze ans (2005-2020, source des données Station météorologique du barrage de Boukourdane) .....         | 13 |
| ○ Figure 11: Histogramme du volume d'eau moyen et affluent total des oueds (hm <sup>3</sup> ) du barrage de Boukourdane des années (2017-2020, source des données Station météorologique du barrage de Boukourdane). ..... | 14 |
| ○ Figure 10: L'état du barrage et le niveau d'eau bas (Photos, Avril 2021).....  | 14 |
| ○ Figure 12: Diagramme ombrothermique établi pour la région d'étude (période 2005-2020 source des données Station météorologique du barrage de Boukourdane) .....  | 16 |
| ○ Figure 13: Vue globale de la végétation du barrage Boukourdane (photo Avril 2021) .....  | 18 |
| ○ Figure 14: Micrographie à balayage électronique d'une culture d'Escherichia coli (source Wikipédia).....   | 27 |
| ○ Figure 15: Photographie au microscope de bactéries Streptococcus pyogenes (source Wikipédia) .....   | 28 |
| ○ Figure 16: La bactérie salmonelle (source aquaportail.com) .....   | 29 |
| ○ Figure 17: image de plan d'échantillonnages (Google Earth, 2021).....  | 33 |
| ○ Figure 18: Le remplissage des échantillons a l'aide de bouteille spécialisée .....   | 35 |
| ○ Figure 19: Les glacières utilisées pour le transport des échantillons.....   | 36 |
| ○ Figure 20: Evolution temporelle de la température C° pour les eaux du barrage Boukourdane .....  | 42 |
| ○ Figure 21: Evolution temporelle du pH des eaux du barrage du Boukourdane .....   | 43 |
| ○ Figure 22: Evolution temporelle d'oxygène dessous des eaux du barrage Boukourdane .....  | 44 |

|  |    |
|--|----|
| ○ Figure 23: Evolution temporelle de la turbidité des eaux du barrage Boukourdane                        | 45 |
| ○ Figure 24: Evolution temporelle de la conductivité des eaux du barrage Boukourdane .....               | 46 |
| ○ Figure 25: Evolution temporelle de nitrate des eaux du barrage Boukourdane .....                       | 47 |
| ○ Figure 26: Evolution temporelle de nitrite des eaux du barrage Boukourdane .....                       | 48 |
| ○ Figure 27: Evolution temporelle d'ammonium des eaux du barrage Boukourdane .                           | 49 |
| ○ Figure 28: Evolution temporelle de phosphate des eaux du barrage Boukourdane .                         | 50 |
| ○ Figure 29: Evolution temporelle de DBO5 des eaux du barrage Boukourdane .....                          | 51 |
| ○ Figure 30: Evolution temporelle de DCO des eaux du barrage Boukourdane .....                           | 52 |
| ○ Figure 31: Evolution temporelle de Coliformes totaux (BactColif) des eaux du barrage Boukourdane ..... | 53 |
| ○ Figure 32: Evolution temporelle de Coliformes fécaux (Ecoli) des eaux du barrage Boukourdane .....     | 54 |
| ○ Figure 33: Valeurs propres (scree plot) .....  | 57 |
| ○ Figure 34: Corrélations entre les variables et les facteurs .....                                      | 58 |
| ○ Figure 35: Coordonnées des observations (Biplot) .....   | 59 |
| ○ Figure 36: Exemple d'une relation entre turbidité et présence d'Ecoli dans l'eau (Source CAWST).....   | 62 |
| ○ Figure 37: Exemple de kératose (source wikipedia.org) .....  | 64 |
| ○ Figure 38: Aspect clinique d'une mélanose primaire (source researchgate.net) .....                     | 64 |

## Liste des annexes :

### **Annexe A :**

Tableau 1 : Données moyennes mensuelles annuelles des températures T (°c) du barrage Boukourdane (source : station météorologique du barrage Boukourdane).

Tableau 2 : Données moyennes mensuelles annuelles des précipitations P (mm) du barrage Boukourdane (source : station météorologique du barrage Boukourdane).

### **Annexe B :**

Tableau 1 : Effets potentiels sur la santé des produits chimiques dans l'eau de boisson (CAWST 2013).

Tableau 2 : Objectifs de qualités des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations :

#### Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine :

Tableau 1 : paramètres avec valeurs limites

Tableau 2 : Paramètres avec valeurs indicatives

### **Annexe C :**

Mode opératoire (sources SEAAL)

## Abréviations :

**ANB:** Agence nationale des barrages, 2  
**ANBT:** Agence nationale des barrages et transferts, 2  
**ANRH:** Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, 5  
**Ca<sup>2+</sup>:** Calcium, 22  
**Cl:** Chlorure, 22  
**ha:** hectare, 8  
**HCO<sup>3-</sup>:** Bicarbonate, 22  
**Hm<sup>3</sup>:** hectomètre cube, 5  
**K<sup>+</sup>:** Potassium, 22  
**km:** kilomètre, 2  
**km<sup>2</sup>:** kilomètre carré, 2  
**m:** mètre, 5  
**m<sup>3</sup>:** mètre cube, 2  
**m<sup>3</sup>/s:** mètre par seconde, 8  
**m<sup>3</sup>/sec:** mètre cube par seconde, 11  
**Mg<sup>2+</sup>:** Magnésium, 22  
**mm:** millimètre, 15  
**mm/an:** millimètre par ans, 12  
**Na<sup>+</sup> :** sodium, 22  
**NTU:** Nephelometric Turbidity Unit, 22, 34  
**o<sub>2</sub>/l:** oxygène par litre, 24  
**ONID:** office national de l'irrigation et du drainage, 15  
**RN:** retenue normale, 7  
**SEAAL:** société des eaux et de l'assainissement d'alger, 15  
**SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>:** Sulfate, 22  
**t/km<sup>2</sup>:** tonne par kilomètre, 4  
**µm:** micro mètre, 21

### Introduction générale :

L'Algérie est l'un des pays où la disponibilité de l'eau est limitée alors que les besoins sont en forte croissance par l'explosion démographique, le développement industriel et agricole ainsi que la sécheresse (TABET, M.A et GHELLAI 2004). Les disponibilités en eau sont estimées à 17 milliards de m<sup>3</sup> par an dont 12 milliards de m<sup>3</sup> dans la région Nord, avec 10 milliard de m<sup>3</sup> de ressource superficielles (BENAYACHE 2014).

La demande en eau est continuellement en augmentation et l'utilisation des eaux de surface s'avère une nécessité incontournable. Des pénuries d'eau conjoncturelles ou structurelles sont constatées. En plus des tensions liées à la ressource en eau, s'ajoutent la dégradation de l'écosystème et de la biodiversité causée par l'intervention anthropique amplifiée par les déficits hydriques (BELHADJ 2017).

Depuis les dernières décennies, l'Algérie s'est lancée dans un important programme de mobilisation des ressources en eau de surface à travers la construction de plusieurs barrages réservoirs. Ces derniers sont souvent situés à l'aval des bassins versant où l'urbanisation et les activités humaines (industrielles et/ou agricoles) sont nombreuses. Ces facteurs humains vont par le biais des eaux de ruissellement enrichir les réserves de ces barrages en éléments nutritifs et polluants (A.N.B.T 2002).

Les activités humaines ont progressivement entraîné des effets sur l'écosystème aquatique. Particulièrement, celles associées aux pratiques agricoles s'ajoutent des rejets d'eaux usées urbaines, lesquelles sont chargées en substances polluantes qui sont rejetées dans le milieu sans aucun traitement préalable (DAOU, et al. 2004).

Certaines communautés aquatiques (diatomées, poissons,...) sont plus particulièrement utilisées pour évaluer la qualité biologique des cours d'eaux. La qualité biologique des lacs (qui sont des entités dynamiques physiques, chimiques et biologiques) repose essentiellement sur les poissons, phytoplancton, zooplancton et microorganismes (CEAEQ 2000).

Une eau de surface destinée à la consommation humaine est considérée comme potable si elle est exempte de polluants (chimiques ou microbiologiques) affectant sa qualité d'une part et la santé des consommateurs d'autre part. Par conséquent, le traitement de cette eau est nécessaire pour répondre aux exigences réglementaires applicables fixées par les autorités sanitaires.

Le barrage de Boukourdane fait l'objet de cette présente étude. Elle est basée sur l'étude de la qualité des eaux de boisson du barrage et son impact potentiels sur la santé. Cette étude nous permettra de savoir si cette eau est encore apte à être destinée à l'alimentation en eau potable.

## INTRODUCTION GENERALE

Pour répondre à cet objectif, nous nous sommes basés sur :

La mesure des paramètres physico-chimiques et bactériologiques durant quatre mois (Janvier, Février, Mars et Avril) à partir des échantillons prélevée du barrage de Boukourdane d'une part. Et l'interprétation des données produites par les analyses de qualité de l'eau avec l'approche d'analyse de comparaison et le test statistique particulièrement l'analyse en composant principale (ACP) d'une autre part.

Ce mémoire de fin d'études est structuré en deux parties (bibliographique et expérimentale) avec quatre chapitres.

CHAPITRE I : Présentation de la zone d'étude.

CHAPITRE II : Qualité physicochimiques et bactériologiques de l'eau de boisson.

CHAPITRE III : Résultats et discussion.

CHAPITRE IV : Impact de la qualité d'eau de boisson sur la santé des populations.

Une conclusion générale synthétise l'ensemble des données obtenues dans le cadre de ce travail de recherche.

# **ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

# **CHAPITRE I:**

## **Présentation de la zone d'étude**

## Chapitre I: présentation de la zone d'étude

### Introduction :

Le Barrage est l'un des meilleurs moyens pour la mobilisation des eaux de surface. Sont des ouvrages d'arts artificiels en terre ou en béton qui coupent un cours d'eau entre l'amont et l'aval, qui approvisionnement en eau potable, et l'irrigation des cultures, le contrôle d'inondation et soutien d'étiage (MEKHLOUFI Assia 2017).

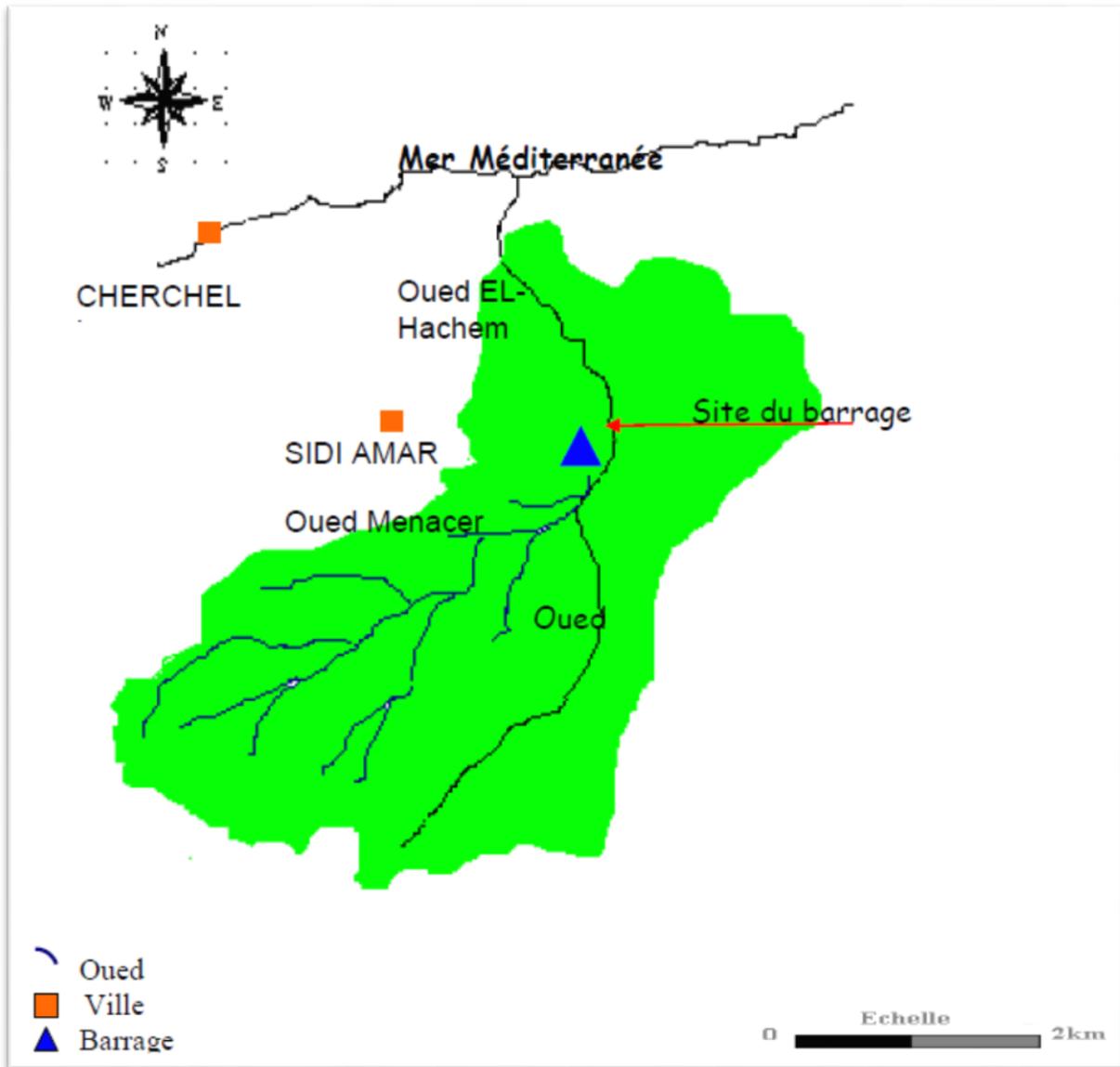
Le barrage de Boukourdane est la principale source d'approvisionnement en eau potable des villes de la wilaya de Tipaza, et l'irrigation de la plaine de Mitidja ouest, la contamination de ce barrage affecte négativement sur la santé des habitants de ces villes (TABOUCHE et HACHEM 2017).

Ce premier chapitre de notre travail, concentre sur la collection des données sur la zone d'étude (barrage de Boukourdane), le bassin versant, la climatologie de la région et ses caractéristiques.

### I.1. Situation géographique :

Le barrage de Boukourdane est situé dans la partie nord ouest du grand plain de la Mitidja. Il est à environ 1.3 km au sud du village de Sidi Amar (wilaya de Tipaza). Il est situé sur une latitude de 35°32'Nord, et une longitude de 2°18'Est. Il se trouve à 11km du bord de la Méditerranée et à 8 km environ au sud de Djebel Chenoua. (A.N.B 1994) A 20 km à l'ouest et au sud-ouest du barrage se trouve le massif Boumaad. Il est construit sur le lit de l'oued El-Hachem au confluent des deux principaux oueds: boukadir (Menaceur) et Fedjana qui donne naissance à l'oued El-Hachem. **(Figure 1)**

En amont du barrage, il y a de nombreux affluents parmi lesquels le thalweg le plus long avec une distance de 24 km. Alors qu'en aval, le cours inférieur a une longueur de 10km, avec une surface de collection d'eau de 66km<sup>2</sup>. Constate que le cours d'eau en aval est sinueux et que la superficie du bassin y est moins importante. L'aire de la retenue du barrage de Boukourdane au niveau normal est de 536 ha avec une altitude de 119,5m présentant une capacité totale de la retenue de 101,5 millions de m<sup>3</sup> (A.N.B.T 2002)

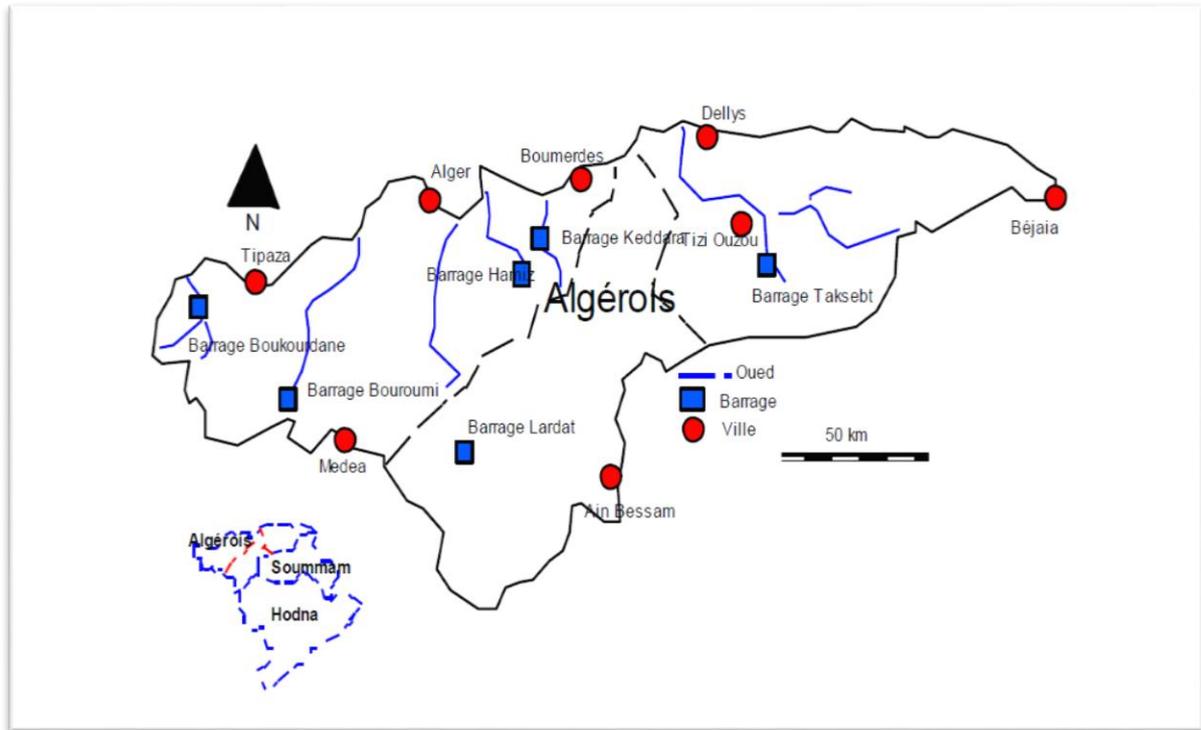


**Figure 1: Localisation géographique du bassin versant de site du barrage de Boukourdane. (A.N.B 1994)**

## I.2. Localisation et description du barrage :

Alimenté principalement par l'oued El Hachem, le barrage de Boukourdane est situé dans la commune de Sidi Amar (Wilaya de Tipaza) avec une superficie de 156 km<sup>2</sup> et un périmètre de 63 km et une capacité maximale de 105 Mm<sup>3</sup>. Le barrage prend naissance suite à une confluence des quatre grands affluents, Oued Boukadir en provenance du sud-ouest, Oued Fedjana et Oued Nachef en provenance du sud-est et Oued Tagza qui provient du sud (**Figure 3**).

Le bassin versant de Boukourdane appartient au bassin hydrographique Algérois-Soummam-Hodna et plus exactement le bassin Algérois. (**Figure 2**).



**Figure 2: Bassin Hydrographique Algérois- Soummam- Hodna Schématisé à partir d'une carte d'AHS. (REMINE B. 2018)**

### I.3. Bassin versant :

Le bassin versant de l'oued El Hachem s'étend depuis la montagne Bou Maad au sud jusqu'à la méditerranée au nord (**Figure 3**).

Le bassin a une superficie de 177 km<sup>2</sup> et un périmètre de 58 km (**Tableau 1**). La longueur de l'oued est de 34 km avec une pente longitudinale de 6,4 % (A.N.B 1994).

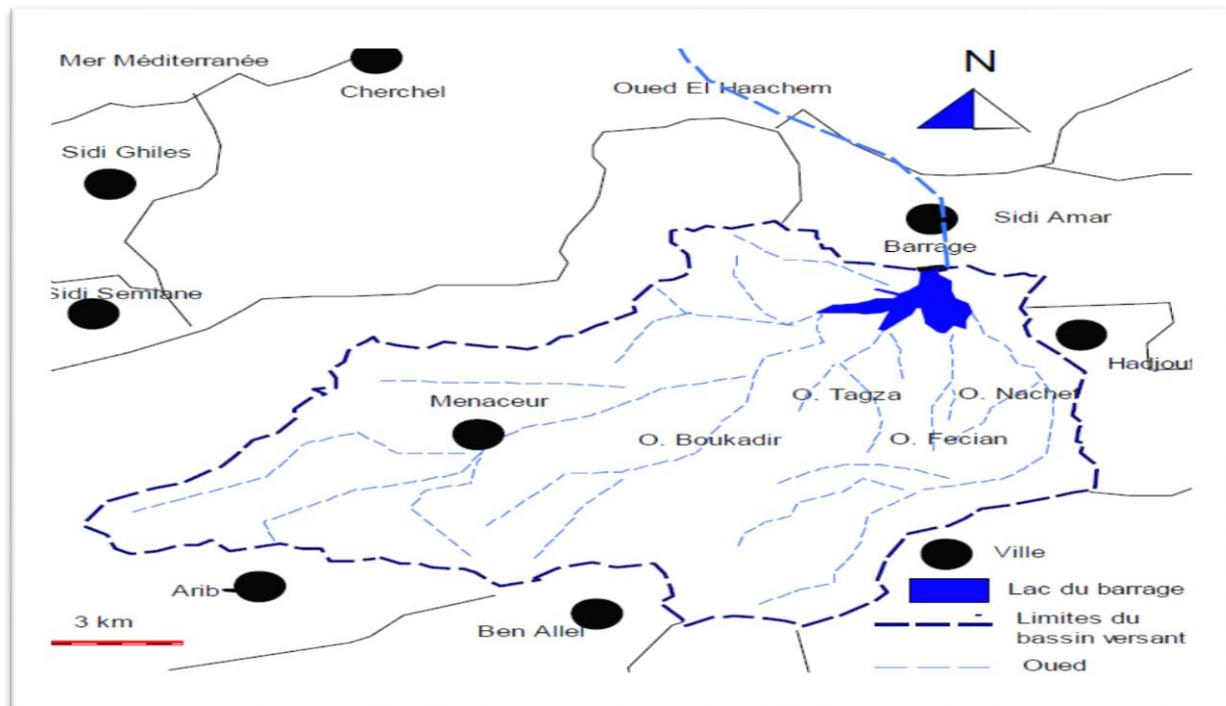
Dans le bassin versant le long de vallée sont déposées des alluvions anciennes et récentes, on y trouve des terres provenant d'altération des roches sédimentaires et des roches ignées. A l'intérieur du bassin la couverture végétale est faible, cela est défavorable à la conservation des terres et des eaux. D'ailleurs plus on remonte plus la pente longitudinale du lit de l'oued est importante, ce qui aggrave davantage l'affouillement et l'érosion du sol (A.N.B 1994).

Il existe 5 postes pluviométriques dont celui de Bordj-Ghobrini (côte 231) se situe en cours le plus inférieur, en cas des pluies d'une durée assez longue, elles couvrent une grande superficie de sorte que presque les 5 postes pluviométriques sont à la fois arrosés, mais avec une différente intensité pour chaque poste des pluies. Les eaux pluviales ruissellent dans les différents affluents du bassin, confluent ensuite dans l'oued El-Hachem et se jettent dans la Méditerranée en passant par le poste de Bordj Ghobrini (Monographie. Janvier 1994).

Le bassin versant possède un taux d'érosion de 446 t/km<sup>2</sup> (REMINE B. 2018). Ce faible taux de comblement est la conséquence d'une faible érosion des sols dû au boisement et à l'aménagement des bassins versant.

**Tableau 1: Caractéristiques morphométriques du bassin versant du barrage de Boukourdane (A.N.B 1994)**

| Superficie (Km <sup>2</sup> ) | Périmètre (m) | Altitude maximale(m) | Altitude minimale(m) |
|-------------------------------|---------------|----------------------|----------------------|
| 177                           | 58            | 1417                 | 70                   |

**Figure 3: Les limites du bassin versant à l'amont du barrage de Boukourdane, schématisé à partir d'une carte de l'ANRH. (REMINI B. 2018)**

#### I.4. Historique du barrage :

La mise en eau a commencé au début de l'année 1996. Les principaux apports ont été de 24 Hm<sup>3</sup> en 1996, de 34 Hm<sup>3</sup> en 1999 et en 2005. Le barrage a atteint son plus haut eau en 1999, côte de retenue à 109,67 m pour une retenue normale à 119,5 m. Le barrage est donc toujours en cours de remplissage 10 ans après. L'historique de la côte de retenue est représenté ci-dessous. (BOUDJEMA Nouara 2007)

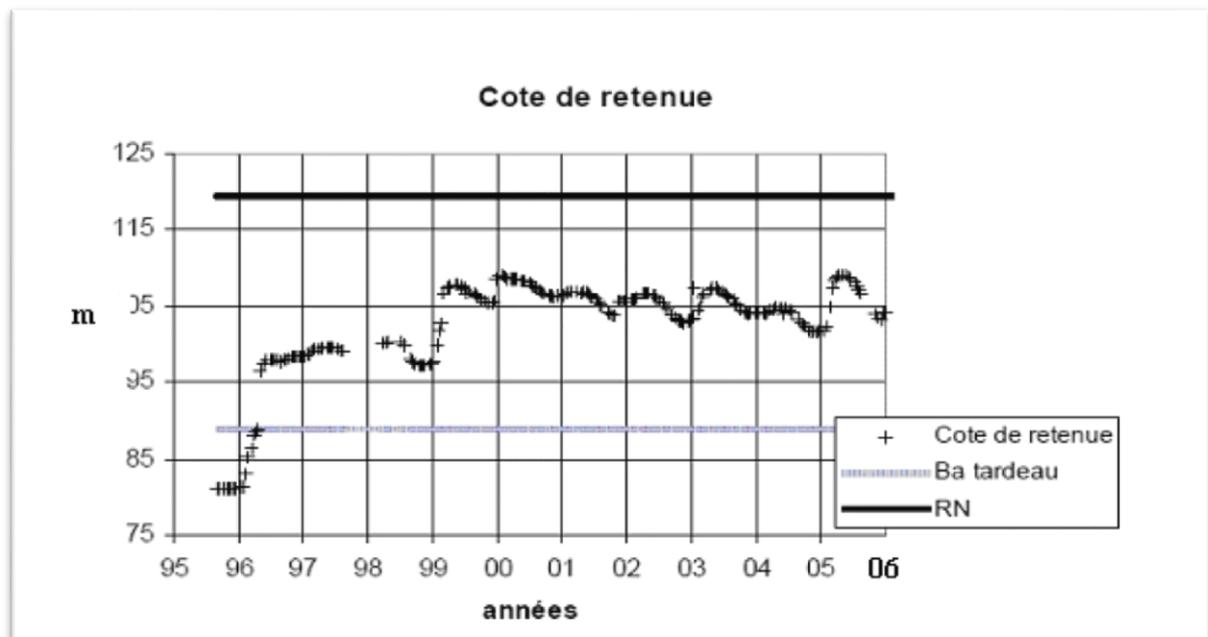


Figure 4: Côte de la retenue du barrage de Boukourdane avec le niveau de la retenue normale (RN) et le niveau bas (Batardeau) de la retenue (A.N.B.T 2002)

Le barrage de Boukourdane a pour objectifs de :

- L'alimentation en eau potable des populations de Tipaza (chef lieu), Nador, Hadjout, Sidi Amar, Menaceur, Cherchell, Sidi Ghilés, Meurad, Sidi Rached (SEAAL 2021).
- L'irrigation de la vallée de l'oued EL Hachem, des terrains de la partie ouest de la Mitidja, des régions de Hadjout et de sahel. (A.N.B.T 2002)
- Activités sportives (aviron) depuis l'année 2007.
- Construction d'un centre nautique sur une superficie de 2,5 hectares, dont les services de la pêche ont lancé en 2006.
- Loisir et divertissement.

### I.5. Topographie, aperçu géologique :

L'étude des critères géologiques et hydrogéologiques de la région admet un intérêt primordial et non négligeable dans la compréhension des phénomènes qui régissent les relations entre la pollution et la vulnérabilité des eaux souterraines et superficielles via leur ruissellement et infiltration. (ARAB 2017)

Le barrage de Boukourdane est fondé sur les alluvions du lit de l'oued EL-Hachem, mais il est construit en terre et en enrochement avec un noyau d'argile basé directement sur la roche de fondation (A.N.B.T 2002). Les formations géologiques du site du barrage sont divisées en trois groupes :

- Les roches ignées basiques et leur altération actuelle in situ

- les roches sédimentaires tertiaires et les terrains d'altération qui s'y développent.
- les dépôts quaternaires, alluvions de l'oued et déjections torrentielles (A.N.B.T 2002)

Dans l'emprise d'un km environ à partir du site du barrage jusqu'au pont de l'oued Fedjana un massif de roches hypovolcanique basiques est surmonté par places de coulées basaltiques plus anciennes très altérées. Ces roches paraissent appartenir en majeure partie à la famille des dolérites à olivine, sous forme de masse intrusive compacte ou de brèches. C'est de ces roches relativement dures qu'est constituée la vallée du site du barrage, en aval duquel le terrain est vaste et peut être utilisé pour l'exécution des travaux, bien qu'en deux rives de vallée à l'approche du site il y ait des ravins accolés à l'oued EL Hachem, mais au défilé de l'emplacement du barrage les massifs des montagnes en deux rives sont très gigantesques sans vallée voisine plus basse aux environs, ces conditions géologiques sont vraiment bonnes à implanter une digue (Monographie. Janvier 1994).

### I.6. Caractéristiques du barrage :

La superficie du lac, son volume et la bathymétrie sont des informations de base souvent complétées par la connaissance du périmètre qui est la longueur totale du rivage. La profondeur maximale et la profondeur moyenne qui est le rapport du volume du lac à sa superficie (Lévêque 1996).

**Tableau 2: Caractéristiques morphométriques du barrage de Boukourdane (A.N.B.T. 2008)**

|  |                              |
|--|------------------------------|
| <b>Année de construction</b>                         | <b>1986</b>                  |
| <b>Achèvement</b>                                    | <b>1992</b>                  |
| <b>Année de mise en eau</b>                          | <b>1996</b>                  |
| <b>type</b>  | <b>Terre zonée</b>           |
| <b>Hauteur maximale (digue)</b>                      | <b>74,41 (m)</b>             |
| <b>Longueur</b>                                      | <b>609,98 (m)</b>            |
| <b>Largeur</b>                                       | <b>10 (m)</b>                |
| <b>Largeur maximale au niveau du terrain naturel</b> | <b>367,62 (m)</b>            |
| <b>Capacité dernier levé (2005)</b>                  | <b>105 (Hm<sup>3</sup>)</b>  |
| <b>Altitude des plus hautes eaux</b>                 | <b>123 (m)</b>               |
| <b>Aire de la retenue au niveau normale</b>          | <b>536 (ha)</b>              |
| <b>Aire de la retenue au niveau exceptionnel</b>     | <b>600 (ha)</b>              |
| <b>Réserve d'envasement</b>                          | <b>10,8 (Mm<sup>3</sup>)</b> |
| <b>Vidange de fond</b>                               | <b>150 (m<sup>3</sup>/s)</b> |

La structure du barrage est composé de :

### I.6.1. Le barrage (digue) :

Construit en terre et enrochements avec un noyau d'argile base directement sur la roche de fondation, le barrage est fondé sur les alluvions au lit de l'oued. La galerie d'injection est encastrée dans la roche de fondation sous le barrage et mis en service en 1996 (Monographie. Janvier 1994).



**Figure 5: Barrage Boukourdane (Photo, Mai 2017).**

### I.6.2. La tour de prise d'eau :

Le système de prise d'eau est composé de la tour de prise, de la vidange de fond et des conduites d'eau potable et agricole.

- Tour de prise d'eau pertuis de prise 2×3 m.
- Conduite d'eau potable en acier d'un diamètre 508 mm et d'une longueur de 633.7m avec un débit du 0.4 m<sup>3</sup> /sec.
- Conduite d'eau agricole en acier d'un diamètre 1625 mm et d'une longueur de 640.6m avec un débit du 5.6 m<sup>3</sup> /sec.
- Galerie de dérivation et de vidange de fond d'une longueur totale de 292 m et d'une capacité d'évacuation de 150 m<sup>3</sup> /sec (Monographie. Janvier 1994).



**Figure 6: La tour de prise d'eau du barrage de Boukourdane (Photo, Mai 2017).**

### I.6.3. Evacuateur de crues :

Le barrage est équipé d'un évacuateur de crue à un libre déversoir polygonal formant un hémicycle d'un rayon de 20 m, implanté en rive droite.

- Largeur du radier du coursier : 119.5 m.
- Longueur de la passerelle piétonnière sur l'évacuateur : 34 m.
- Longueur projective de l'évacuateur de crues au plan : 248.5 m.
- Capacité d'évacuation d'eau : 1000 m<sup>3</sup>/sec (Monographie. Janvier 1994).



**Figure 7: Evacuateur de crues du barrage de Boukourdane (Photos, Mai 2017).**

### I.7. Caractéristiques climatiques :

C'est l'ensemble des caractéristiques météorologiques d'une région donnée. La nature des climats joue un rôle essentiel pour ajuster les caractéristiques écologiques des écosystèmes continentaux en réalité, il existe une interférence entre climat, compositions des communautés en particulier végétales propres à un écosystème donné et nature des sols, d'où la trilogie typique climat-sol-végétation (François 2010).

Le barrage de Boukourdane est situé dans une zone subhumide où les hautes barrières montagneuses qui limitent le domaine oriental vers l'ouest privent la région des apports de

pluies et réduisent la pluviométrie de cette région à 19 mm/an en moyenne. il bénéficie d'un climat humide à subhumide (A.N.B.T 2002).

La bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude, et de ses caractéristiques est importante pour la compréhension de l'évolution des éléments chimiques et du comportement hydrologique des cours d'eau (DEBIECHE. 2002).

### I.7.1. Pluviométries et températures :

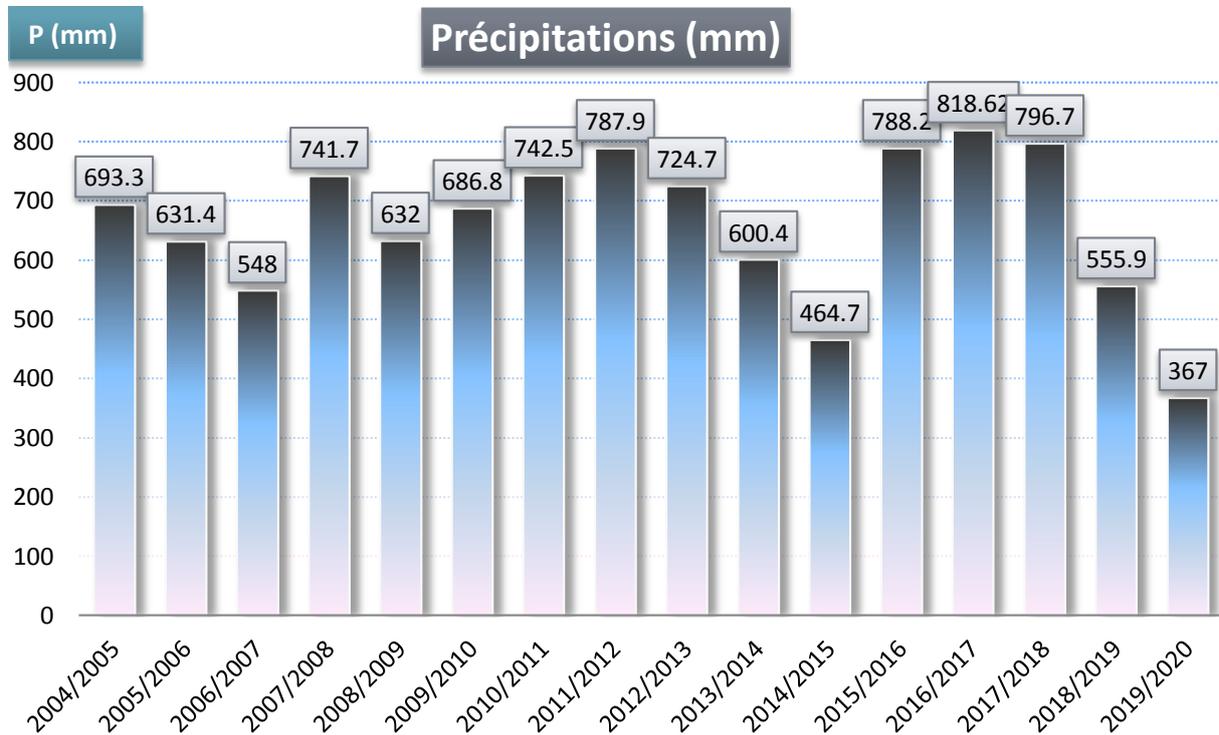
Les techniciens de service d'exploitation de la station météorologique du barrage de Boukourdane notent quotidiennement les données climatologiques telles que pluviométries et températures. À partir de ces données fournies par le service on a pu tracer le diagramme ombrothermique.



**Figure 8: La station météorologique du barrage de Boukourdane (Photos, Mai 2017).**

### I.7.2. Pluies :

La quantité des précipitations dans la région d'étude change d'une saison à l'autre, mais la pluie moyenne sur la période 2005-2020 selon les données disponibles est d'environ 661,24 mm/an (**Annexe A**).



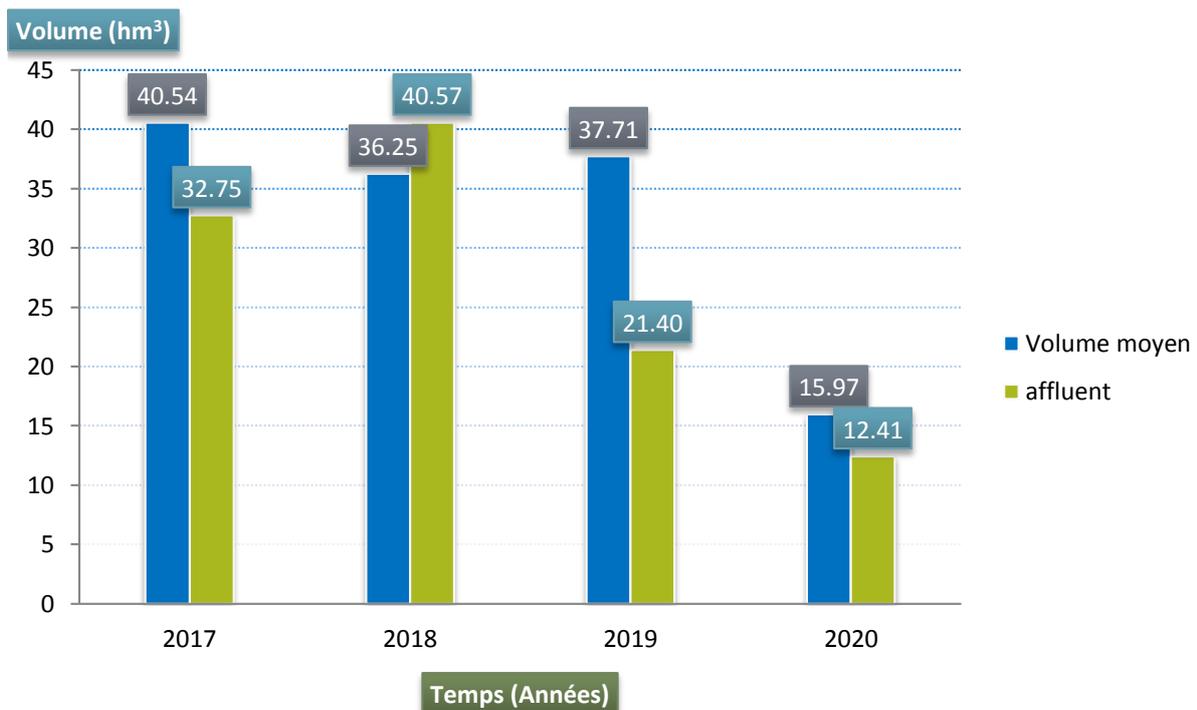
**Figure 9: Histogramme de répartition des précipitations P (mm) totale mensuelle et annuelle sur une période de quinze ans (2005-2020, données ANBT)**

Selon l'histogramme (**Figure 9**), parmi les raisons qui ont conduit à la baisse du niveau d'eau du barrage est la diminution sensible de la quantité des précipitations à partir du début de l'année 2018, les précipitations étant passées de plus de 800 mm/an année (2017-2018) à 555,9 mm/an à la fin de 2019, pour atteindre leur quantité la plus bas depuis 15 ans 367 mm/an en 2020.



**Figure 10: L'état du barrage et le niveau d'eau bas (Photos, Avril 2021).**

Ce travail a été accompli dans une circonstance inédite dans l'histoire de l'exploitation de ce barrage, en raison de la très forte diminution du volume d'eau plus que jamais. L'histogramme suivant montre l'ampleur de la diminution des précipitations dans la région pendant les quatre dernières années et son impact sur les apports des oueds qui alimentent le barrage.



**Figure 11: Histogramme du volume d'eau moyen et affluent total des oueds (hm³) du barrage de Boukourdane des années (2017-2020, données ANBT).**

D'après l'histogramme (**Figure 11**), nous pouvons conclure que la diminution du volume de l'eau du barrage-réservoir est due à la diminution des affluents des oueds qui l'alimentent, et qui est proportionnelle à la diminution des précipitations dans la même période (2017-2020), tout en continuant à fournir à l'ONID et au SEAAL le débit d'eau requis.

### I.7.3. Températures :

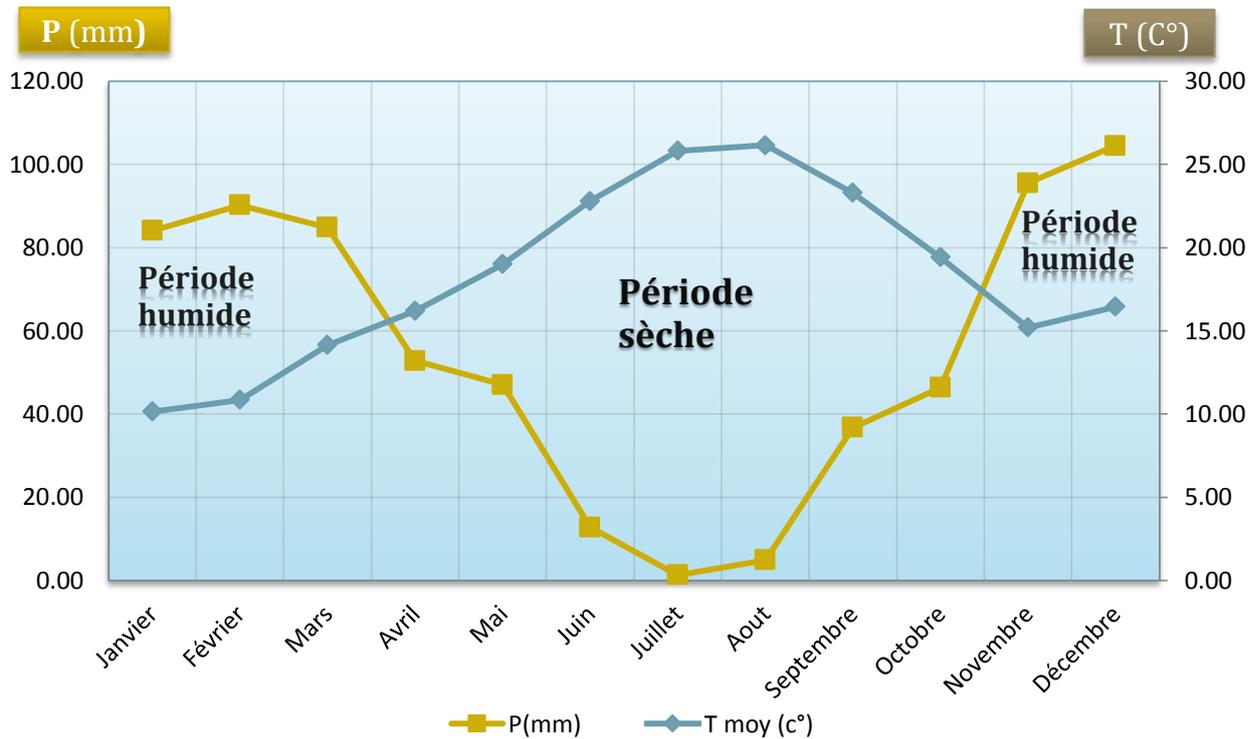
Nous avons calculé la moyenne mensuelle et annuelle des températures et les pluviométries à partir des données climatologique de la zone concerné sur une période de quinze ans (2005-2020) (**Tableau 3**), les données dans (**Annexe A**).

**Tableau 3: Moyennes mensuelles des Températures (Max et Min) et annuelle (T moyenne) et des précipitations (P mm) sur une période de quinze ans (2005-2020, données ANBT).**

|                  | <b>Précipitations<br/>(mm)</b> | <b>Températures<br/>Max (C°)</b> | <b>Températures<br/>Min (C°)</b> | <b>Températures<br/>Moye (C°)</b> |
|------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Janvier</b>   | 84,09                          | 12,8                             | 7,5                              | 10,15                             |
| <b>Février</b>   | 90,25                          | 14                               | 7,7                              | 10,85                             |
| <b>Mars</b>      | 84,86                          | 18                               | 10,3                             | 14,15                             |
| <b>Avril</b>     | 52,84                          | 21,5                             | 10,9                             | 16,2                              |
| <b>Mai</b>       | 47,03                          | 23                               | 15                               | 19                                |
| <b>Juin</b>      | 12,76                          | 28,5                             | 17,09                            | 22,79                             |
| <b>Juillet</b>   | 1,34                           | 29,75                            | 21,9                             | 25,82                             |
| <b>Aout</b>      | 4,90                           | 29                               | 23,3                             | 26,15                             |
| <b>Septembre</b> | 36,74                          | 27                               | 19,6                             | 23,3                              |
| <b>Octobre</b>   | 46,34                          | 23,25                            | 15,6                             | 19,43                             |
| <b>Novembre</b>  | 95,55                          | 19,5                             | 10,9                             | 15,2                              |
| <b>Décembre</b>  | 104,53                         | 25,4                             | 7,5                              | 16,45                             |

**I.7.4. Diagramme ombrothermique :**

Bagnouls et Gausson (1969) ont établi des diagrammes ombrothermique pour évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche pendant l'année. Ils se sont basés sur la formule  $P = 2 T$  °C, les mois secs sont définis, quand la courbe des précipitations est située au-dessous de celle des températures moyennes. (KHANFOUCI 2005)



**Figure 12: Diagramme ombrothermique établi pour la région d'étude (2005-2020, données ANBT).**

D'après les analyses des données recueillies auprès du service de barrage (**annexe A**), et d'après le diagramme ombrothermique, nous concluons que la zone d'étude du barrage est caractérisée par deux périodes climatiques :

- La période sèche qui s'étend du mi Avril jusqu'à la fin du mois du Octobre
- La période humide qui s'étend de la fin du mois Octobre jusqu'à du mi Avril

## I.8. Faune et Flore du barrage:

### I.8.1. La faune :

Suite aux plusieurs missions effectuées sur le site du bassin versant du barrage réservoir de Boukourdane durant la période (2002-2017), nous avons constaté qu'une grande partie du bassin versant est bien boisée avec l'absence des ravines et des bords de rivières (REMIMI B. 2018)

On trouve aussi au niveau des Rives du barrage des terrains agricoles (des céréales et des cultures maraîchères) des tomates au mois d'août, des pommes de terre, Ail et oignon au mois de Mai. Ces activités agricoles peuvent être la cause de l'apparition des perturbations environnementales, cas de modification des caractéristiques naturelles, qui peut engendrer une pollution agricole. Par ailleurs, l'agriculture entraîne par l'effet du ruissellement des modifications physiques du territoire qui sont susceptibles d'avoir un impact sur la Faune et la Flore du Bassin versant (BOUCHARD. 2000).

La couverture végétale est aussi un facteur prépondérant qui influence les écoulements superficiels. Non seulement, elle amortit les crues en réduisant et en freinant le ruissellement, mais aussi agit sur la qualité physique des eaux du cours d'eau qui seront moins chargées en matière solide (TABOUCHE et HACHEM 2017).

La région de l'oued El Hachem est dominée par :

**Tableau 4: Répartition de la superficie par occupation du sol (TADRIST 2004)**

| <b>Domaine</b>   | <b>Occupation</b> | <b>Superficie (ha)</b> |
|------------------|-------------------|------------------------|
| <b>Forestier</b> | Forêt dense       | 4152,65                |
|                  | Maquis clair      | 2561,15                |
|                  | Maquis dense      | 812,78                 |
|                  | Autres            | 309,65                 |
| <b>Agricole</b>  | Terrain agricole  | 4253,23                |
|                  | Terrain érodé     | 77,31                  |
|                  | Autres            | 770,21                 |
| <b>Divers</b>    | Terrain érodé     | 2579,57                |
|                  | Affleurement      | 36,50                  |
|                  | Agglomération     | 46,98                  |



**Figure 13: Vue globale de la végétation du barrage Boukourdane (photo Avril 2021)**

### I.8.2. Faune aquatique :

Le barrage est caractérisé par une faune ichtyologique importante dominée par le genre *Barbus*. C'est aussi milieu d'accueil espèces d'oiseaux tels que les canards souchets, héron, corbeaux noir, etc.... (BOUDJEMA Nouara 2007).

### I.9. Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre la zone d'étude en déterminant les différents caractéristiques du bassin versant et du barrage de Boukourdane, en plus de détailler les caractéristiques climatiques de la région pour nous permettre de mise en place un protocole expérimental de prélèvement des échantillons d'eau du barrage pour déterminer sa qualité.

## **CHAPITRE II :**

**Qualité physicochimique et  
bactériologique de l'eau de boisson**

## Chapitre II : Qualité physicochimique et bactériologique

### Introduction :

L'eau se comporte comme un solvant universel, de ce fait, sa composition est fonction du milieu avec lequel elle a été en contact. Les eaux superficielles sont souvent riches en matière organiques et en matière en suspension. Leur composition est plus variable et elles sont sensibles aux pollutions du milieu extérieur (BENTOUNES 2017).

L'eau est considérée comme propre à la consommation humaine si elle est exempte de polluants qui affectent sa qualité. Par conséquent, l'eau brute destinée à la production de l'eau potable doit être soumise à un traitement afin de réduire la concentration des éléments, qu'ils soient physiques et chimiques ou biologique, afin de conformes aux normes fixées par les autorités concernées.

Il existe une réglementation relative à la qualité des eaux brutes pour la production de l'eau destinées à la consommation humaine. A partir de cette réglementation, on peut déterminer si la qualité de la ressource permet son utilisation en production d'eau potable. (BENTOUNES 2017).

La réglementation algérienne en la matière s'appuie sur le décret exécutif n° 11-219 du 10 Rajab 1432 correspondant au 12 juin 2011 de journal officiel de la république algérienne n° 34 (*fixant les objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau des populations*).

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur les concepts de qualité d'eau, sa pollution, les maladies causées par les polluants et l'analyse des éléments internes de sa composition.

### II.1. Qualité de l'eau:

Malgré la pénurie, le gaspillage de l'eau est généralisé. La qualité de l'eau superficielle se dégrade dans les bassins versants sous l'effet des rejets de déchets urbains et industriels (BELHADJ 2017).

Ces eaux se rassemblent en cours d'eau caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (étangs, lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échanges eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour souvent élevé. La fragilité de la ressource, très vulnérable à la pollution urbaine, industrielle et agricole. On y rencontre par suite très souvent une micropollution minérale (métaux lourds, sulfures) ou organique (hydrocarbures, phénols, solvants, pesticides, herbicides, etc.) pouvant avoir un caractère

toxique ainsi que des substances azotées et phosphatées à l'origine des phénomènes d'eutrophisation (GUILBERT 2000).

Il s'agit d'une ressource facilement accessible mais, malheureusement, fragile et vulnérable, qui doit être protégée contre les divers facteurs de pollution qui la menacent. Ces facteurs résultent, pour la plupart, de l'activité humaine et industrielle, mais aussi de processus naturels qui peuvent dégrader la qualité de l'eau (BERNE et CORDONNIER 1991).

La demande en eau pour les usages domestiques est modérée par rapport aux usages agricoles et industriels, cependant les exigences de qualité sont élevées pour l'alimentation en eau potable (BELHADJ 2017).

La détermination de la qualité des eaux de surface est basée sur la surveillance des paramètres spécifiques, le **(Tableau 5)** montre les paramètres dans la grille générale:

**Tableau 5: Paramètres retenus dans la grille générale**

| <b>Catégories</b>                   | <b>Paramètres</b>  |
|-------------------------------------|--|
| <b>Paramètres organoleptiques</b>   | Couleur, odeur   |
| <b>Paramètres physico-chimiques</b> | Température, pH, conductivité à 20°C, chlorures, sulfates, matières en suspension, O2 dissous, DBO5, DCO, oxydabilité KMnO4                                |
| <b>Substances indésirables</b>      | Nitrates, NTK, ammonium, baryum, phosphates, phosphore total, fer total, cuivre, zinc, manganèse, fluorures, hydrocarbures, phénols, détergents anioniques |
| <b>Substances toxiques</b>          | Arsenic, cadmium, cyanures, chrome total, plomb, mercure, nickel, sélénium, pesticides par substance, pesticides totaux, H.P.A. totaux                     |
| <b>Paramètres bactériologiques</b>  | Coliformes fécaux, coliformes totaux, streptocoques fécaux   |
| <b>Paramètres biologiques</b>       | Chlorophylle a   |

### II.1.1. Evaluation de la qualité des eaux :

La qualité physicochimique des eaux est évaluée selon le système d'évaluation de la qualité SEQ (Système d'Evaluation de la Qualité des eaux superficielles).

La grille simplifiée est une grille élaborée à partir de la grille générale. Elle permet de fournir une appréciation globale et rapide de la qualité des eaux de surface **(Tableau 6)**:

**Tableau 6: Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité des eaux superficielles (ABH, 2009)**

| Paramètres                         | Unité | Classe     |          |         |          |               |
|------------------------------------|-------|------------|----------|---------|----------|---------------|
|                                    |       | Excellente | Bonne    | Moyenne | Mauvaise | Très mauvaise |
| <b>O<sub>2</sub> dissous</b>       | mg/l  | >7         | 5-7      | 3-5     | <3       | 0             |
| <b>DCO</b>                         | mg/l  | 20         | 30       | 40      | 80       | >80           |
| <b>DBO<sub>5</sub></b>             | mg/l  | 3          | 6        | 10      | 25       | >25           |
| <b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>  | mg/l  | 2          | 10       | 25      | 50       | >50           |
| <b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>  | mg/l  | 0,5        | 1,5      | 2,8     | 4        | >4            |
| <b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b> | mg/l  | 0,1        | 0,5      | 1       | 2        | >2            |
| <b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>  | mg/l  | 0,03       | 0,3      | 0,5     | 1        | >1            |
| <b>Conductivité</b>                | µs/cm | 180-2500   | 120-3000 | 60-3500 | 0-4000   | >4000         |

### II.1.2. Le système d'évaluation de la qualité (SEQ-Eau) :

Le Système d'Évaluation de la Qualité de l'eau, permet d'évaluer la qualité de l'eau et son aptitude à assurer certaines fonctionnalités. Les évaluations sont réalisées au moyen de plusieurs paramètres physico-chimiques, le SEQ eau, permet un diagnostic précis de la qualité de l'eau et contribue à définir les actions de correction nécessaires pour son amélioration en fonction des utilisations souhaitées.

### II.1.3. Normes et classes de la qualité des eaux superficielles :

La qualité des eaux est extrêmement variable dans le temps et elle est fonction de différents facteurs. Afin d'avoir une bonne connaissance de l'état globale d'un cours d'eau, et de pouvoir suivre son évolution dans le temps, le SEQ (Système d'Évaluation de la Qualité des eaux superficielles) à mis en place un outil d'évaluation qui permet d'obtenir une image globale de la qualité des eaux superficielles (**Tableau 7**).

**Tableau 7: La classification de la qualité des cours d'eau en Algérie selon (ABH, 2009).**

| Classes                 | Très bonne               | Bonne   | Passable  | Mauvaise                                | Très mauvaise  |
|-------------------------|--------------------------|---|---|---|--|
| <b>Qualité Chimique</b> | Eau exempte de pollution | Eau de qualité moindre pouvant satisfaire tous les usages | Eau de qualité médiocre, suffisante pour les usages peu exigeants | Eau polluée, inapte à la vie biologique | Eau très polluée inapte à tous les usages, pouvant constituer une menace pour la santé publique et l'environnement |
| <b>Biologie</b>         | Tous les taxons          | Taxons sensibles absents                                  | Taxons absents nombreux   | Diversité faible                        | Diversité très faible  |
| <b>Eau potable</b>      | Acceptable               | Traitement simple   | Traitement classique  | Traitement complexe                     | Inapte   |

#### II.1.4. Qualité organoleptique :

##### II.1.4.1. Couleur :

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes, c'est-à-dire passant à travers un filtre de porosité égale à 0,45 µm. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelle et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (RODIER, et al., L'Analyse de l'eau 2009).

Paramètre traduisant une nuisance d'ordre esthétique, la coloration des eaux peut :

- Avoir une origine naturelle (présence de fer et de manganèse dans les eaux profondes, de substances humiques dans les eaux de surface).
- Être une des conséquences du phénomène d'eutrophisation (développement excessif d'algues et de plancton) des lacs, étangs, barrages,...etc.
- Avoir une origine industrielle chimique (colorants des tanneries et de l'industrie textile d'impression et teintures) (Mokeddem et Ouddane 2005) .

##### II.1.4.2. Odeur et saveur :

L'odeur d'une eau est généralement un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition en quantité souvent si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse. Le sens olfactif peut seul, dans une certaine mesure, les déceler (RODIER, et al. 2009). Toute eau possède une certaine saveur qui lui est propre et qui est due aux sels et aux gaz dissous. Si elle renferme une trop grande quantité de chlore, l'eau aura une saveur saumâtre, si elle contient de forte quantité de sels de magnésium, l'eau aura un goût amer (Mokeddem et Ouddane 2005).

#### II.1.5. Qualité physique :

##### II.1.5.1. Température :

C'est une caractéristique physique importante, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels. Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants. D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profond (Jean R, 1997).

### II.1.5.2. PH :

Le PH ou le potentiel hydrogène est une grandeur sans unité, indice qui permet de mesurer l'activité de l'ion hydrogène dans une solution, données par la relation suivant :

$$PH = -\log aH$$

$aH$  : activité en ions  $H^+$  à l'équilibre (RODIER, et al. 2009).

### II.1.5.3. Turbidité :

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence. Elle donne une idée sur la teneur en matière en suspension. Les eaux troubles sont chargées de substances finement divisées (grains de silice, matière organique, limons...). Pour la sécurité de la qualité de l'eau, il faut maintenir une turbidité inférieure à 5 NTU (BOEGLIN 1983).

Elle est due à la présence des MES finement divisées : l'argile, limons, grains de silice et matière organique (RODIER, et al. 2009).

La turbidité doit aussi être éliminée pour d'autres raisons :

- Permettre une bonne désinfection de l'eau.
- Eliminer les polluants adsorbés sur les matières en suspension (métaux lourds...)
- Eviter tous dépôts dans le réseau de distribution

### II.1.5.4. Conductivité électrique :

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Ainsi, plus l'eau contient des ions comme le calcium ( $Ca^{2+}$ ), le magnésium ( $Mg^{2+}$ ), le sodium ( $Na^+$ ), le potassium ( $K^+$ ), le bicarbonate ( $HCO_3^-$ ), le sulfate ( $SO_4^{2-}$ ) et le chlorure ( $Cl^-$ ), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée (HADE 2002).

**Tableau 8: Classification des eaux selon la conductivité (Rodier. J, 2005).**

| Type d'eaux                   | Conductivité ( $\mu S/Cm$ ) | Résistivité  |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------|
| Eau pure                      | < 23                        | > 30000      |
| Eau douce peu minéralisée     | 100 à 200                   | 5000 à 10000 |
| Eau de minéralisation moyenne | 250 à 500                   | 2000 à 40000 |
| Eau très minéralisée          | 1000 à 2500                 | 400 à 1000   |

## II.1.6. Qualité chimique :

### II.1.6.1. Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) :

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) présents dans le sol, dans les eaux superficielles et souterraines résultent de la décomposition naturelle, par des microorganismes, de matière organique azotée telle que les protéines végétales, animales et les excréments animaux. L'ion ammonium formé est oxydé en nitrates. La présence de nitrates dans l'environnement est une conséquence naturelle du cycle de l'azote (SCHUDEBOOM 1993)

### II.1.6.2. Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) :

Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une réduction des nitrates (BOUALEM 2009).

Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. Sa toxicité augmente avec la température. Ils provoquent une dégradation de l'hémoglobine du sang des poissons qui ne peut plus véhiculer l'oxygène. Les organismes aquatiques meurent par asphyxie (SEVRIN-REYSSAC, de LA NOUE et PROULX 1995).

### II.1.6.3. Ortho phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) :

Les ions phosphates contenus dans les eaux de surface ou dans les nappes peuvent être d'origine naturelle, décomposition de la matière organique, lessivage des minéraux, ou due aussi aux rejets industriels (agroalimentaire...etc.), domestiques (poly-phosphate des détergents), engrais (pesticides...etc.) (TRADAT HENRY 1992).

Les phosphates sont généralement responsables de l'accélération du phénomène eutrophisation dans les lacs ou les rivières. S'ils dépassent les normes, ceux-ci sont considérés comme indice de contamination fécale entraînant une prolifération des germes, goût et coloration (RODIER 2005).

### II.1.6.4. Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) :

Dans l'eau, L'azote réduit soluble se retrouve sous deux formes, l'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et la seconde non dissociée communément appelée ammoniaque ( $\text{NH}_3$ ) (GAUJOUR 1995).

#### II.1.6.5. Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) :

Les eaux naturelles contiennent pratiquement toujours des sulfates, en proportion très variables. Leur présence résulte de la légère solubilité du sulfate de calcium des roches gypseuses, et d'oxydation des sulfates répandus dans les roches à fortes concentrations, ils peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux (en particulier chez les enfants). Ils peuvent aussi conférer à l'eau un goût désagréable (TRADAT HENRY 1992).

#### II.1.6.6. Oxygène dissous ( $\text{O}_2$ ) :

Parmi les gaz dissous, l'oxygène est celui qui joue le rôle le plus important dans la qualité biotique des eaux. Indispensable à la respiration des organismes, il facilite la dégradation des matières organiques détritiques et l'accomplissement des cycles biochimiques. L'oxygène présent dans les eaux est le résultat d'échanges entre l'atmosphère et la surface de l'eau ainsi que de l'activité photosynthétique (Alizien 1989).

#### II.1.6.7. Demande biochimique en oxygène (DBO) :

La demande biochimique en oxygène (DBO) représente la quantité d'oxygène utilisée par les bactéries pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement les matières biochimiques oxydables présentes dans l'eau et qui constituent leur source de carbone (Devillers 2005).

#### II.1.6.8. Demande chimique en oxygène (DCO):

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables présentes dans l'eau. Ce paramètre représente la majeure partie des composés organiques ainsi que des sels minéraux oxydables. Sa valeur doit être réduite le plus possible pour que l'eau soit apte à être consommée (MEKHLLOUFI Assia 2017).

#### II.1.7. Qualité bactériologiques :

On trouve naturellement dans les eaux usées une grande variété de microorganismes, dont certains peuvent notamment favoriser la décomposition de la matière organique et le recyclage des éléments nutritifs essentiels au maintien de l'équilibre aquatique et de la chaîne trophique (Hébert et Légaré 2000).

### II.1.8. Les principaux groupes des Bactéries :

#### II.1.8.1. Les germes totaux :

Les germes totaux constituent la population bactérienne présente dans les milieux aquatiques. Ce sont des bactéries aéro-anaérobies facultatives. La recherche de ces germes nous informe sur l'évolution de la biomasse bactérienne, sans préciser la source de contamination. Généralement un faible dénombrement de ces germes dans l'eau permet d'en apprécier sa bonne qualité (CEAEQ, Méthode d'analyse 2005).

Un dénombrement atteignant quelques milliers par millilitre peut témoigner d'une pollution d'origine organique, en occasionnant un mauvais goût et une mauvaise odeur en favorisant des conditions de dégradation biologique et la persistance de pathogène (CEAEQ 2005).

#### II.1.8.2. Coliformes totaux (BactColif):

Le terme coliforme désigne les Entérobactéries qui fermentent le lactose. Les coliformes totaux sont définis comme étant des bactéries en forme de bâtonnet à Gram négative, aérobies ou anaérobies facultatives, non sporulantes, à oxydase négative et capables de se multiplier en présence de sels biliaires (BOUDJEMA Nouara 2007).

Les principaux genres inclus dans le groupe sont : Citrobacter, Enterobacter, Escherichia, Klebsiella et Serratia (CEAEQ 2000). Les coliformes totaux constituent un groupe de bactéries très homogènes, les plus présents en grand nombre dans les excréments animaux et humains. Certaines espèces ne sont pas nécessairement liées à la flore intestinale humaine ou animale et peuvent proliférer dans le sol ou dans les milieux aquatiques (George et Servais 2002).

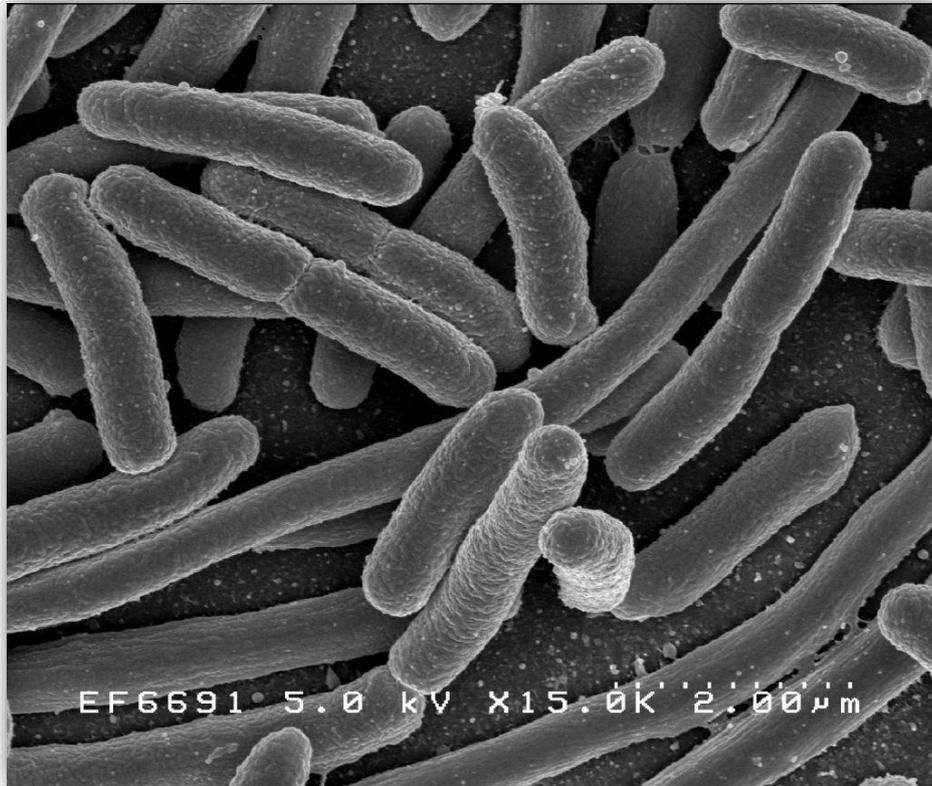
La majorité des espèces ne sont pas pathogènes et ne représentent pas de risque direct pour la santé (OMS 2000).

#### II.1.8.3. Coliformes fécaux (Ecoli):

Les coliformes fécaux présentent les mêmes caractéristiques que les coliformes totaux après incubation entre 44 et 45°C. Escherichia coli est l'espèce la plus fréquente de ce groupe qui comprend également des espèces des genres suivants : Citrobacter, Yersinia, Klebsiella, et Entérobactérie (Rodier, et al. 1996).

La présence des coliformes fécaux dans un milieu aquatique et plus particulièrement celle d'Ecoli, est considérée comme un bon indicateur d'une contamination récente du milieu par du matériel fécal humain ou d'animaux à sang chaud. Plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale et proviennent plutôt d'eau enrichie en matière organique, tels les affluents industriels, les affluents agricoles, le ruissellement, etc. (BOUDJEMA Nouara 2007).

Selon les données recueillies aux cours des dernières années, parmi les coliformes fécaux, *Escherichia coli* et les Entérocoques sont des indicateurs de risque plus valides (BOUDJEMA Nouara 2007).



**Figure 14: Micrographie à balayage électronique d'une culture d'*Escherichia coli* (source [Wikipédia](#)).**

#### **II.1.8.4. Streptocoques fécaux (Entérocoques) :**

Les Entérocoques constituent le groupe des streptocoques D dans la classification de LANCEFIELD. La classification générale de ces derniers a été modifiée dans les années 80 par la création du genre, Entéroccocus (CEAEQ 2003).

Ils sont constitués d'espèces du genre Entéroccocus d'origine humaine prépondérante et d'espèces du genre Streptococcus d'origine animale. Le groupe semble assez ubiquiste (BOUDJEMA Nouara 2007). Les Entérocoque se présentent sous forme de COCCI à gram positif associés en courtes chaînes. Ils peuvent notamment hydrolyser l'esculine en présence de 40% de bile. Ils ont aussi une capacité de croître à une température entre 10 et 45°C avec un PH alcalin de 9.6 (CEAEQ 2000). Par ailleurs, puis qu'il n'y a pas généralement de croissance des Entérocoques dans un réseau de distribution, leur détection témoigne généralement d'une pollution fécale récente. Elles sont présentes dans les intestins d'environ 75% d'organismes humains, à des concentrations variant de  $10^5$  à  $10^8$  bactéries/g (BOUDJEMA Nouara 2007).

Les Entérocoques sont considérés comme des indicateurs de contamination fécale dans les aquifères (OMS, Directive de qualité pour l'eau de boisson 2000). Ont clairement démontré que la détection d'Entérocoques était fortement associée à la présence d'Ecoli dans les réseaux de distribution (Charriere, et al. 1994).



**Figure 15: Photographie au microscope de bactéries Streptococcus pyogenes (source Wikipédia)**

#### II.1.8.5. Salmonelles :

Les salmonelles sont des entérobactéries qui se présentent sous forme de bacilles à gram négatif, qui ne fermentent pas le lactose, mais fermentent le glucose avec production de gaz et de H<sub>2</sub>S. Elles se divisent en deux grands groupes, les salmonelles mineures et les salmonelles majeures pathogènes. Elles sont en général considérées comme hautement pathogènes bien que leur virulence et leur effet pathogène varient énormément : fièvre typhoïde et gastro-entérite. Les salmonelles peuvent donc être présentes dans les eaux des égouts, agricoles, domestique et dans les eaux douces (Rodier, et al. 1996).

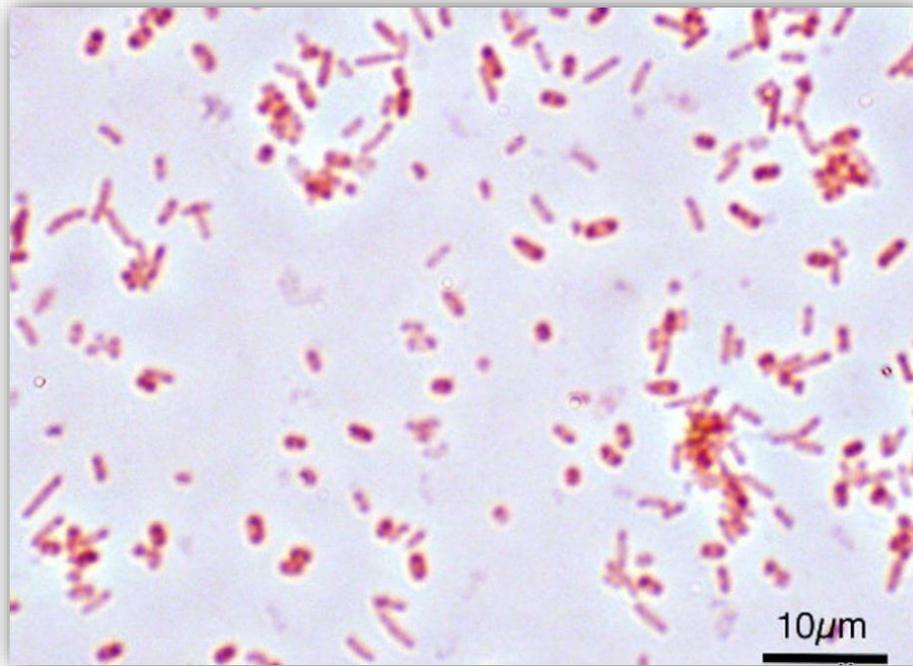


Figure 16: La bactérie salmonelle (source [aquaportail.com](http://aquaportail.com))

## II.2. Pollution de l'eau:

La pollution de l'eau de consommation est désormais un problème mondial, une grande quantité de l'eau de surface est polluée à cause des actions et des usages de l'homme, comme la pollution agricole, domestique et industrielle. Selon (Satin et Selmi 1999) les besoins en eau et leur évolution sont variables selon le type d'usage, les régions et les saisons. Donc on dit que l'eau est polluée, lorsque sa composition ou son état est directement ou indirectement modifié par l'action de l'homme (HAMED, GUETTACHE et BOUAMER 2012).

### II.2.1. Les origines de la pollution de la ressource en eau :

La pollution de la ressource en eau se caractérise par la présence de micro-organismes, de substances chimiques ou encore de déchets industriels. Elle peut concerner les cours d'eau, les nappes d'eau. Cette pollution peut avoir des origines diverses :

- La pollution industrielle : avec les rejets de produits chimiques comme les hydrocarbures ou le PCB rejetés par les industries ainsi que les eaux évacuées par les usines.
- La pollution agricole : avec les déjections animales mais aussi les produits phytosanitaires/pesticides (herbicides, insecticides, fongicides) contenus dans les engrais et utilisés dans l'agriculture. Ils pénètrent alors dans les sols jusqu'à atteindre les eaux souterraines.

- La pollution domestique : avec les eaux usées provenant des toilettes, les produits d'entretien ou cosmétiques (savons de lessives, détergents), les peintures, solvants, huiles de vidanges, hydrocarbures...
- La pollution accidentelle : avec le déversement accidentel de produits toxiques dans le milieu naturel et qui viennent perturber l'écosystème (MARILLYS 2021).

### II.2.2. Les différents types de pollution :

Il existe de nombreux types de pollution qui affectent l'eau, notamment :

- La pollution organique : Elle concerne les microorganismes pathogènes présents dans l'eau comme les bactéries et les virus. Cette pollution bactériologique se caractérise par un taux élevé de coliformes fécaux. La pollution organique provient principalement des excréments, des ordures ménagères et des déchets végétaux.
- La pollution chimique : Elle concerne les nitrates et les phosphates contenus dans les pesticides, les médicaments humains et vétérinaires, les produits ménagers, la peinture, les métaux lourds (mercure, cadmium, plomb, arsenic...), les acides, ainsi que les hydrocarbures utilisés dans l'industrie (MARILLYS 2021).

### II.2.3. L'eau et la santé des consommateurs :

Une bonne eau est nécessaire à la santé, indispensable à notre organisme. Elle est une composante majeure du sang, elle contribue au maintien de la tension artérielle, au transport des substances nutritives, intervient dans le bon fonctionnement de notre organisme, des hormones, elle assure le maintien de la température corporelle, elle permet la digestion des aliments, l'absorption des substances nutritives et l'élimination des déchets, également alliée d'une bonne hygiène. Donc l'eau est un collaborateur de santé par excellence (Bouhy et Thierry Denies 2007).

### II.2.4. Les maladies liées à l'eau :

Parallèlement l'eau constitue un facteur principal contribuant au développement des maladies à transmission hydrique provoquant des fléaux sanitaires. Les services de santé identifient cinq catégories de maladies d'origine hydrique :

- maladies transmises par l'eau : (typhoïde, choléra, dysenterie, gastroentérite et hépatite infectieuse).
- infections de la peau et des yeux : (trachome, gale, pian, lèpre, conjonctivite et ulcères).
- Parasitoses : (bilharziose et dracunculose).
- maladies dues à des insectes vecteurs comme les moustiques et les mouches.
- infections dues au manque d'hygiène (ONU, Rogers, 1992).

Dans ce tableau sont listées quelques maladies véhiculées par l'eau et ses agents (**Tableau 9**):

**Tableau 9: Maladies véhiculées par l'eau et ses agents (Opas, 1999).**

| <b>Maladies</b>  | <b>Agents pathogènes</b>   |
|--|--|
| D'origine bactérienne<br><b>la Typhoïde et la paratyphoïde</b><br><b>La dysenterie bacillaire</b><br><b>Le choléra la Gastro-entérite aiguë et la Diarrhée</b> | Salmonelle typhique<br>Salmonelle parathyphique A et B<br>Shigella sp<br>Vibrio cholerae<br>Escherichia coli Entérotoxique<br>Campylobacter<br>Yersinia enterocolitica<br>Salmonelle |
| D'origine virale<br><b>L'hépatite A et E</b><br><b>La polio</b><br><b>La Gastro-entérite aiguë et chronique</b>  | Virus de l'hépatite A et E<br>Virus de la poliomyélite<br>Virus Norwalk<br>Rotavirus<br>Enterovirus<br>Adenovirus  |
| D'origine parasitaire<br><b>Dysenterie amibienne</b><br><b>Parasite gastro-entérite</b>  | Entamoeba histolytica<br>Giardia lâmblia<br>Cryptosporidium  |

La qualité microbiologique est habituellement la principale préoccupation car les maladies infectieuses provoquées par les bactéries, virus, protozoaires et helminthes pathogènes sont les risques sanitaires associés à l'eau de boisson les plus répandus. Seuls quelques produits chimiques ont entraîné des effets sanitaires à grande échelle chez les personnes buvant une eau qui en contient des quantités excessives. Parmi ceux-ci on trouve le fluorure, l'arsenic et les nitrates (OMS 2011).

L'effet du produit chimique sur la santé humaine dépend beaucoup du type de contaminant, de sa concentration dans l'eau de boisson, de la durée et de la fréquence d'exposition. L'âge de la personne, sa condition physique et son immunité peuvent également avoir une influence majeure sur son effet sur la santé. Le tableau suivant (**Tableau 10**) affiche une liste de quelques produits chimiques, leurs effets sur la santé et les sources potentielles de contamination (CAWST 2013). Le reste de tableau ce trouve dans (**Annexe B**).

**Tableau 10: Effets potentiels sur la santé des produits chimiques dans l'eau de boisson (CAWST, 2013).**

| <b>Produit chimique</b>     | <b>Effets potentiels sur la santé Eau de boisson</b>   | <b>Source</b>  |
|-----------------------------|--|--|
| <b>Ammoniac</b>             | L'ammoniac dans l'eau de boisson ne présente pas de risque immédiat pour la santé. Aucune directive sanitaire n'est proposée. Cependant, l'ammoniac peut affecter l'efficacité de la désinfection, conduire à la formation de nitrites dans les systèmes de distribution, entraîner l'incapacité des filtres à éliminer le manganèse, et provoquer des problèmes de goût et d'odeur. | Égouts, processus industriels et activités agricoles. L'ammoniac dans l'eau est indicateur d'une possible pollution par des bactéries, des eaux usées, et des déchets animaux  |
| <b>Arsenic</b>              | Maladie de peau (ex : mélanose et kératose). Peut entraîner un cancer des poumons, de la vessie, des reins, de la peau, du foie, de la prostate. Connus aussi pour provoquer des maladies vasculaires, des effets neurologiques et des anomalies de développement chez le nourrisson   | Présence naturelle. Il est également utilisé commercialement et industriellement dans la fabrication de transistors, de lasers et de semi-conducteurs. Dans certaines régions, la concentration d'arsenic est relativement élevée dans les eaux souterraines.  |
| <b>Bore</b>                 | Toxique pour l'appareil reproducteur masculin et peut entraîner une toxicité du développement.   | Utilisé dans la fabrication du verre, du savon et des détergents et comme retardateur de combustion. Présent naturellement dans l'eau souterraine, mais sa présence dans l'eau de surface résulte souvent de l'écoulement d'eaux usées traitées contenant des détergents. Le traitement conventionnel de l'eau n'élimine pas systématiquement le bore  |
| <b>Cadmium</b>              | Des doses élevées peuvent endommager les reins.  | Utilisé dans l'industrie de l'acier, les plastiques et les batteries. Relâché dans les eaux usées, les engrais et la pollution de l'air locale. La contamination dans l'eau de boisson peut aussi être provoquée par des tuyaux, soudures et raccords métalliques galvanisés. L'alimentation est la principale source d'exposition   |
| <b>Nitrates et nitrites</b> | Le principal problème de santé est la méthémoglobinémie ou syndrome du bébé bleu, qui se produit chez les nourrissons habituellement nourris au biberon. Les symptômes comprennent le souffle court et la peau qui vire au bleu en raison du manque d'oxygène.   | Présence naturelle car il fait partie du cycle de l'azote. Le nitrate est utilisé dans les engrais et le nitrite de sodium sert de conservateur alimentaire. La concentration du nitrate dans les eaux souterraines et de surface provient des ruissellements agricoles, des fuites de fosses septiques, et des égouts. Le nitrite provient de l'activité microbienne et peut n'apparaître qu'à intervalles. |

# **MATERIELS ET METHODES**

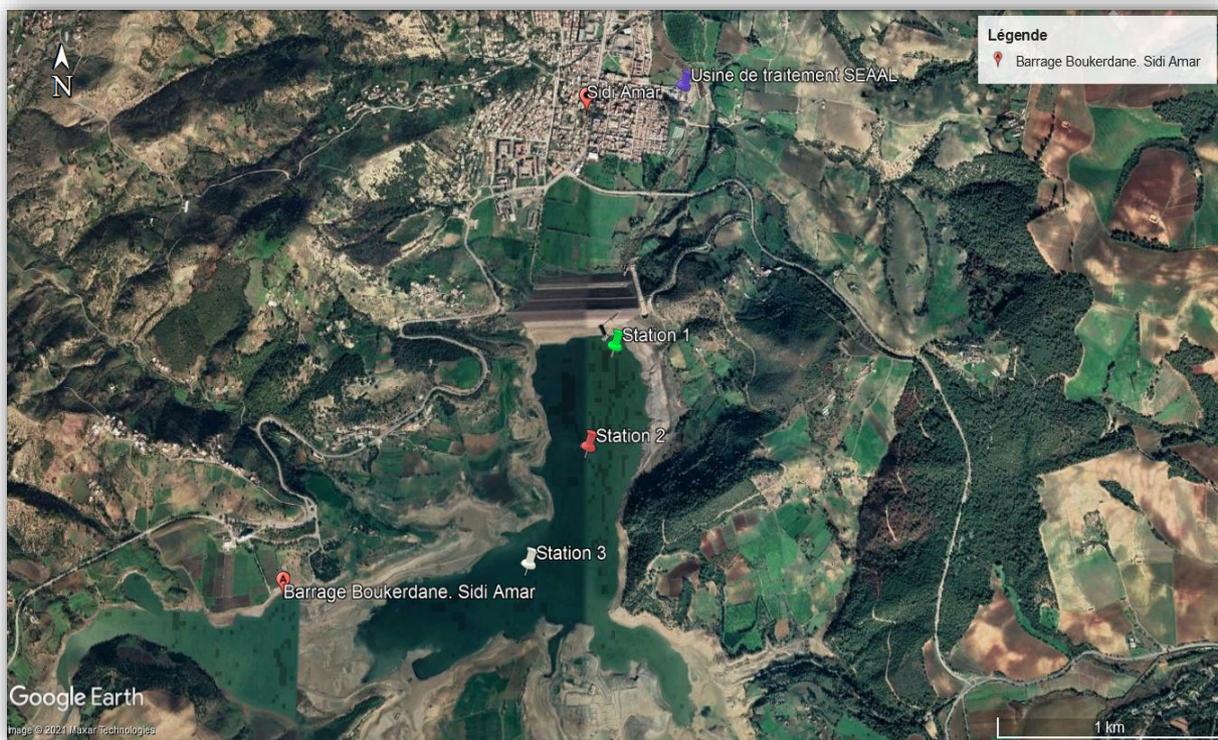
### II.3. Analyse de l'eau:

L'examen de l'eau destinée à la consommation humaine est d'une importance capitale, car elle mesure l'absence ou non de micro-organismes ou de produits chimiques présents dans l'eau, ce qui peut être nocif pour la santé des gens, c'est pour ça nous avons réalisé des analyses d'eau de barrage Boukourdane pour objective de connaitre sa qualité.

#### II.3.1. Choix des stations :

Nous avons choisi trois stations d'échantillonnages réparties sur le lac du barrage. Le choix des points d'échantillonnages a été fait en se basant sur le réseau hydrographique qui alimente le barrage et qui sont les points potentiels de pollutions.

- S1 : en aval près de la tour de prise d'eau et la rive droite.
- S2 : ou centre (point de confluence des deux oueds).
- S3 : en amont du barrage près de la rive gauche.



**Figure 17: image de plan d'échantillonnages (Google Earth, 2021)**

Caractéristiques des stations choisies :

**Tableau 11: caractéristiques des stations d'étude**

| Stations        | caractéristique   |
|-----------------|---|
| <b>Station1</b> | Près de la tour de prise d'eau.<br>Exploitation des eaux de lac pour l'AEP (SEAAL) et l'irrigation (ONID).  |
| <b>Station2</b> | Point de confluence des deux oueds (oued Menaceur et oued Fedjana).   |
| <b>Station3</b> | Terres agricoles sur les deux berges d'oued Menaceur.<br>Un centre nautique des avirons et parc de loisir familial près de station.<br>Exploitation des eaux pour l'irrigation. |

Nous avons effectué deux prélèvements correspondant aux dates et les données suivantes :

**Tableau 12: Dates et données des prélèvements**

| prélèvements                | Données  |
|-----------------------------|--|
| <b>Premier prélèvement</b>  | Date : 06/04/2021<br>Heure : 10h<br>Température : 21°C<br>Volume d'eau du barrage : 3,157hm <sup>3</sup> |
| <b>Deuxième prélèvement</b> | Date : 19/04/2021<br>Heure : 10h<br>Température : 21°C<br>Volume d'eau du barrage : 3,207hm <sup>3</sup> |

### II.3.2. Matériel et techniques de prélèvement :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (ARAB 2017).

Nous avons effectué notre prélèvement à une profondeur de 2 mètres avec une bouteille d'échantillonnage de profondeur. Cet appareil nous permet d'effectuer des prélèvements à différentes profondeurs. Constituée d'un cylindre ouvert aux deux extrémités, elle est descendue au bout d'un câble jusqu'à la profondeur voulue, est alors envoyée le long du câble une masse lorsque atteint la bouteille provoque la fermeture de celle-ci.



Figure 18: Le remplissage des échantillons a l'aide de bouteille spécialisée

### II.3.3. Flaconnage :

Les flacons utilisés pour les prélèvements sont acheminés vers la laverie par les préleveurs de laboratoire. La stérilisation et le lavage des flacons dépendent du paramètre lié.

Tableau 13: Exemple de lavage et stérilisation des flacons de prélèvement (SEAAL, 2021)

| Type et volume du flacon | utilisation                               | Lavage Manuel  | Ajout de réactif   |
|--------------------------|---|--|--|
| En verre, 250 ml         | bactériologie                             | Lavage avec détergent plus eau javel dilué. Rinçage à l'eau chaude. Rinçage a eau distillée. | Avant stérilisation : 0,5ml thiosulfate de sodium à 18g/l          |
| En verre, 500 ml         | Physico-chimique, paramètre de pollutions | Lavage avec détergent sans phosphate. Rinçage à l'eau chaude.                                |  |
| Polyéthylène, 100 ml     | Métaux lourds                             | Rinçage a eau distillée.   | 0,5 ml acide nitrique HNO <sub>3</sub>                             |
| En verre, 1000 ml        | Physico-chimique, minéralisation globale  |  |  |
| En verre, 250 ml         | Demande chimique en oxygène               |  | Quelques gouttes d'acide sulfurique H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |

Les échantillons ont été transportés directement du barrage vert le laboratoire de l'usine de traitement SEAL dans la ville de Sidi Amar où ils ont été analysés.



**Figure 19: Les glacières utilisées pour le transport des échantillons**

Rendre l'étude de la qualité plus fiable, Nous avons utilisé les résultats de l'analyse de l'eau brute qui arrive directement à l'usine de traitement SEAL depuis le barrage pour les mois de janvier, février et mars, où l'équipe du laboratoire de cette usine effectue quotidiennement des analyses pour objective de contrôler sa qualité.

Les résultats des analyses que nous avons obtenus à partir des échantillons ont été inclus dans les mois d'avril.

## II.4. Détermination des résultats :

### II.4.1. Les paramètres physico-chimiques:

Le mode opératoire de la détermination de tous les résultats se trouve dans **(l'annexe C)**.

#### II.4.1.1. Température :

La température est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (ARAB 2017).

La température est déterminée in situ à l'aide d'un thermomètre à mercure et elle est exprimée en C°.

#### II.4.1.2. PH:

Le pH mesure la concentration des protons H<sup>+</sup> contenus dans l'eau, et donc son acidité ou son alcalinité sur une échelle logarithmique de 0 à 14 (ARAB 2017).

Le Ph est déterminé à l'aide d'un PH mètre.

#### II.4.1.3. Turbidité :

La turbidité est mesuré à l'aide d'un turbidimètre, la mesure est donnée directement en NTU.

#### II.4.1.4. Conductivité :

Pour la détermination de la conductivité, il est utilisé un conductivimètre multiéléments. La conductivité est donnée en µs/cm.

#### II.4.1.5. Dosage de l'oxygène dissous :

L'un des plus importants indicateurs sur le degré de la pollution des eaux (ARAB 2017). L'oxygène dissous est mesuré quantitativement en utilisant un Oxymètre doté d'une sonde à luminescence (HQ40D).

## II.4.2. Paramètres minéralisation globale :

### II.4.2.1. Dosage de calcium :

Le principe de méthode est basé sur le titrage des ions calcium avec une solution aqueuse EDTA de (sel di sodique d'acide éthylène diamine tétra acétique) à un pH compris entre 12 et 13. La concentration de calcium est exprimée en mg/l.

#### II.4.2.2. Dosage de magnésium :

La concentration de magnésium est donnée par mg/l et la méthode de dosage basé sur le titrage.

#### II.4.2.3. Dosage de sulfates :

L'ion de sulfate est très soluble et sa concentration est très variable dans les eaux naturelles (ARAB 2017). La méthode de détermination des sulfates est par Spectrophotomètre d'adsorption moléculaire et sa concentration est exprimer en mg/l.

#### II.4.2.4. Dosage de chlorures :

La détermination de la concentration des chlorures dans un échantillon donné est réalisée par titrage au nitrate d'argent ( $\text{AgNO}_3$ ) en utilisant du chromate de potassium ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) comme indicateur. La concentration en chlorures est donnée par mg/l.

### II.4.3. Paramètres de pollution :

#### II.4.3.1. Dosage des nitrates :

Le dosage des nitrates se fait par la méthode au salicylate de sodium est exprimée en mg/l.

#### II.4.3.2. Dosage des nitrites :

La méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire pour le dosage des nitrites dans les eaux naturelle avec l'appareille spectrophotomètre est exprimée par mg/l.

#### II.4.3.3. Dosage d'ammonium :

Avec 4ml de réactif coloré et 4ml de réactif de (di chloro-isocyanurate de sodium) et 40ml de l'échantillon à analyser on détermine la concentration en mg/l de l'ammonium par la méthode de dosage spectrométrique.

#### II.4.3.4. Dosage d'ortho phosphate :

Avec la méthode au molybdate d'ammonium on peu déterminer le dosage spectrométrie des ortho phosphates.

### II.4.4. Paramètres indésirables :

Le mode opératoire des différents paramètres indésirables (Fer, Manganèse, Cuivre, Zinc, Phosphore, Aluminium, DBO, DCO) sont décrit dans **(l'annexe C)**.

#### II.4.5. Paramètres microbiologiques :

Le mode opératoire est de décrire la méthode alternative rapide pour la recherche et le dénombrement des bactéries coliformes, E. coli et Entérocoques intestinaux dans l'eau par la méthode du nombre le plus probable (NPP) en milieu liquide en utilisant les réactifs (IDEXX). Le principe et les étapes sont décrits dans **(l'annexe C)**.

#### II.5. Conclusion :

Une fois les échantillons prélevés et les analyses nécessaires effectuées, nous pouvons dans le troisième chapitre discuter les résultats obtenus et conclure si cette eau répond toujours aux normes.

## **CHAPITRE III :**

### **Résultats et discussion**

## Chapitre III : Résultats et discussion

### Introduction :

La connaissance des caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface constitue un moyen d'investigation parmi d'autres pour l'évaluation des risques de pollution et l'état de contamination de ces eaux. Une eau possède un patrimoine géochimique d'origine naturelle qui évolue en fonction de la nature géologique des terrains traversés. Le degré de pollution est apprécié par la mesure de l'écart ou de la différence entre le chimisme naturel de l'eau qu'il soit à l'échelle locale ou régionale et un chimisme nouvellement acquis suite à l'intervention négative de l'homme sur l'environnement hydrologique (BELHADJ 2017).

Dans ce chapitre, nous discuterons les résultats des analyses au cours des mois de janvier, février, mars et avril pour évaluer les paramètres physico-chimiques et bactériens de l'eau du barrage Boukourdane.

Le tableau suivant présente les résultats des analyses des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'eau du barrage Boukourdane pendant les quatre mois (**Tableau 14**):

**Tableau 14: Les résultats physico-chimiques et bactériologiques des analyses d'eau du barrage Boukourdane**

| Paramètres                                   | Unité     | Janvier | Février | Mars   | Avril   |
|--|-----------|---------|---------|--------|---------|
| Oxygène dissous                              | mg/l      | 7,11    | 6,25    | 9,6    | 5,45    |
| PH   | /         | 8,11    | 8,11    | 8,03   | 8,215   |
| Température                                  | C°        | 13,02   | 14,625  | 15,925 | 18,3    |
| Conductivité                                 | µs/cm     | 926     | 977,5   | 1027,5 | 1036,5  |
| Turbidité                                    | NTU       | 18,3    | 20,92   | 14,595 | 15,07   |
| Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )     | mg/l      | 0,03    | 0,535   | 0,62   | 0,755   |
| Phosphate (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )   | mg/l      | 0,09    | 0,09    | 0,08   | 0,055   |
| Nitrite (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )      | mg/l      | 0,07    | 0,065   | 0,055  | 0,04    |
| Matière organique (MO)                       | mg/l      | 1,56    | 1,755   | 1,815  | 3,8     |
| Aluminium (Al <sub>2</sub> <sup>+</sup> )    | mg/l      | -       | -       | -      | 0,01    |
| Manganèse (Mn)                               | mg/l      | 0,148   | 0,192   | 0,254  | 0,2875  |
| Fer (Fe <sub>2</sub> <sup>+</sup> )          | mg/l      | 0,955   | 0,92    | 0,357  | 0,2565  |
| Calcium (Ca)                                 | mg/l      | 76      | 84      | 100    | 138     |
| Magnésium (Mg)                               | mg/l      | 21,6    | 21,6    | 24     | 16,8    |
| Chlorures (Cl <sup>-</sup> )                 | mg/l      | 75,16   | 91,56   | 80,12  | 98,195  |
| Sulfate (So <sub>4</sub> <sup>-</sup> )      | mg/l      | 166,25  | 137,5   | 146,5  | 61      |
| TH   | F°        | 28      | 30      | 35     | 37      |
| TAC  | F°        | 15      | 14      | 1,5    | 18,25   |
| Bicarbonate (Hco <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | mg/l      | 183     | 170,8   | 176,9  | 222,65  |
| Nitrate (No <sub>3</sub> <sup>-</sup> )      | mg/l      | 4,62    | 1,9     | 0,53   | 0,685   |
| Hg   | µg/l      | -       | -       | 2      | 2       |
| DCO  | mg/l      | 8,97    | 9,15    | 9,38   | 10,09   |
| DBO <sub>5</sub>                             | mg/l      | 1,5     | 1,1     | 1,2    | 1,35    |
| Chlorophylle a                               | µg/l      | 5,81    | 0,795   | 1      | 1,4     |
| Cadmium (Cd)                                 | µg/l      | -       | -       | 1,9    | 2       |
| Bore (B)                                     | mg/l      | -       | -       | 0,079  | 0,12    |
| Arsenic (As)                                 | µg/l      | -       | -       | 1,9    | 2       |
| Phosphore Total                              | mg/l      | -       | -       | 0,03   | 0,4     |
| MES  | mg/l      | 20,2    | 11,45   | 11,4   | 12,95   |
| Fer Dissous                                  | mg/l      | -       | 0,05    | 0,06   | 0,06    |
| Bromates (BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )    | mg/l      | -       | -       | 0,01   | 0,01    |
| Cuivre (Cu)                                  | mg/l      | -       | -       | 0,002  | 0,01    |
| Zinc (Zn)                                    | mg/l      | -       | -       | 0,005  | 0,002   |
| Baryum (Ba)                                  | mg/l      | -       | -       | 0,134  | 0,13    |
| Sélénium (Se)                                | µg/l      | -       | -       | 4,27   | 10      |
| Salmonelles                                  | UFC/l     | absence | absence | -      | -       |
| Coliformes totaux (BactColif)                | UFC/100ml | 130     | 174,5   | 101    | 239,135 |
| Coliformes fécaux (Ecoli)                    | UFC/100ml | 79      | 108,5   | 39,5   | 24,6    |
| Streptocoques fécaux (Entérocoques)          | UFC/100ml | 64      | 57,5    | 21,5   | 8,25    |

Il existe trois approches principales pour l'interprétation des données produites par les analyses de qualité de l'eau, qui seront expliquées dans les sections suivantes :

- Les résultats peuvent être comparés aux normes nationales de qualité de l'eau ou aux Directives de l'OMS pour la Qualité de l'Eau de Boisson.
- Les résultats peuvent être étudiés pour voir comment ils changent avec le temps et le lieu afin de déterminer toute tendance ou corrélation.
- Une analyse statistique peut être effectuée à des fins académiques ou pour la recherche scientifique (CAWST 2013).

### III.1. Analyse de comparaison et tendance:

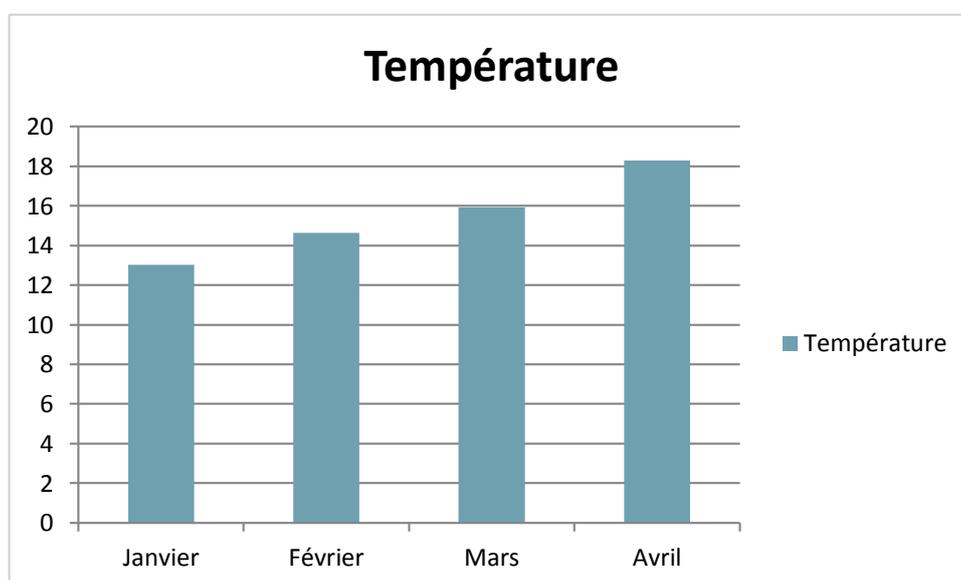
#### III.1.1. Température :

D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profond (Jean R, 1997).

**Tableau 15: variation de la température des eaux de barrage Boukourdane**

| Paramètre        | Janvier | Février | Mars  | Avril |
|------------------|---------|---------|-------|-------|
| Température C°   | 13,02   | 14,63   | 15,93 | 18,3  |
| Norme algérienne |         |         |       | 25    |
| Norme (OMS)      |         |         |       | <25   |

La température d'eau est conforme aux normes algériennes et celle d'OMS pendant les quatre mois.



**Figure 20: Evolution temporelle de la température C° pour les eaux du barrage Boukourdane**

La température augmente de façon régulière pendant la saison hivernale et printanière, de 13 C° en janvier à 18 C° en avril.

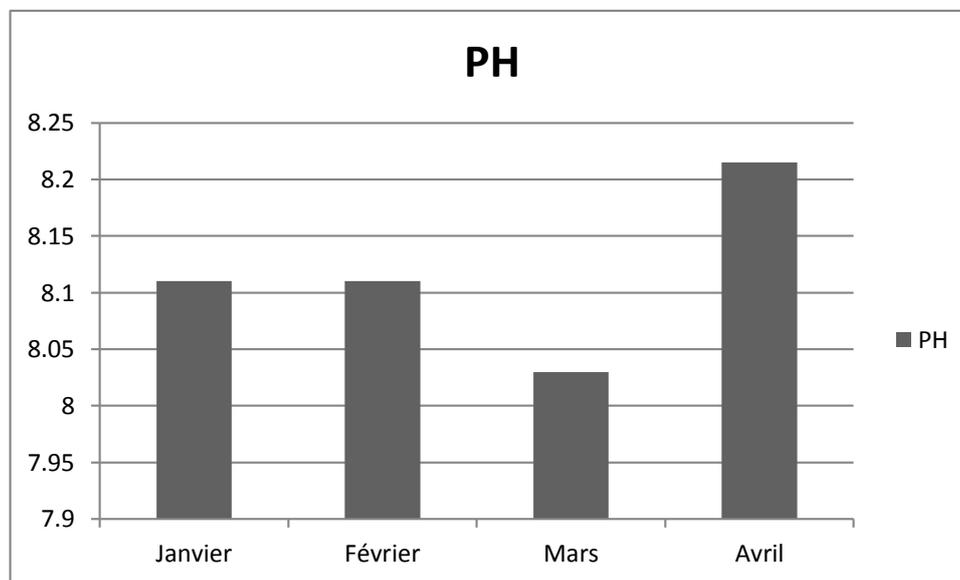
### III.1.2. PH:

Le pH est en relation avec la réaction ionique influencée par la photosynthèse et la nature chimique du fond (Rodier, et al. 1996).

**Tableau 16: Variation du pH des eaux du barrage Boukourdane**

| Paramètre               | Janvier   | Février | Mars | Avril |
|-------------------------|-----------|---------|------|-------|
| <b>pH</b>               | 8,11      | 8,11    | 8,03 | 8,22  |
| <b>Norme algérienne</b> | 6,5 - 9   |         |      |       |
| <b>Norme (OMS)</b>      | 6,5 - 9,5 |         |      |       |

Les eaux du barrage Boukourdane sont légèrement alcalines, le pH reste aux normes durant les quatre mois.



**Figure 21: Evolution temporelle du pH des eaux du barrage du Boukourdane**

La variation légère du pH pendant les quatre mois peut être due aux apports des oueds durant les précipitations et la nature des terrains traversés par l'eau.

Sachant que la géologie du barrage est de nature calcaire-marneuse ce qui donne un pH basique (pH=8,25 valeur moyenne annuelle) (BOUDJEMA Nouara 2007).

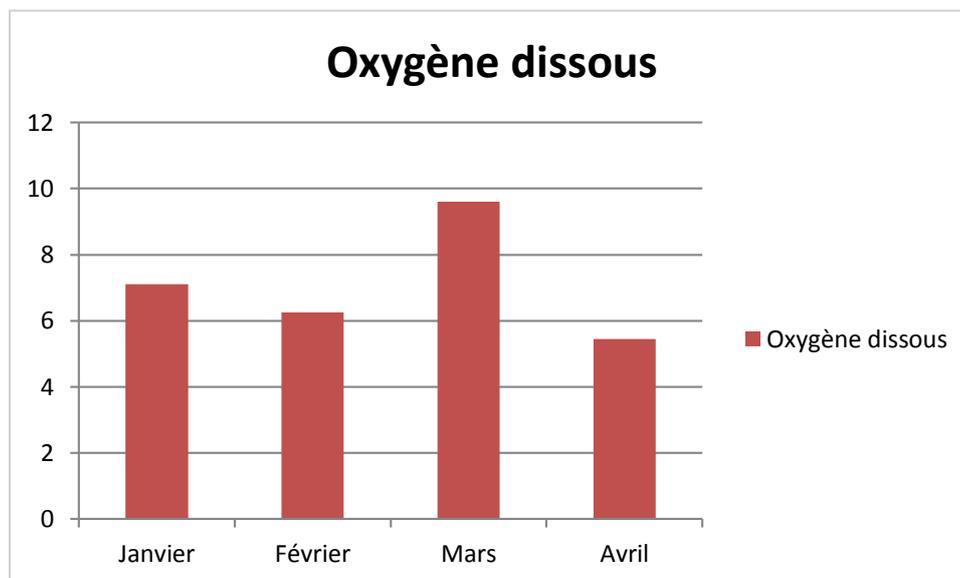
### III.1.3. Oxygène dissous :

La variation de la solubilité de l'oxygène est en fonction de la température et de la salinité (Rodier, et al. 1996).

**Tableau 17: Variation d'oxygène dessous des eaux du barrage Boukourdane**

| Paramètre        | Unité | Janvier                  | Février | Mars | Avril |
|------------------|-------|--------------------------|---------|------|-------|
| Oxygène dessous  | mg/l  | 7,11                     | 6,25    | 9,60 | 5,45  |
| Norme algérienne | mg/l  | >7 ou 30 %O <sub>2</sub> |         |      |       |
| Norme (OMS)      | mg/l  | -                        |         |      |       |

La concentration d'oxygène dissous est conforme aux normes algériennes où nous avons enregistré 7,11 mg/l en janvier et 9,60 mg/l en Mars, sauf aux mois du Février et Avril où nous avons enregistré une légère diminution par rapport aux normes 6,25 mg/l et 5,45 mg/l.



**Figure 22: Evolution temporelle d'oxygène dessous des eaux du barrage Boukourdane**

La diminution au mois du Février est due probablement à la consommation d'O<sub>2</sub> dissous par les bactéries aérobies tels que les coliformes totaux et les coliformes fécaux selon (BONTOUX 1993).

L'augmentation de la concentration d'oxygène dissous en Mars peut être expliquée par l'effet de la photosynthèse (activité algales) dans les couches supérieures d'eau, contrairement à la profondeur du barrage (résultat de mois Avril) où nous avons enregistré une concentration de 5,45 mg/l due à la diminution de la photosynthèse (les rayons du soleil sont très peu dans les profondeurs).

### III.1.4. Turbidité :

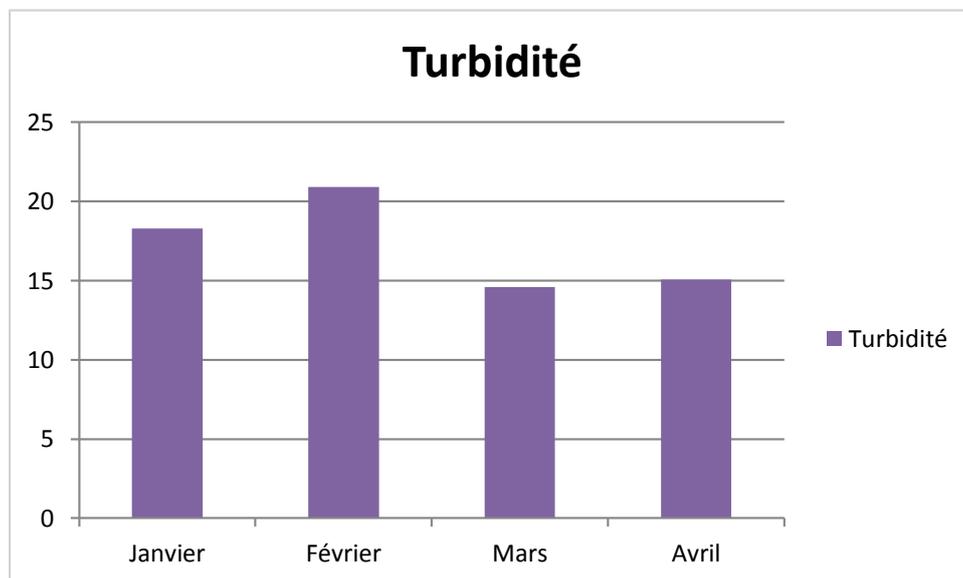
La turbidité est provoquée par des solides en suspension, comme le sable, le limon et l'argile, qui flottent dans l'eau. La lumière se réfléchit sur ces particules, ce qui donne à l'eau un aspect trouble ou sale (CAWST 2013).

**Tableau 18: Variation de la turbidité des eaux du barrage Boukourdane**

| Paramètre               | Unité | Janvier | Février | Mars  | Avril |
|-------------------------|-------|---------|---------|-------|-------|
| <b>Turbidité</b>        | NTU   | 18,30   | 20,92   | 14,60 | 15,07 |
| <b>Norme algérienne</b> | NTU   |         | -       |       |       |
| <b>Norme (OMS)</b>      | NTU   |         | -       |       |       |

Il n'y a pas de normes spécifiques à respecter concernant la turbidité des eaux de surface, mais l'OMS recommande que la turbidité n'excède pas 1 NTU, et soit de préférence beaucoup plus faible concernant l'eau potable.

D'après le tableau, il est clair que la turbidité enregistrée durant la période de quatre mois est élevée par rapport à la recommandation de l'OMS.



**Figure 23: Evolution temporelle de la turbidité des eaux du barrage Boukourdane**

Nous pouvons dire que la turbidité élevée enregistrée au cours des deux premiers mois est causée par la pluie en période hivernale, plus précisément au mois de décembre, où nous avons enregistré 75,8 mm (la pluie provoque l'érosion hydrique).

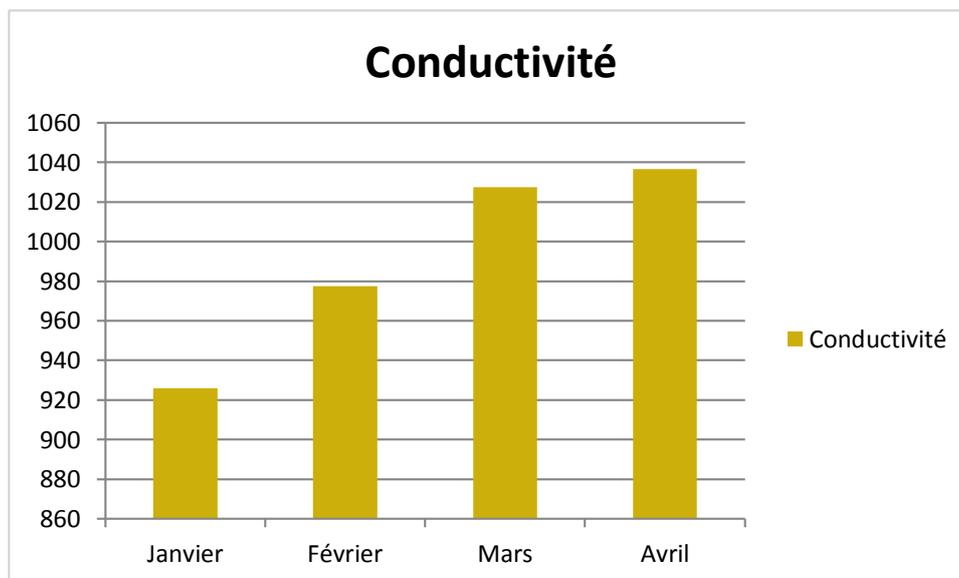
### III.1.5. Conductivité :

Une conductivité comprise entre 666  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , permet d'évaluer que l'eau du Barrage présente une minéralisation importante (Rodier, et al. 1996).

**Tableau 19: Variation de la conductivité des eaux du barrage Boukourdane**

| Paramètre        | Unité                   | Janvier | Février | Mars    | Avril   |
|------------------|-------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Conductivité     | $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 926     | 977,50  | 1027,50 | 1036,50 |
| Norme algérienne | $\mu\text{S}/\text{cm}$ |         | 2800    |         |         |
| Norme (OMS)      | $\mu\text{S}/\text{cm}$ |         | -       |         |         |

La conductivité d'après les analyses de l'eau du Barrage de Boukourdane augmente de façon régulière d'une valeur enregistrée de 926  $\mu\text{S}/\text{cm}$  au mois de Janvier à une valeur maximale de 1036  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en Avril.



**Figure 24: Evolution temporelle de la conductivité des eaux du barrage Boukourdane**

Selon (AEAG 2002) l'augmentation de la conductivité dans la majorité des cas, c'est le paramètre Calcium qui est en cause. Et c'est le cas parce que nous avons enregistré des concentrations du Calcium qui augmente de façon régulière et proportionnelle (76 mg/l en janvier, 84 mg/l en Février, 100 mg/l en Mars à 138 mg/l en Avril) avec l'augmentation de la conductivité dans la même période.

En générale la minéralisation augmente naturellement avec la profondeur sous l'action de la sédimentation (GAUJOUR 1995). Ceci explique la valeur maximale en avril (prélèvement d'échantillon à 2m de profondeur).

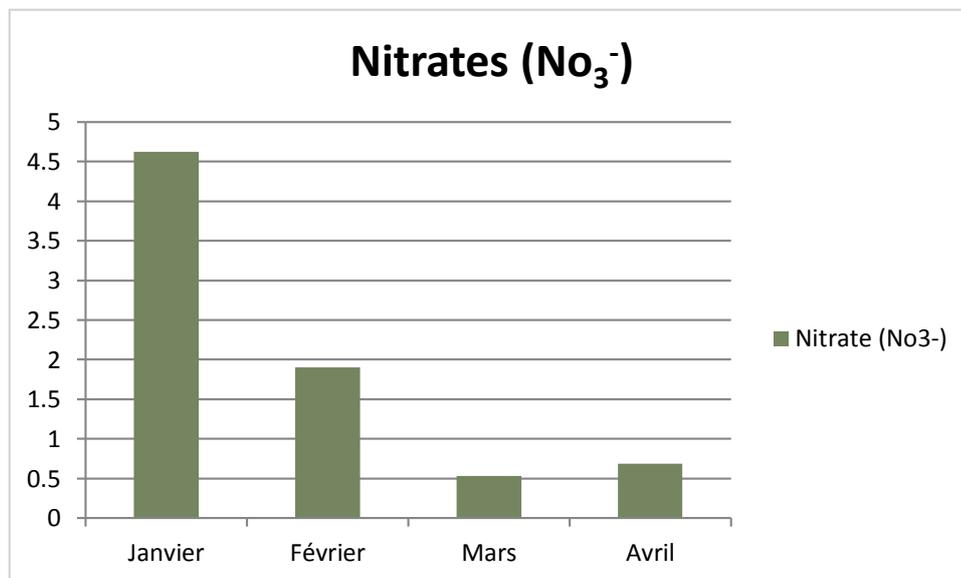
### III.1.6. Nitrates :

La migration des nitrates vers les eaux de surface est nettement plus rapide sur les surfaces cultivables laissées nues pendant l'hiver (Rodier, et al. 1996).

**Tableau 20: Variation de nitrate des eaux du barrage Boukourdane**

| Paramètre        | Unité | Janvier | Février | Mars | Avril |
|------------------|-------|---------|---------|------|-------|
| Nitrate          | mg/l  | 4,62    | 1,90    | 0,53 | 0,69  |
| Norme algérienne | mg/l  |         | 50      |      |       |
| Norme (OMS)      | mg/l  |         | 50      |      |       |

La présence des nitrates dans l'eau du barrage est négligeable par rapport aux recommandations de l'organisation mondiale de la santé.



**Figure 25: Evolution temporelle de nitrate des eaux du barrage Boukourdane**

Selon (Rodier, et al. 1996) les nitrates prennent le rôle de donneurs d'oxygène et évitent l'anaérobiose en été. Ceci explique la forte diminution des nitrates pendant la saison de printemps à cause de l'augmentation des températures et l'utilisation des nitrates par les végétaux (photosynthèse). Par contre nous avons enregistré une forte concentration en Janvier qui peut être liée à la pluviométrie enregistrée au mois de décembre 75,8 mm, ce qui a probablement entraîné le lessivage des sols (terrains agricoles).

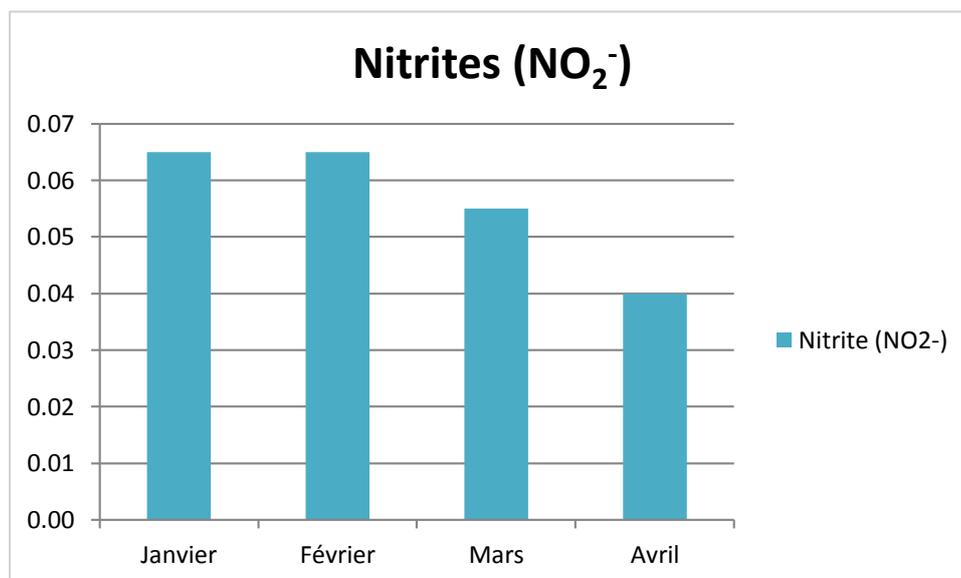
### III.1.7. Nitrites :

Selon (Rodier, et al. 1996) la présence des nitrites dans l'eau de surface est l'une des causes de la dégradation de sa qualité.

**Tableau 21: Variation de nitrite des eaux du barrage Boukourdane**

| Paramètre        | Unité | Janvier | Février | Mars  | Avril |
|------------------|-------|---------|---------|-------|-------|
| Nitrite          | mg/l  | 0,070   | 0,065   | 0,055 | 0,040 |
| Norme algérienne | mg/l  |         | -       |       |       |
| Norme (OMS)      | mg/l  |         | 3       |       |       |

La présence des nitrites dans l'eau du barrage est très faible par rapport aux recommandations de l'organisation mondiale de la santé.



**Figure 26: Evolution temporelle de nitrite des eaux du barrage Boukourdane**

Il est important de mentionner que les nitrites proviennent de l'oxydation incomplète de l'ammoniac et d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante (BOUDJEMA Nouara 2007).

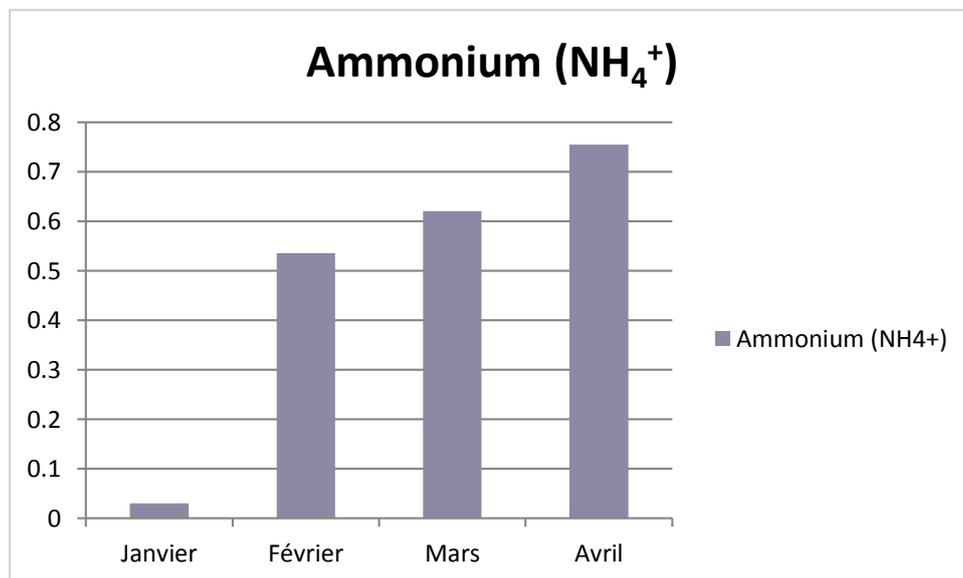
### III.1.8. Ammonium :

L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. L'ammonium provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates. C'est donc un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel (Lenntech 2021).

**Tableau 22: Variation d'ammonium des eaux du barrage Boukourdane**

| Paramètre               | Unité       | Janvier | Février | Mars  | Avril |
|-------------------------|-------------|---------|---------|-------|-------|
| <b>Ammonium</b>         | <b>mg/l</b> | 0,030   | 0,535   | 0,620 | 0,755 |
| <b>Norme algérienne</b> | <b>mg/l</b> |         | 4       |       |       |
| <b>Norme (OMS)</b>      | <b>mg/l</b> |         | -       |       |       |

La concentration d'ammonium reste faible pendant les quatre mois par rapport aux normes algériennes, malgré que nous avons enregistré une forte concentration en Avril 0,755 mg/l.



**Figure 27: Evolution temporelle d'ammonium des eaux du barrage Boukourdane**

L'ammonium provient de la dégradation incomplète de la matière organique et la réaction du fer avec les nitrates, ceci explique la relation inverse dans l'évolution de la concentration de chacun (Ammonium et Nitrates).

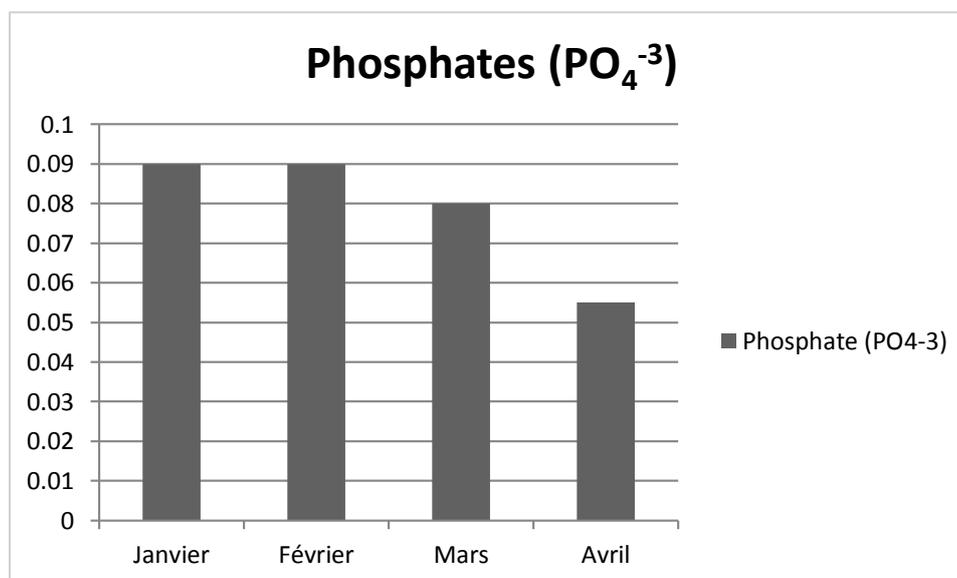
### III.1.9. Phosphates :

La présence des phosphates dans l'eau est liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique (Rodier, et al. 1996).

**Tableau 23: Variation de phosphate des eaux du barrage Boukourdane**

| Paramètre        | Unité | Janvier | Février | Mars  | Avril |
|------------------|-------|---------|---------|-------|-------|
| Phosphate        | mg/l  | 0,090   | 0,090   | 0,080 | 0,055 |
| Norme algérienne | mg/l  |         | 0,1     |       |       |
| Norme (OMS)      | mg/l  |         | -       |       |       |

Nous avons enregistré une importante concentration des phosphates en Janvier et Février 0,09 mg/l pour diminuer au mois de Mars et atteindre 0,055 mg/l au mois d'Avril. Cette concentration des phosphates est conforme à la recommandation algérienne.



**Figure 28: Evolution temporelle de phosphate des eaux du barrage Boukourdane**

La forte concentration des phosphates dans la saison d'hiver est due probablement de la décomposition de la matière organique (MO) et le lessivage des terrains traversé par l'eau pendant les précipitations de cette saison. Vu que le barrage du Boukourdane est entouré par des surfaces agricoles.

La diminution des concentrations dans la saison du printemps peut être expliquée par l'utilisation de cet élément par le phytoplancton, car les phosphates jouent un rôle majeur dans le développement des algues et dans la multiplication des bactéries (BOUDJEMA Nouara 2007).

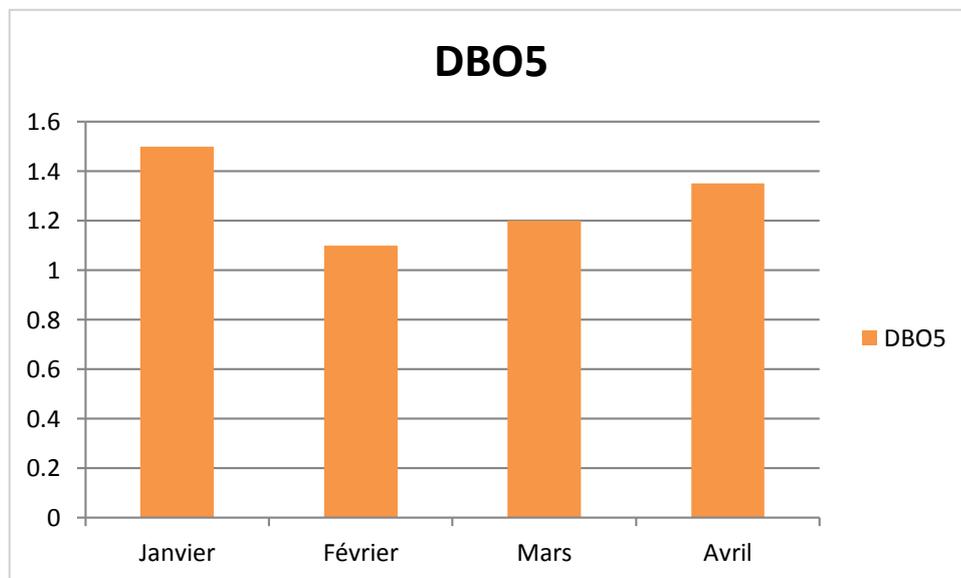
### III.1.10. DBO<sub>5</sub> :

La valeur moyenne annuelle de l'eau du barrage de Boukourdane selon (BOUDJEMA Nouara 2007) est de 2,5 mg/l. ce qui permet de dire que cette eau est acceptable mais légèrement polluée.

**Tableau 24: Variation de DBO<sub>5</sub> des eaux du barrage Boukourdane**

| Paramètre        | Unité | Janvier | Février | Mars | Avril |
|------------------|-------|---------|---------|------|-------|
| DBO <sub>5</sub> | mg/l  | 1,50    | 1,10    | 1,20 | 1,355 |
| Norme algérienne | mg/l  |         | 7       |      |       |
| Norme (OMS)      | mg/l  |         | -       |      |       |

La concentration de la DBO<sub>5</sub> est faible durant cette période, où nous avons enregistré une valeur inférieure à la moyenne annuelle.



**Figure 29: Evolution temporelle de DBO<sub>5</sub> des eaux du barrage Boukourdane**

La valeur élevée de la DBO<sub>5</sub> enregistrée au mois de Janvier est probablement due aux pluies en Décembre. Où la demande en oxygène est doublée par les bactéries aérobies, pour qu'elles puissent dégrader les polluants venant des dépôts des oueds (MES, Métaux lourds etc..). D'autre part la faible consommation en oxygène par les bactéries aérobies est en relation avec la disponibilité d'O<sub>2</sub> dans les eaux du barrage durant certain périodes.

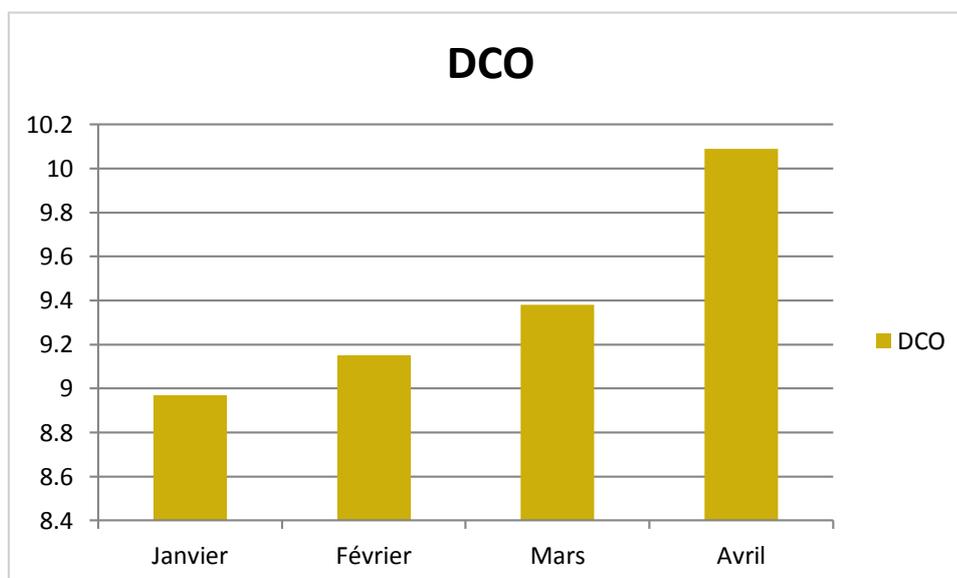
### III.1.11. DCO :

La DCO représente les ressources susceptibles de consommer de l'oxygène dans l'eau, par exemple les sels minéraux et les composés organiques.

**Tableau 25: Variation de DCO des eaux du barrage Boukourdane**

| Paramètre        | Unité | Janvier | Février | Mars | Avril |
|------------------|-------|---------|---------|------|-------|
| DCO              | mg/l  | 8,97    | 9,15    | 9,38 | 10,09 |
| Norme algérienne | mg/l  |         | 30      |      |       |
| Norme (OMS)      | mg/l  |         | -       |      |       |

La DCO que nous avons notée évolue de façon régulière 8,97 mg/l au mois de Janvier pour atteindre une concentration maximale en Avril 10,09 mg/l.



**Figure 30: Evolution temporelle de DCO des eaux du barrage Boukourdane**

Cette concentration de la DCO est conforme à la recommandation algérienne, mais indique aussi une pollution potentielle due à des métaux lourds ou de matières organiques.

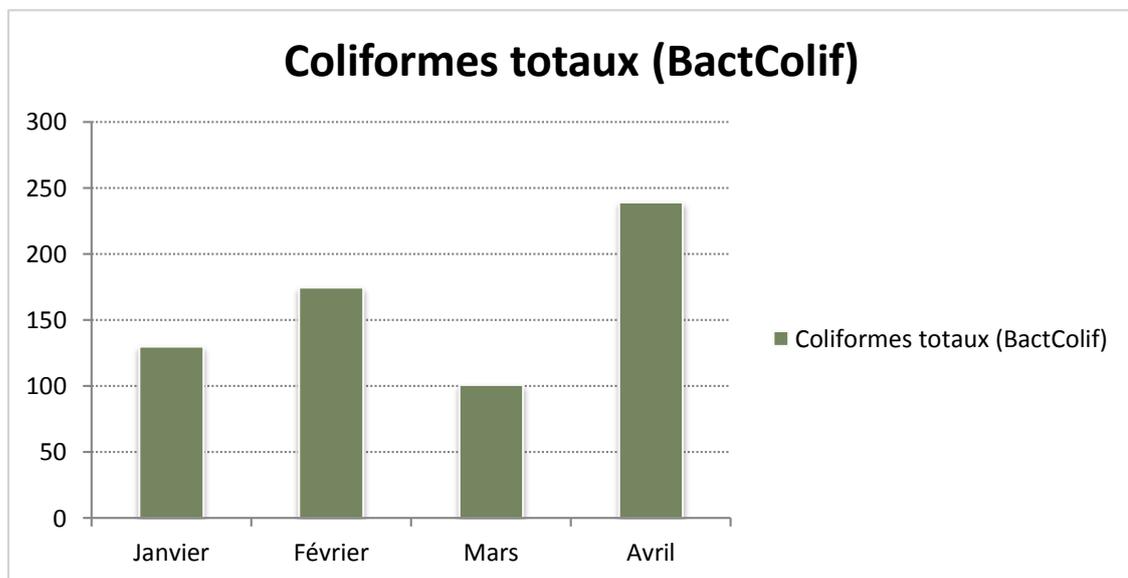
### III.1.12. Coliformes totaux (BactColif) :

Certaines espèces ne sont pas nécessairement liées à la flore intestinale humaine ou animale. La plupart des espèces de ce groupe se retrouvent naturellement dans le sol ou sur la végétation (George et Servais 2002, EDBERG, et al. 2000).

**Tableau 26: Variation de Coliformes totaux (BactColif) des eaux du barrage Boukourdane**

| Paramètre               | Unité            | Janvier | Février | Mars | Avril  |
|-------------------------|------------------|---------|---------|------|--------|
| <b>BactColif</b>        | <b>UFC/100ml</b> | 130     | 174,50  | 101  | 239,14 |
| <b>Norme algérienne</b> | <b>UFC/100ml</b> |         | 20.000  |      |        |
| <b>Norme (OMS)</b>      | <b>UFC/100ml</b> |         | -       |      |        |

La présence de ces bactéries, malgré leur faible concentration (101 UFC/100ml au minimum, à 239,14 UFC/100ml au maximum) par rapport aux normes algérienne (20.000 UFC/100ml), est le signe d'une pollution de l'eau, elles peuvent être indirectement associées à une pollution d'origine fécale dans les eaux du Barrage.



**Figure 31: Evolution temporelle de Coliformes totaux (BactColif) des eaux du barrage Boukourdane**

La concentration des coliformes totaux est irrégulière durant la période d'échantillonnage. De nombreuses activités agricoles sont exercées dans le bassin versant du Barrage qui impliquent des apports importants des micro-organismes (pathogènes ou non) d'origine fécale dans les eaux de surface (ARAB 2017).

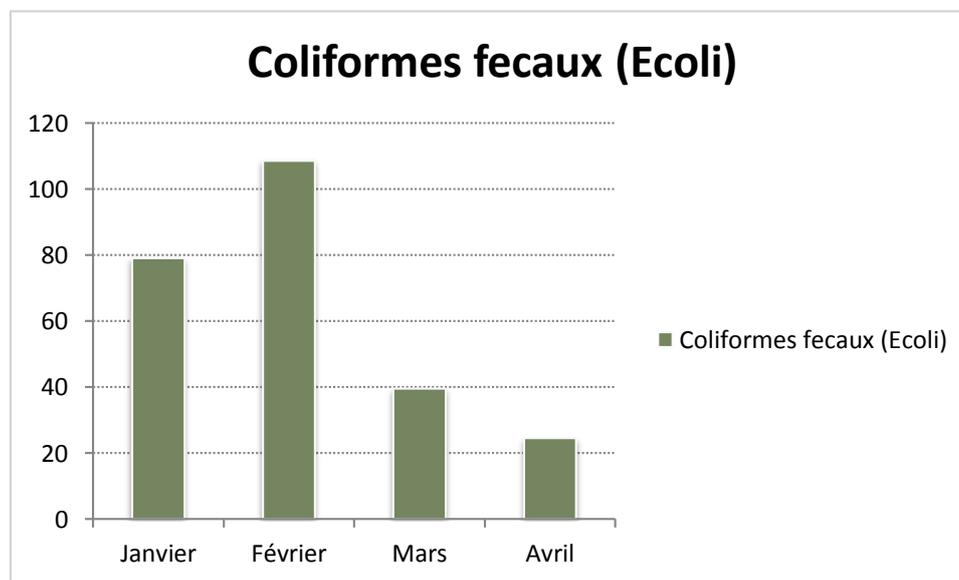
### III.1.13. Coliformes fécaux (Ecoli) :

La présence des coliformes fécaux dans un milieu aquatique, est considérée comme un bon indicateur d'une contamination récente du milieu par du matériel fécal humain ou animal à sang chaud (HELMER et HESPANHOL 1991).

**Tableau 27: Variation de Coliformes fécaux (Ecoli) des eaux du barrage Boukourdane**

| Paramètre               | Unité            | Janvier | Février | Mars  | Avril |
|-------------------------|------------------|---------|---------|-------|-------|
| <b>Ecoli</b>            | <b>UFC/100ml</b> | 79      | 108,50  | 39,50 | 24,60 |
| <b>Norme algérienne</b> | <b>UFC/100ml</b> |         | 20.000  |       |       |
| <b>Norme (OMS)</b>      | <b>UFC/100ml</b> |         | -       |       |       |

La concentration des coliformes fécaux est irrégulière durant la période d'échantillonnage, où nous avons enregistré 39,50 UFC/100ml au mois de Mars et 24,60 UFC/100ml en Avril comme une minimum concentration, excepte au mois de Février où nous avons noté une évolution important de 108,50 UFC/100ml.



**Figure 32: Evolution temporelle de Coliformes fécaux (Ecoli) des eaux du barrage Boukourdane**

La présence des coliformes fécaux (Ecoli) et leur concentration importante que nous avons noté, sont la conséquence de plusieurs facteurs environnementaux (précipitation, apports des oueds qui alimentent le lac du barrage, eaux usées brutes rejetées dans les oueds en amont du barrage).

### III.2. Analyse en composant principale :

L'analyse en composant principale (ACP) sert à décrire un jeu de données comportant de nombreux individus et variable quantitatives. L'analyse permet d'extraire l'information pertinente la synthétise sous forme de composants principales. L'ACP prend des valeurs entre (0) pas corrélé et (1) fortement corrélé, si cette valeur est proche de (1), alors le point est bien représenté sur l'axe.

Notre interprétation repose sur une ACP réalisée avec le logiciel (Xlstat), sur une analyse d'un certain nombre de critères de potabilité sur des eaux des prélèvements différents.

#### III.2.1. Matrice de corrélation :

Le tableau suivant représente la matrice de corrélation de test ACP (**Tableau 28**) :

Tableau 28: Matrice de corrélation (Pearson(n))

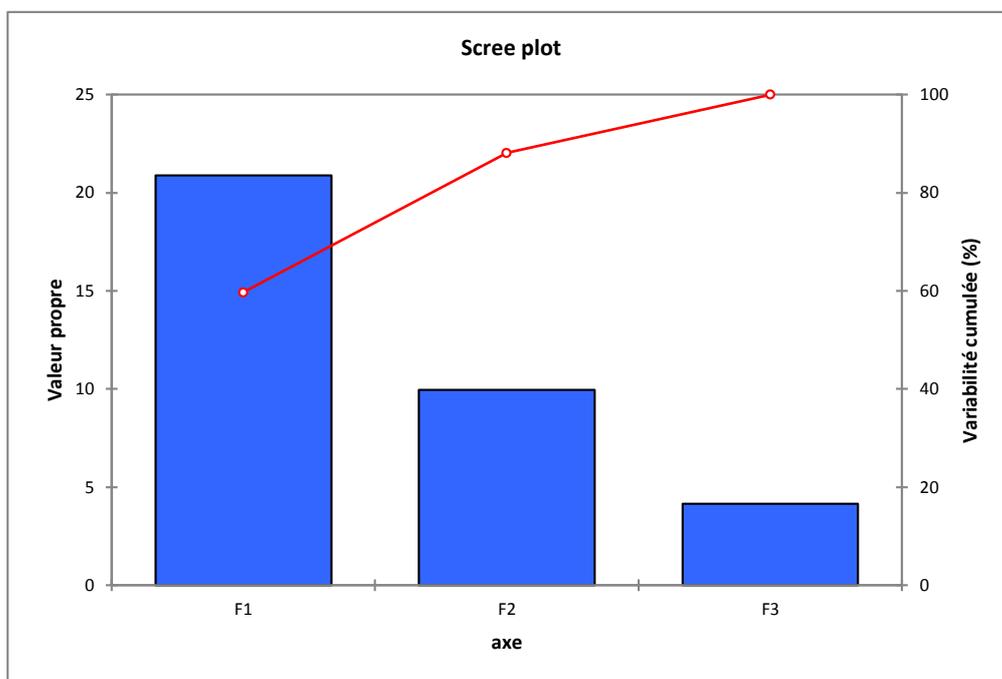
| Variables | PH     | Temp   | O2 des | Condu  | Turbidité | NH4+   | PO4-3  | NO3-   | NO2-   | MO     | Mn     | Fe2+   | Ca     | Mg     | Cl-    | So4-   | TH     | TAC    | Hco3-  | DCO    | DBO5   | Chloro a | Cadmium | Bore   | Arsenic | P Total | MES    | Fer des | Cu     | Zn     | Barium | Sélénium | BactColif | Ecoli  | Entérocoq |
|-----------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|-----------|--------|-----------|
| PH        | 1      | 0.514  | -0.912 | 0.158  | -0.023    | 0.244  | -0.690 | -0.044 | -0.597 | 0.827  | 0.307  | -0.206 | 0.639  | -0.991 | 0.729  | -0.811 | 0.285  | 0.848  | 0.848  | 0.663  | 0.340  | 0.020    | 0.995   | 0.995  | 0.995   | 0.995   | 0.102  | 0.078   | 0.995  | -0.995 | -0.995 | 0.995    | 0.950     | -0.248 | -0.291    |
| Temp      | 0.514  | 1      | -0.236 | 0.926  | -0.658    | 0.896  | -0.938 | -0.847 | -0.953 | 0.896  | 0.974  | -0.905 | 0.976  | -0.618 | 0.763  | -0.916 | 0.960  | 0.765  | 0.765  | 0.976  | -0.192 | -0.655   | 0.435   | 0.435  | 0.435   | 0.435   | -0.612 | 0.526   | 0.435  | -0.435 | -0.435 | 0.435    | 0.642     | -0.773 | -0.945    |
| O2 des    | -0.912 | -0.236 | 1      | 0.098  | -0.385    | -0.091 | 0.369  | -0.137 | 0.256  | -0.570 | -0.010 | -0.156 | -0.332 | 0.855  | -0.700 | 0.599  | 0.040  | -0.557 | -0.557 | -0.370 | -0.170 | -0.035   | -0.942  | -0.942 | -0.942  | -0.942  | -0.112 | 0.334   | -0.942 | 0.942  | 0.942  | -0.942   | -0.896    | -0.165 | -0.058    |
| Condu     | 0.158  | 0.926  | 0.098  | 1      | -0.692    | 0.952  | -0.759 | -0.974 | -0.814 | 0.662  | 0.981  | -0.926 | 0.832  | -0.278 | 0.602  | -0.706 | 0.967  | 0.482  | 0.482  | 0.825  | -0.434 | -0.811   | 0.072   | 0.072  | 0.072   | 0.072   | -0.796 | 0.504   | 0.072  | -0.072 | -0.072 | 0.072    | 0.347     | -0.731 | -0.940    |
| Turbidité | -0.023 | -0.658 | -0.385 | -0.692 | 1         | -0.441 | 0.691  | 0.543  | 0.762  | -0.510 | -0.749 | 0.902  | -0.681 | 0.150  | -0.021 | 0.419  | -0.812 | -0.549 | -0.549 | -0.646 | -0.237 | 0.168    | 0.065   | 0.065  | 0.065   | 0.065   | 0.170  | -0.968  | 0.065  | -0.065 | -0.065 | 0.065    | 0.011     | 0.974  | 0.859     |
| NH4+      | 0.244  | 0.896  | -0.091 | 0.952  | -0.441    | 1      | -0.688 | -0.974 | -0.722 | 0.652  | 0.914  | -0.778 | 0.779  | -0.339 | 0.772  | -0.742 | 0.871  | 0.417  | 0.417  | 0.786  | -0.608 | -0.923   | 0.174   | 0.174  | 0.174   | 0.174   | -0.899 | 0.227   | 0.174  | -0.174 | -0.174 | 0.174    | 0.486     | -0.513 | -0.819    |
| PO4-3     | -0.690 | -0.938 | 0.369  | -0.759 | 0.691     | -0.688 | 1      | 0.616  | 0.993  | -0.974 | -0.868 | 0.850  | -0.991 | 0.782  | -0.684 | 0.941  | -0.876 | -0.936 | -0.936 | -0.988 | -0.151 | 0.358    | -0.618  | -0.618 | -0.618  | -0.618  | 0.302  | -0.642  | -0.618 | 0.618  | 0.618  | -0.618   | -0.714    | 0.834  | 0.890     |
| NO3-      | -0.044 | -0.847 | -0.137 | -0.974 | 0.543     | -0.974 | 0.616  | 1      | 0.675  | -0.532 | -0.916 | 0.823  | -0.712 | 0.153  | -0.608 | 0.611  | -0.885 | -0.305 | -0.305 | -0.710 | 0.626  | 0.917    | 0.033   | 0.033  | 0.033   | 0.033   | 0.911  | -0.322  | 0.033  | -0.033 | -0.033 | 0.033    | -0.284    | 0.566  | 0.840     |
| NO2-      | -0.597 | -0.953 | 0.256  | -0.814 | 0.762     | -0.722 | 0.993  | 0.675  | 1      | -0.940 | -0.911 | 0.907  | -0.991 | 0.701  | -0.636 | 0.907  | -0.923 | -0.896 | -0.896 | -0.984 | -0.111 | 0.400    | -0.518  | -0.518 | -0.518  | -0.518  | 0.351  | -0.698  | -0.518 | 0.518  | 0.518  | -0.518   | -0.632    | 0.883  | 0.937     |
| MO        | 0.827  | 0.896  | -0.570 | 0.662  | -0.510    | 0.652  | -0.974 | -0.532 | -0.940 | 1      | 0.781  | -0.717 | 0.961  | -0.895 | 0.792  | -0.984 | 0.773  | 0.955  | 0.955  | 0.968  | 0.145  | -0.336   | 0.771   | 0.771  | 0.771   | 0.771   | -0.268 | 0.472   | 0.771  | -0.771 | -0.771 | 0.771    | 0.854     | -0.690 | -0.778    |
| Mn        | 0.307  | 0.974  | -0.010 | 0.981  | -0.749    | 0.914  | -0.868 | -0.916 | -0.911 | 0.781  | 1      | -0.961 | 0.920  | -0.427 | 0.634  | -0.801 | 0.995  | 0.640  | 0.640  | 0.912  | -0.269 | -0.706   | 0.219   | 0.219  | 0.219   | 0.219   | -0.680 | 0.595   | 0.219  | -0.219 | -0.219 | 0.219    | 0.452     | -0.816 | -0.981    |
| Fe2+      | -0.206 | -0.905 | -0.156 | -0.926 | 0.902     | -0.778 | 0.850  | 0.823  | 0.907  | -0.717 | -0.961 | 1      | -0.880 | 0.337  | -0.420 | 0.693  | -0.984 | -0.641 | -0.641 | -0.860 | 0.079  | 0.531    | -0.112  | -0.112 | -0.112  | -0.112  | 0.515  | -0.788  | -0.112 | 0.112  | 0.112  | -0.112   | -0.287    | 0.934  | 0.994     |
| Ca        | 0.639  | 0.976  | -0.332 | 0.832  | -0.681    | 0.779  | -0.991 | -0.712 | -0.991 | 0.961  | 0.920  | -0.880 | 1      | -0.736 | 0.731  | -0.949 | 0.919  | 0.885  | 0.885  | 0.999  | 0.019  | -0.479   | 0.563   | 0.563  | 0.563   | 0.563   | -0.427 | 0.599   | 0.563  | -0.563 | -0.563 | 0.563    | 0.704     | -0.817 | -0.921    |
| Mg        | -0.991 | -0.618 | 0.855  | -0.278 | 0.150     | -0.339 | 0.782  | 0.153  | 0.701  | -0.895 | -0.427 | 0.337  | -0.736 | 1      | -0.756 | 0.875  | -0.410 | -0.906 | -0.906 | -0.756 | -0.322 | 0.050    | -0.973  | -0.973 | -0.973  | -0.973  | -0.032 | -0.187  | -0.973 | 0.973  | 0.973  | -0.973   | -0.952    | 0.370  | 0.418     |
| Cl-       | 0.729  | 0.763  | -0.700 | 0.602  | -0.021    | 0.772  | -0.684 | -0.608 | -0.636 | 0.792  | 0.634  | -0.420 | 0.731  | -0.756 | 1      | -0.885 | 0.566  | 0.604  | 0.604  | 0.762  | -0.375 | -0.661   | 0.702   | 0.702  | 0.702   | 0.702   | -0.596 | -0.108  | 0.702  | -0.702 | -0.702 | 0.702    | 0.905     | -0.209 | -0.513    |
| So4-      | -0.811 | -0.916 | 0.599  | -0.706 | 0.419     | -0.742 | 0.941  | 0.611  | 0.907  | -0.984 | -0.801 | 0.693  | -0.949 | 0.875  | -0.885 | 1      | -0.776 | -0.889 | -0.889 | -0.962 | 0.022  | 0.473    | -0.757  | -0.757 | -0.757  | -0.757  | 0.405  | -0.345  | -0.757 | 0.757  | 0.757  | -0.757   | -0.889    | 0.604  | 0.763     |
| TH        | 0.285  | 0.960  | 0.040  | 0.967  | -0.812    | 0.871  | -0.876 | -0.885 | -0.923 | 0.773  | 0.995  | -0.984 | 0.919  | -0.410 | 0.566  | -0.776 | 1      | 0.656  | 0.656  | 0.907  | -0.193 | -0.643   | 0.194   | 0.194  | 0.194   | 0.194   | -0.619 | 0.673   | 0.194  | -0.194 | -0.194 | 0.194    | 0.405     | -0.869 | -0.995    |
| TAC       | 0.848  | 0.765  | -0.557 | 0.482  | -0.549    | 0.417  | -0.936 | -0.305 | -0.896 | 0.955  | 0.640  | -0.641 | 0.885  | -0.906 | 0.604  | -0.889 | 0.656  | 1      | 1.000  | 0.887  | 0.431  | -0.050   | 0.798   | 0.798  | 0.798   | 0.798   | 0.018  | 0.583   | 0.798  | -0.798 | -0.798 | 0.798    | 0.780     | -0.722 | -0.688    |
| Hco3-     | 0.848  | 0.765  | -0.557 | 0.482  | -0.549    | 0.417  | -0.936 | -0.305 | -0.896 | 0.955  | 0.640  | -0.641 | 0.885  | -0.906 | 0.604  | -0.889 | 0.656  | 1.000  | 1      | 0.887  | 0.431  | -0.050   | 0.798   | 0.798  | 0.798   | 0.798   | 0.018  | 0.583   | 0.798  | -0.798 | -0.798 | 0.798    | 0.780     | -0.722 | -0.688    |
| DCO       | 0.663  | 0.976  | -0.370 | 0.825  | -0.646    | 0.786  | -0.988 | -0.710 | -0.984 | 0.968  | 0.912  | -0.860 | 0.999  | -0.756 | 0.762  | -0.962 | 0.907  | 0.887  | 0.887  | 1      | 0.001  | -0.492   | 0.590   | 0.590  | 0.590   | 0.590   | -0.437 | 0.561   | 0.590  | -0.590 | -0.590 | 0.590    | 0.734     | -0.789 | -0.906    |
| DBO5      | 0.340  | -0.192 | -0.170 | -0.434 | -0.237    | -0.608 | -0.151 | 0.626  | -0.111 | 0.145  | -0.269 | 0.079  | 0.019  | -0.322 | -0.375 | 0.022  | -0.193 | 0.431  | 0.431  | 0.001  | 1      | 0.867    | 0.350   | 0.350  | 0.350   | 0.350   | 0.889  | 0.471   | 0.350  | -0.350 | -0.350 | 0.350    | 0.032     | -0.274 | 0.102     |
| Chloro a  | 0.020  | -0.655 | -0.035 | -0.811 | 0.168     | -0.923 | 0.358  | 0.917  | 0.400  | -0.336 | -0.706 | 0.531  | -0.479 | 0.050  | -0.661 | 0.473  | -0.643 | -0.050 | -0.050 | -0.492 | 0.867  | 1        | 0.068   | 0.068  | 0.068   | 0.068   | 0.997  | 0.080   | 0.068  | -0.068 | -0.068 | 0.068    | -0.282    | 0.194  | 0.566     |
| Cadmium   | 0.995  | 0.435  | -0.942 | 0.072  | 0.065     | 0.174  | -0.618 | 0.033  | -0.518 | 0.771  | 0.219  | -0.112 | 0.563  | -0.973 | 0.702  | -0.757 | 0.194  | 0.798  | 0.798  | 0.590  | 0.350  | 0.068    | 1       | 1.000  | 1.000   | 1.000   | 0.151  | 0.000   | 1.000  | -1.000 | -1.000 | 1.000    | 0.938     | -0.160 | -0.199    |
| Bore      | 0.995  | 0.435  | -0.942 | 0.072  | 0.065     | 0.174  | -0.618 | 0.033  | -0.518 | 0.771  | 0.219  | -0.112 | 0.563  | -0.973 | 0.702  | -0.757 | 0.194  | 0.798  | 0.798  | 0.590  | 0.350  | 0.068    | 1.000   | 1      | 1.000   | 1.000   | 0.151  | 0.000   | 1.000  | -1.000 | -1.000 | 1.000    | 0.938     | -0.160 | -0.199    |
| Arsenic   | 0.995  | 0.435  | -0.942 | 0.072  | 0.065     | 0.174  | -0.618 | 0.033  | -0.518 | 0.771  | 0.219  | -0.112 | 0.563  | -0.973 | 0.702  | -0.757 | 0.194  | 0.798  | 0.798  | 0.590  | 0.350  | 0.068    | 1.000   | 1.000  | 1       | 1.000   | 0.151  | 0.000   | 1.000  | -1.000 | -1.000 | 1.000    | 0.938     | -0.160 | -0.199    |
| P Total   | 0.995  | 0.435  | -0.942 | 0.072  | 0.065     | 0.174  | -0.618 | 0.033  | -0.518 | 0.771  | 0.219  | -0.112 | 0.563  | -0.973 | 0.702  | -0.757 | 0.194  | 0.798  | 0.798  | 0.590  | 0.350  | 0.068    | 1.000   | 1.000  | 1.000   | 1       | 0.151  | 0.000   | 1.000  | -1.000 | -1.000 | 1.000    | 0.938     | -0.160 | -0.199    |
| MES       | 0.102  | -0.612 | -0.112 | -0.796 | 0.170     | -0.899 | 0.302  | 0.911  | 0.351  | -0.268 | -0.680 | 0.515  | -0.427 | -0.032 | -0.596 | 0.405  | -0.619 | 0.018  | 0.018  | -0.437 | 0.889  | 0.997    | 0.151   | 0.151  | 0.151   | 0.151   | 1      | 0.081   | 0.151  | -0.151 | -0.151 | 0.151    | -0.202    | 0.176  | 0.543     |
| Fer des   | 0.078  | 0.526  | 0.334  | 0.504  | -0.968    | 0.227  | -0.642 | -0.322 | -0.698 | 0.472  | 0.595  | -0.788 | 0.599  | -0.187 | -0.108 | -0.345 | 0.673  | 0.583  | 0.583  | 0.561  | 0.471  | 0.080    | 0.000   | 0.000  | 0.000   | 0.000   | 0.081  | 1       | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000    | -0.035    | -0.946 | -0.740    |
| Cu        | 0.995  | 0.435  | -0.942 | 0.072  | 0.065     | 0.174  | -0.618 | 0.033  | -0.518 | 0.771  | 0.219  | -0.112 | 0.563  | -0.973 | 0.702  | -0.757 | 0.194  | 0.798  | 0.798  | 0.590  | 0.350  | 0.068    | 1.000   | 1.000  | 1.000   | 1.000   | 0.151  | 0.000   | 1      | -1.000 | -1.000 | 1.000    | 0.938     | -0.160 | -0.199    |
| Zn        | -0.995 | -0.435 | 0.942  | -0.072 | -0.065    | -0.174 | 0.618  | -0.033 | 0.518  | -0.771 | -0.219 | 0.112  | -0.563 | 0.973  | -0.702 | 0.757  | -0.194 | -0.798 | -0.798 | -0.590 | -0.350 | -0.068   | -1.000  | -1.000 | -1.000  | -1.000  | -0.151 | 0.000   | -1.000 | 1      | 1.000  | -1.000   | -0.938    | 0.160  | 0.199     |
| Barium    | -0.995 | -      |        |        |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |         |        |         |         |        |         |        |        |        |          |           |        |           |

Pour connaître combien d'axes sont intéressants pour notre analyse, il faut consulter le tableau des valeurs propres qui accompagnent l'ACP, nous tiendrons compte de :

- Critère (absolu): valeur  $> 1$ , entre kaiser.
- Critère (relatif): retenir les valeurs qui dominent les autres, en se référant au graphique en barre des valeurs propres (scree plot).

**Tableau 29: Valeurs propres**

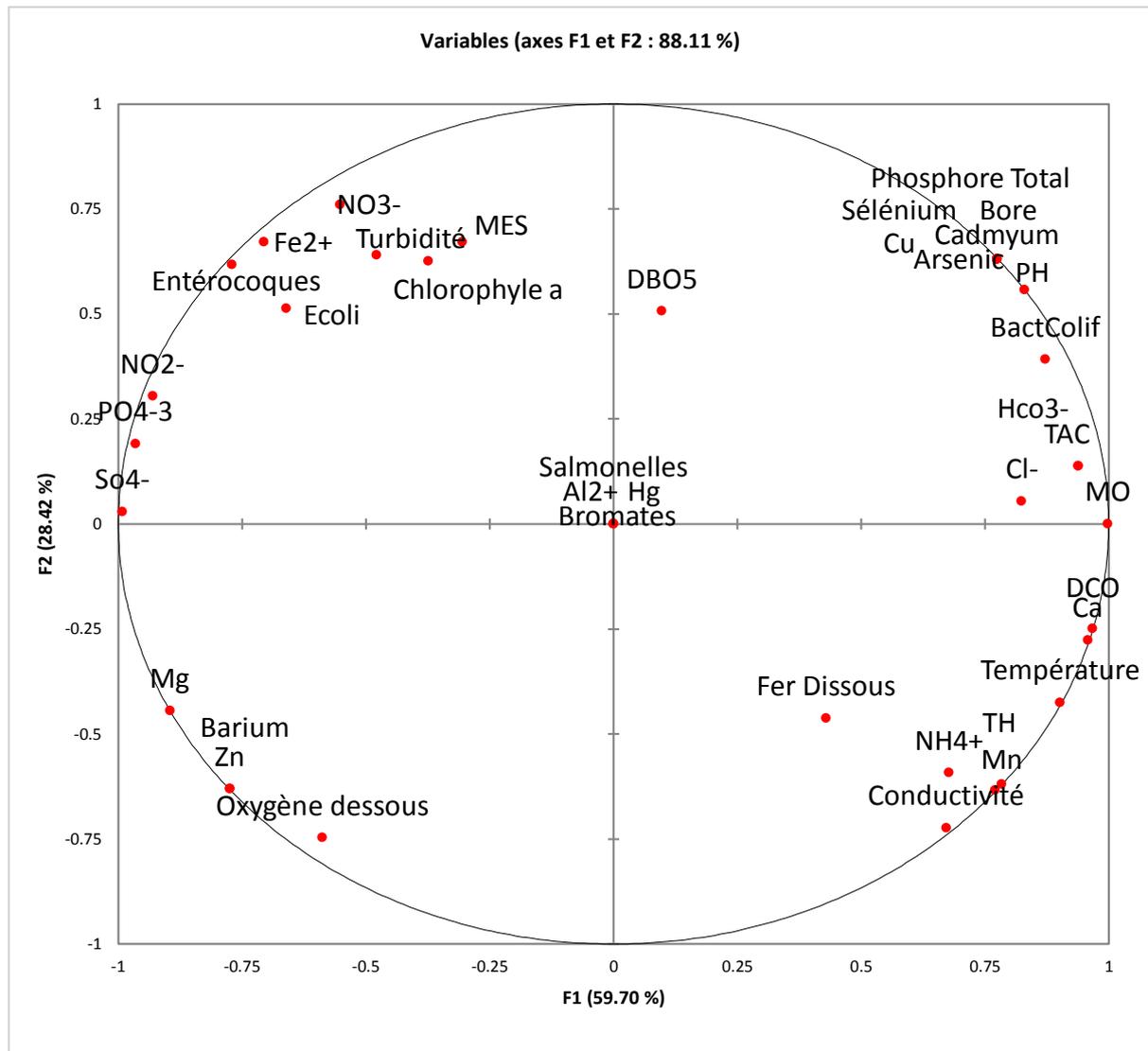
|                        | F1     | F2     | F3      |
|------------------------|--------|--------|---------|
| <b>Valeur propre</b>   | 20.894 | 9.946  | 4.160   |
| <b>Variabilité (%)</b> | 59.697 | 28.416 | 11.886  |
| <b>% cumulé</b>        | 59.697 | 88.114 | 100.000 |



**Figure 33: Valeurs propres (scree plot)**

Il est important que les valeurs propres des axes retenus restituent une bonne proportion d'analyse. Cela signifie que la somme de l'inertie expliquée par chacun des axes (3<sup>ème</sup> colonne) représente une partie importante de l'inertie totale.

### III.2.2. Relations entre les variables et les facteurs :



**Figure 34: Corrélations entre les variables et les facteurs**

Les points les plus intéressants sont la ( $DBO_5$ , turbidité, MES, Ecoli, Entérocoques,  $NO_2$ ,  $NO_3$ ,  $PO_4$ ) généralement assez proches d'un des axes ( $F_1$ ,  $F_2$ ) et assez loin de l'origine, ces points sont bien corrélés avec cet axe et sont les points explicatifs par l'axe. Ce sont les points les plus parlants, leur (varie distance) de l'origine est bien représentée sur le plan (corrélations) factoriel. Dans ce mapping en cercle, on doit clairement dire que la  $DBO_5$  est bien corrélée avec l'axe vertical ( $F_2$ ).

L'axe horizontal représente la première dimension de l'ACP, il représente 59,70% de l'information initiale. L'axe vertical est la seconde dimension de l'ACP, les points en rouge sont les variables étudiées, ici ces deux doivent être interprétés en termes d'angles séparant soit les variables entre elles, soit les variables et les dimensions d'ACP, les angles aigus reflètent un lien positif entre variables ( $MO$ ,  $Cl^-$ , TAC,  $HCO_3^-$ , BactColif, Phosphore totale),

arsenic, Ca, PH, cadmium Bore, Sélénium) sont positivement corrélées les angles droit séparant 2 variables non liées (cas DBO<sub>5</sub> et MO).

### III.2.3. Relations entre individus/variables :

Le graphique (Bi plot), nous aidera à interpréter les liens individus /individus, et individus/variables.

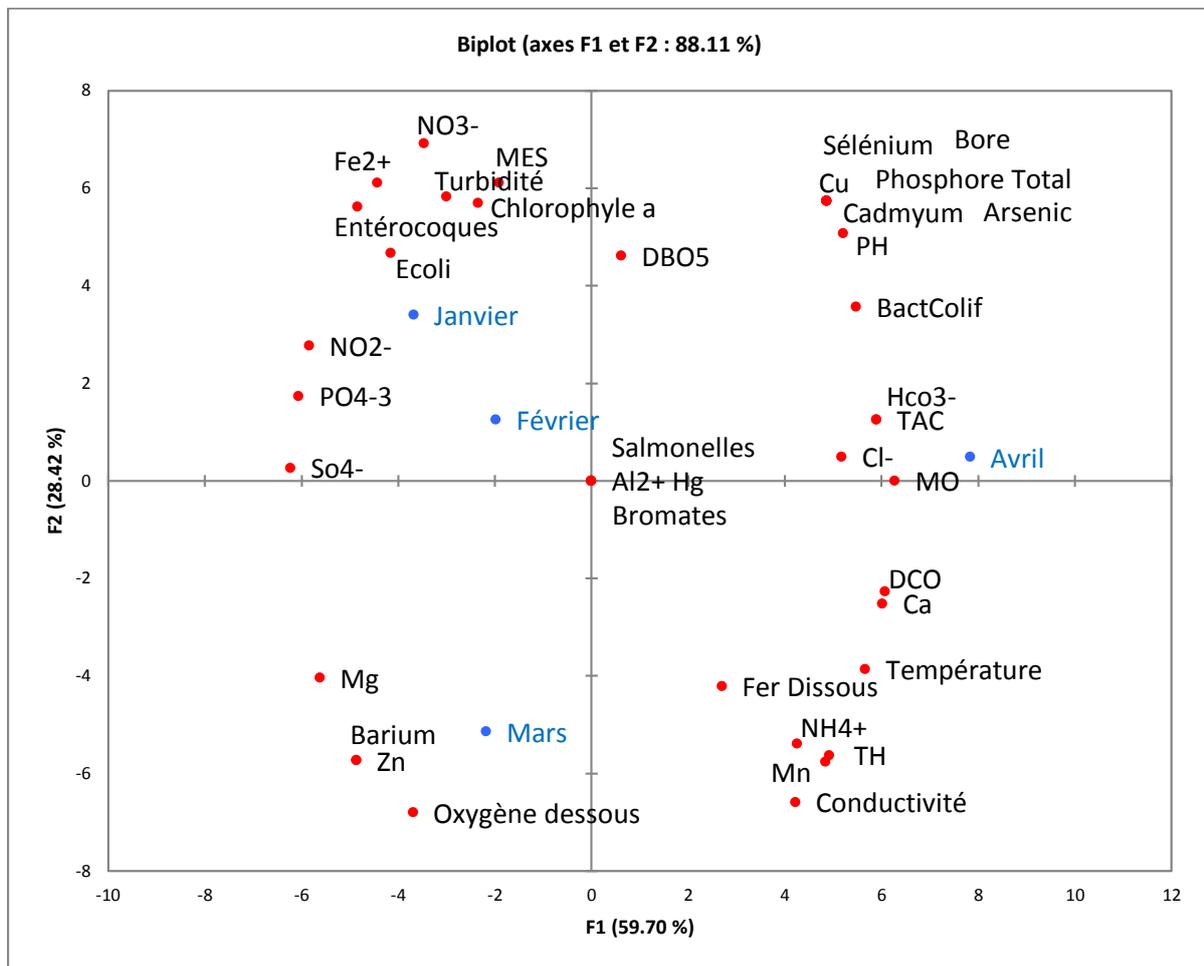


Figure 35: Coordonnées des observations (Biplot)

L'axe horizontal est la 1<sup>ère</sup> dimension d'ACP, l'axe vertical est la seconde.

- Les paramètres correspondant au mois d'avril se trouvant à droite sont plus corrélés par rapport à ceux se trouvant sur la gauche correspondant aux mois (Janvier, Février, Mars).
- Les paramètres se trouvant sur la gauche sont liés entre elles pour la saison (Janvier, Février, Mars), indépendamment des paramètres de droite relatifs au mois d'avril.

- La qualité de la projection est assurée à l'aide du pourcentage d'inertie (informations) expliqué par chaque axe ou expliqué pour un plan.

Les pourcentages d'inertie et aussi le pourcentage d'information expliqué pour un axe ou un plan. Où le diagramme en barre des pourcentages d'inertie expliqué pour chaque dimension.

En voit que le 1<sup>er</sup> d'inertie expliqué par la 1<sup>er</sup> dimension qui est de l'ordre de 10% et pour la 2<sup>ème</sup> dimension qui est de l'ordre de 48%. Les axes étant orthogonaux, on peut additionner le pourcentage d'inertie de plusieurs axes, ainsi la 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> dimension sont expliqués un pourcentage de 38% de l'information contenu dans le jeu de données, si on résumé tous les variables dans deux dimension, alors on récupère 99% de l'information contenu dans tout le tableau.

Nous avons un excellent résumé qui synthétise parfaitement les variables étudiés.

### III.3. Conclusion :

Nous avons discuté les résultats des analyses obtenues à partir des échantillons d'eau du barrage, les paramètres physico-chimiques tels que (température, pH, O<sub>2</sub> dessous, conductivité, nitrates et nitrites, Ammonium, phosphate, DBO et DCO) sont conformes aux recommandations en vigueur en Algérie et de l'OMS. D'autre part, la turbidité est suffisamment élevée pour permettre d'enregistrer des concentrations importantes des bactéries dans l'eau du barrage.

Nous pouvons dire que la qualité de l'eau du barrage Boukourdane est acceptable selon la grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité des eaux superficielles (ABH, 2009).

L'analyse des composantes principales (ACP), nous montre la forte corrélation proportionnelle entre la turbidité et Ecoli (0,974), la turbidité et Entérocoque (0,859), ainsi que la forte corrélation inversement proportionnelle entre l'ammonium et le nitrate (-0,974). Cela confirme l'importance de réduire la turbidité pour réduire les concentrations des bactéries pathogènes et la relation entre la décomposition des nitrates avec l'augmentation de la concentration en ammonium.

## **CHAPITRE IV :**

**Impact de la qualité d'eau de boisson sur  
la santé des populations**

## **Chapitre IV : Impact de la qualité d'eau de boisson sur la santé des populations.**

### Introduction :

Les paramètres physiques de l'eau de boisson sont en général des critères que l'ont peut mesurer avec nos sens (turbidité, couleur, goût, odeur et température). En général, nous jugeons que l'eau de boisson a de bonnes qualités physiques si elle est claire, a bon goût, n'a pas d'odeur et est fraîche (CAWST 2013). De même, il est naturel pour les individus d'avoir des doutes sur la qualité d'une eau de boisson qui semble sale ou a un goût ou une odeur déplaisante, même si ces caractéristiques n'ont pas d'effet direct sur la santé. Une eau salubre qui a un mauvais goût, une mauvaise odeur ou un aspect désagréable peut conduire les gens à la rejeter au profit d'autres sources qui peuvent être moins sûres (OMS 2011).

Dans ce chapitre, nous discuterons les résultats obtenus et conclurons si la qualité de l'eau du barrage est propre à la consommation humaine. Nous discuterons aussi l'impact de la qualité des eaux du barrage sur la santé des populations.

### IV.1. Effets potentiels sur la santé :

Les paramètres physiques n'ont pas d'effet direct sur la santé. Cependant, les caractéristiques physiques de l'eau de boisson peuvent indiquer un risque plus élevé de contamination microbologique et chimique, pouvant présenter un danger pour la santé humaine. Par exemple, des niveaux de turbidité élevés sont souvent associés à des niveaux importants d'agents pathogènes comme les virus, les protozoaires et les bactéries (OMS 2011).

### IV.2. Effets de la turbidité sur la santé :

La turbidité elle-même ne rend pas malade, cependant des niveaux élevés de turbidité sont souvent associés à de hauts niveaux de microorganismes (bactéries, virus, protozoaires) car ils se fixent sur les particules dans l'eau. Nous devons donc faire attention à l'eau turbide car elle contient en général davantage d'agents pathogènes, et la boire augmente les chances de tomber malade (CAWST 2013).

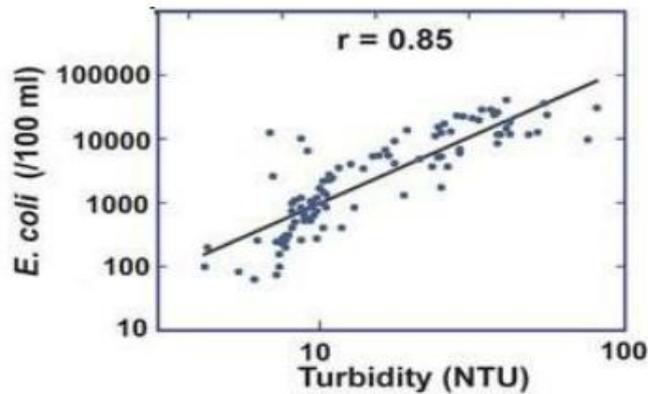


Figure 36: Exemple d'une relation entre turbidité et présence d'Ecoli dans l'eau (Source CAWST).

Les résultats de la turbidité obtenus grâce à l'analyse de l'eau du barrage de Boukourdane étaient élevés (20,92 NTU la valeur maximale), ce qui peut augmenter la probabilité de prolifération des bactéries pathogènes (*Escherichia coli*, Entérotoxique, *Campylobacter*, *Yersinia enterocolitica*) et leur impact négatif sur la santé des consommateurs.

#### IV.2.1. Maladies causés par la turbidité :

Le risque pour la santé ne provient habituellement pas des particules elles-mêmes, mais des effets des particules en suspension sur la désinfection de l'eau. Boire de l'eau trouble peut causer de nombreuses maladies, notamment :

##### Maladies d'origine bactérienne :

- La Typhoïde et la paratyphoïde.
- La dysenterie bacillaire.
- Le choléra.
- la Gastro-entérite aiguë et la Diarrhée.

##### Maladies d'origine virale :

- L'hépatite A et E.
- La polio.
- La Gastro-entérite aiguë et chronique.

##### Maladies d'origine parasitaire :

- Dysenterie amibienne.
- Parasite gastro-entérite.

Pour éliminer les effets de la turbidité sur la désinfection, la concentration de turbidité doit être réduite à ( $< 5$  NTU) dans le processus de traitement, selon les recommandations de l'organisation mondiale de la santé et les normes en vigueur en Algérie.

### IV.3. Effets potentiels sur la santé des produits chimiques :

#### IV.3.1. Nitrates et nitrites :

Le principal problème de santé est la méthémoglobinémie ou syndrome du bébé bleu, qui se produit chez les nourrissons habituellement nourris au biberon, Les symptômes comprennent le souffle court et la peau qui vire au bleu en raison du manque d'oxygène (CAWST 2013).

Les concentrations des deux produits dans l'eau de boisson du barrage de Boukourdane sont négligeable, alors ne présente donc pas de risque potentiel pour la santé.

#### IV.3.2. Effets des Phosphates :

Malgré la forte concentration de  $\text{PO}_4^{3-}$  enregistré dans les eaux du barrage de Boukourdane (0,090 mg/l valeur maximale). Il est considéré comme une substance essentielle à la nutrition humaine, et aucune directive sanitaire n'est proposée (CAWST 2013).

#### IV.3.3. Effets potentiels d'ammonium sur la santé :

Le  $\text{NH}_4^+$  n'est pas très toxique. Ces effets directs sur la santé sont encore assez méconnus. L'ammonium est le plus fréquemment rencontré sous forme de chlorure d'ammonium. Cette substance n'est pas réellement dangereuse pour la santé (Lenntech 2021).

Avec des concentrations très élevées peut provoquer des toux, son contact avec la peau ou les yeux peut provoquer des rougeurs, son ingestion cause des nausées, des maux de gorge, des vomissements (Lenntech 2021).

La concentration d'ammonium enregistré dans l'eau du barrage varie entre (0,030 mg/l à 0,76 mg/l), cette concentration est élevée par rapport à la recommandation algérienne de qualité de l'eau de consommation humaine (0,5 mg/l). Cependant, le processus de traitement approprié suffit pour réduire la concentration à la valeur requise, rendre l'eau propre à la consommation et éviter les effets sur la santé.

#### IV.3.4. Effets potentiels des sulfates sur la santé :

Des doses importantes des sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dans l'eau que nous buvons peuvent avoir un effet laxatif sur l'organisme. Les sulfates sont susceptibles dans ce cas de provoquer des diarrhées entraînant à la longue une grave déshydratation. Des troubles digestifs ainsi que

des nausées peuvent survenir et entraîner chez certaines personnes des douleurs abdominales aiguës (josmose.fr/blog 2021).

La concentration des sulfates dans l'eau du barrage de Boukourdane (de 61 mg/l à 166,25 mg/l) est conforme aux normes et aux recommandations de l'OMS (400 mg/l). Elle est donc propre à la consommation humaine et sans danger pour la santé.

#### IV.3.5. Effets potentiels de l'arsenic sur la santé :

L'arsenic est un élément naturel de la croûte terrestre et il est largement présent dans l'environnement, que ce soit dans l'air, dans l'eau ou dans la terre. Il est très toxique sous forme inorganique (OMS 2018).

On trouve l'arsenic sous forme inorganique ou organique. Les composés inorganiques (comme ceux qui sont présents dans l'eau) sont très toxiques (OMS 2018).

##### Effets aigus par l'arsenic :

Les symptômes immédiats d'une intoxication aiguë à l'arsenic se manifestent par des vomissements, des douleurs abdominales et une diarrhée (OMS 2018).

- Maladie de peau (mélanose et kératose)
- Peu entrainer un cancer des poumons, de la vessie, des reins, de la peau, de foie, de la prostate.
- Connus aussi pour provoquer les maladies vasculaires, des effets neurologique et des anomalies de développement chez le nourrisson (CAWST 2013).



**Figure 38: Aspect clinique d'une mélanose primaire (source [researchgate.net](https://www.researchgate.net))**

**Figure 37: Exemple de kératose (source [wikipedia.org](https://www.wikipedia.org))**

#### Effets à long terme de l'arsenic:

Selon (OMS, Organisation Mondiale de la Santé 2018) Le Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé l'arsenic et ses composés, dans les produits cancérigènes pour l'homme, et a également déclaré que l'arsenic dans l'eau de boisson est cancérigène pour l'homme. Les autres effets indésirables pour la santé qu'on peut associer à une ingestion prolongée d'arsenic inorganique sont les suivants:

- Diabète
- atteintes pulmonaires et atteintes cardiovasculaires.
- En particulier, l'infarctus du myocarde induit par l'arsenic peut être une cause importante de surmortalité.

En Algérie la concentration maximale acceptable recommandée est de 10 µg/l, et la concentration d'arsenic dans l'eau du barrage de Boukourdane est inférieure à 2 µg/l ce qui garantit que cette eau du barrage est exempte de danger réel pour la santé lié à l'arsenic.

#### IV.3.6. Effets potentiels de bore sur la santé :

Présent naturellement dans l'eau souterraine, mais sa présence dans l'eau de surface résulte souvent de l'écoulement d'eaux usées traitées contenant des détergents (CAWST 2013). Le barrage de Boukourdane reçoit des eaux usées non traitées qui se déversent dans l'oued Menaceur en amont, ce qui explique la présence de Bore.

Cet élément chimique est considéré comme toxique (CAWST 2013). Des études réalisées chez l'humain ont établi des corrélations possibles entre le bore et des effets sur la reproduction et le développement. Ces études présentent toutefois un certain nombre de limites sur le plan de la conception et ne peuvent être utilisées aux fins de l'évaluation des risques. Dans les études menées sur des animaux, on a systématiquement observé des effets néfastes sur le système reproducteur des mâles après ingestion de fortes doses de bore, ce qui vient étayer les effets observés dans les études chez l'humain (Santé canada 2020).

La présence de Bore dans l'eau du barrage est des concentrations faible (0,079 mg/l en Mars et 0,12 mg/l en Avril). La limite de potabilité selon les recommandation en vigueur en Algérie concernant le Bore est (1mg/l), donc il ne présente pas de danger potentiel pour la santé.

#### IV.3.7. Effets potentiels de cadmium sur la santé :

Le cadmium est un métal qui est présent dans l'environnement sous sa forme élémentaire ou sous forme de différents sels. Le cadmium peut pénétrer dans les sources d'eau potable de façon naturelle (lessivage du sol) (Santé canada 2019).

Bien que l'exposition au cadmium par inhalation soit réputée avoir des effets cancérigènes chez les humains, une exposition par l'eau potable ne suscite pas les mêmes craintes. Une exposition par voie orale à des concentrations élevées de cadmium pendant une période prolongée peut avoir des effets nocifs sur les reins ou les os (Santé Canada 2020, CAWST 2013).

La concentration en cadmium inférieure à 2 µg/l dans l'eau du barrage de Boukourdane respecte les recommandations spécifiées et les limites admissibles 3µg/l. Par conséquent, il n'y a pas de danger pour la santé.

#### IV.3.8. Effets potentiels de sélénium sur la santé :

Le sélénium est répandu dans la croûte terrestre, et on en trouve à l'état de trace dans la plupart des tissus végétaux et animaux. Le sélénium n'est pas obtenu directement par exploitation minière. Il s'agit plutôt d'un sous-produit de la production d'autres métaux (S. Canada 2013). Dans le sol, la présence de sélénium varie considérablement et dépend de la composition minéralogique (Whanger 1989).

Comme le sélénium est un élément essentiel, des organisations internationales en ont établi les besoins quotidiens minimaux (OMS 2004). Le sélénium est un oligoélément essentiel dans l'alimentation humaine. Il est un élément constitutif de plusieurs protéines et enzymes de l'organisme et la régulation des hormones thyroïdiennes et la défense antioxydant (S. Canada 2013).

D'autres effets bénéfiques pour la santé humaine sont hypothétiquement associés à la présence de sélénium dans l'organisme et souvent corrélés à son rôle antioxydant :

- Amélioration du système immuno-défensif des patients atteints du HIV ou d'autres maladies virales.
- Protection contre les risques cardio-vasculaires.
- Défense contre les métaux lourds comme l'argent, le mercure, le cadmium, le plomb, en formant en cas d'exposition, des complexes biologiquement inactifs sous forme de sélénures du métal (NAIT MERZOUG 2014).

La concentration en sélénium dans l'eau du barrage de Boukourdane est comprise entre 4,27µg/l et 10µg/l, ce qui reste dans les normes en vigueur en Algérie. C'est-à-dire qu'il n'y a aucun risque qu'une carence de cet élément dans l'eau potable entraîne des problèmes de santé.

#### IV.3.9. Effets potentiels du baryum sur la santé:

Les niveaux de Baryum naturellement présent dans l'environnement sont très faibles. On ne peut trouver des grandes quantités de baryum que dans les sols et les aliments tels que les noix, les algues les poissons et certaines plantes (Lenntech 2021). Le baryum à l'état naturel est présent dans la plupart des types de roches et peut pénétrer dans les eaux de surface et les eaux souterraines par lessivage et érosion des roches sédimentaires (Santé canada 2019).

Le centre international de recherche sur le cancer n'a pas classé le baryum en fonction de sa cancérogénicité. (L'Environmental Protection Agency) des États-Unis a conclu qu'il était peu probable qu'une exposition par ingestion au baryum soit cancérigène pour les humains, d'autres organismes internationaux reconnaissent que rien ne démontre qu'une exposition au baryum par ingestion puisse causer le cancer (Santé canada 2019).

Les conséquences du baryum sur la santé dépendent de la solubilité dans l'eau des composés. Les composés du baryum qui se dissolvent dans l'eau peuvent être nocifs pour la santé (Lenntech 2021). Des effets nocifs sur les reins ont démontré une forte corrélation avec une exposition chronique par voie orale au baryum (Santé canada 2019).

De petites quantités de ces composés peuvent provoquer :

- une augmentation de la pression artérielle.
- des modifications du rythme cardiaque.
- des modifications des réflexes nerveux.
- une inflammation du cerveau et du foie (Lenntech 2021).

Le baryum dans le Barrage du Boukourdane est présent avec des concentrations stables durant la période des échantillonnages qui nous avons effectués. Où nous avons noté 0,13 mg/l en Mars et Avril consécutivement. Cette concentration est conforme aux recommandations nationales en vigueur 0,7 mg/l (paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine).

#### IV.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une explication de l'effet des certains éléments chimiques et physiques présents dans l'eau du barrage de Boukourdane destinée a l'alimentation en eau potable sur la santé humaine. Où nous avons expliqué la relation directe entre la turbidité et le pourcentage de contamination bactérienne dans l'eau du barrage, la turbidité donc doit être réduite à moins de 5 NTU par un traitement pour rendre l'eau potable. Sans oublier que nous avons comparé les concentrations d'éléments toxique (Ammonium, bore) et de métaux lourds (Arsenic, cadmium, sélénium), dont nous avons enregistré que leurs concentrations est conforme aux normes algérienne concernant les objectifs de qualité des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations.

# **CONCLUSION GENERALE**

### Conclusion générale :

L'eau est une ressource importante qui doit être valorisée et conservée.

L'étude menée au cours de ce travail a pour objectif d'évaluer l'état physico-chimique et bactériologique des eaux du barrage Boukourdane, l'eau de ce barrage étant une ressource importante pour l'eau potable et d'irrigation dans la wilaya de Tipaza.

Ce barrage garantit l'approvisionnement en eau potable de neuf communes de la wilaya (Tipaza, Hadjout, Sidi Amar, Nador, Menaceur, Cherchelle, Sidi Ghiles, Sidi Rached et Meurad), avec la garantie de l'eau d'irrigation dans la vallée d'Oued Elhashem, donc valoriser et contrôler sa qualité est un enjeu important.

Le barrage a connu dans la période récente de 2019 à nos jours une baisse importante de son niveau d'eau plus que jamais, ce qui est susceptible d'affecter négativement la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.

Afin de surveiller l'état d'eau du barrage et son impact sur la santé, nous avons effectué des analyses pour le mois d'avril, où nous avons prélevé deux échantillons les 06 et 19 avril 2021. Nous avons utilisé aussi les résultats de l'analyse de l'eau brute qui arrive directement à l'usine de traitement SEAAL depuis le barrage pour les mois de janvier, février et mars.

À travers les résultats obtenus, on peut dire que l'eau du barrage est de qualité acceptable et propre à la consommation :

- Température est inférieure à 25 °C
- Les valeurs du pH sont d'une moyenne de (8,11), légèrement alcalines.
- La turbidité moyenne enregistré (17,76 NTU), plus que la moyenne annuel (4,17 NTU), mais elle peu être contrôlé.
- Conductivité moyenne de 981,25  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , c'est une eau minéralisé
- Les nitrates et nitrites dans les normes.
- Les phosphates et l'ammonium est conforme à la recommandation algérienne.
- DBO<sub>5</sub> et DCO dans les normes établies.
- Concentration bactérienne acceptable tenu compte du niveau d'eau du barrage.

Malgré l'enregistrement de la turbidité et de la concentration bactérienne qui ne peuvent être ignorées, mais la faire passer sur un traitement approprié suffit à la rendre potable.

L'impact de cette eau sur la santé se fait à travers sa consommation à l'état brut, car la concentration de bactéries fécales (coliformes fécaux) peut provoquer des maladies par des bactéries potentiellement pathogènes présentes dans cette eau. A part ça, les concentrations de métaux lourds (Arsenic, cadmium, sélénium), et d'éléments toxiques (Ammonium, bore) sont dans les normes établies.

Il est possible que la source de bore dans l'eau du barrage soit les eaux usées qui contiennent des détergents, qui s'écoulent dans les oueds qui alimentent le barrage. Cet

## CONCLUSION GENERALE

élément est considéré comme toxique, surtout à des concentrations élevées, car il affecte négativement la santé des consommateurs. Toutefois, sa concentration dans l'eau du barrage est considérée comme conforme aux normes fixées par les autorités concernées. Cependant, prendre les mesures nécessaires pour mettre fin à l'accès aux eaux usées non traitées est impératif afin de maintenir la qualité de l'eau potable d'une part, et la santé publique d'autre part.

# **BIBLIOGRAPHIE**

## Bibliographie

- A.N.B. «Barrage de boukourdane sur l'Oued El-Hachem, Wilaya de tipaza.» *MONOGRAPHIE*, 1994: 150p.
- A.N.B.T. «Barrage de boukourdane.» *dispositifs d'auscultation*, 2002: 24p.
- A.N.B.T. «Barrage de Boukourdane.» *dispositifs d'auscultation*, 2008.
- AEAG. «Qualité des eaux de surface, bassin de l'Adour.» Rapport,OA, 2002, 70pp.
- Alizien, C. *l'eau milieu de cultivate*. 1e. C.N.E.X.O France: tec et doc, 1989.
- ARAB, Siham. «Bioévaluation de la qualité des eaux d'un écosystème lacustre le cas du barrage de Boukourdane wilaya de Tipasa.» Science de la terre, de géologie et de l'aménagement du territoire, Juin 2017. 193p.
- BELHADJ, Mohamed Zine. «Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la Wilaya de Skikda.» *Thèse présentée en vue de l'obtention Du diplôme de Doctorat en sciences*. BISKRA, 29 04 2017. 153p.
- BENAYACHE, Naila yasmine. «Evaluation de la pollution organique des eaux des barrages Hammam Grouz et Béni-Haroune, mémoire de Magistère.» Université de constantine, Algérie, 2014.
- BENTOUNES, Amina Habiba. «Etude de la qualité microbiologique de l'eau potable et l'eau des puits de la wilaya de Mostaganem.» *Master en biologie, Spécialité: Microbiologie fondamentale et appliquée*. Mostaganem, Faculté des Sciences de la nature et de la Vie, 2017.
- BERNE, François, et Jean CORDONNIER. «Traitement des eaux.» *Édition TECHNIP*. 1991. 306p.
- BOEGLIN, Jean-Claude. «Contrôle des eaux douces et de consommation humaine.» *Edition techniques Ingénieur*. 1983. 2-8.
- BONTOUX, Jean. *Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson: Qualité et santé*. 1993.
- BOUALEM, R. «Contribution à l'étude de la qualité des eaux des Barrages.» 2009. 20-33 p.
- BOUCHARD., H. *La contribution des activités agricoles à la détérioration du Sait-Laorent*. Environnement Canada, 2000, 100p.
- BOUDJEMA Nouara. «Variation spatio-temporelle de la communauté microbienne des eaux du barrage de Boukourdane en relation avec les paramètres environnementaux.» Sciences Biologiques, Octobre 2007. 7p.
- Bouhy, P, et M Thierry Denies. «L'eau du robinet, un partenaire sante incontournable.» *Union Professionnelle des Diététiciens de Langue Française*. 2007.
- canada, Santé. «santé canada.» *canada.ca/sante-canada*. 2013.  
<https://www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/healthy->

canadiens/publications/healthy-living-vie-saine/water-selenium-eau/alt/water-selenium-eau-fra.pdf (accès le 06 2021).

canada, Snaté. «canada.ca/sante-canada.» *santé canada*. 21 mai 2019.  
[https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/images/programs/consultation-cadmium-drinking-water/Cadmium\\_in\\_Drinking\\_Water\\_01-29-2019\\_FRA.pdf](https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/images/programs/consultation-cadmium-drinking-water/Cadmium_in_Drinking_Water_01-29-2019_FRA.pdf) (accès le 06 2021).

CAWST. «Programme Solidarité Eau.» *ps-eau*. Édité par [www.cawst.org](http://www.cawst.org). Octobre 2013.  
[https://www.pseau.org/outils/ouvrages/cawst\\_introduction\\_a\\_l\\_analyse\\_de\\_qualite\\_de\\_l\\_eau\\_de\\_boisson\\_2013.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/cawst_introduction_a_l_analyse_de_qualite_de_l_eau_de_boisson_2013.pdf) (accès le 05 2021).

CEAEQ. «Méthode d'analyse.» *Recherche et dénombrement des bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives, méthode par incorporation à la gélose*. (Centre d'expertise en analyse environnementaux du Québec), 2005: 15 p.

CEAEQ. «Méthode d'analyse.» *Recherche et dénombrement des coliformes totaux, méthode par filtration sur membrane*. (Centre d'expertise en analyse environnementaux, Gouvernement du Québec), 2000: 25 p.

CEAEQ. «Méthode d'analyse.» *Recherche des coliformes totaux et de Escherichia coli avec le milieu de culture Colilert, méthode présence/absence* (Centre d'expertise en analyse environnementaux du Québec), 2003: 12p.

Charriere, G, D.A.A Mossel, P Beaudou, et H Leclerc. «Entérocoques et streptocoques fécaux.» *Groupe scientifique sur l'eau, fiche synthèse sur l'eau potable et la santé humaine* (Institut national de santé publique du Québec), 1994: 205p.

Composée d'ingénieurs et de techniciens OJA est une entreprise technique dans le domaine de l'eau.  
[josmose.fr/blog](http://josmose.fr/blog). 2021. <https://www.josmose.fr/blog/128-l-impact-du-sulfate-sur-votre-sante> (accès le 06 2021).

DAOU, C, B PARINET, M EL HOZ, et B LEGUBE. *Evaluation de la qualité des eaux de surface au liban du point de vue physico-chimique et microbiologique. Cas de deux rivières Kadisha Abou Ali et Jaouz*. Article, Universty-ESIP poitiers lebanon, 2004, 7pp.

DEBIECHE., Taha-Hocine. «ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ DES EAUX (SALINITE, AZOTE ET MÉTAUX LOURDS) SOUS L'ÉFFET DE LA POLLUTION SALINE, AGRICOLE ET INDUSTRIELLE, Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord-Est Algérien.» Ecole Doctorale Homme, Environnement, Santé, 2002. 312p.

Devillers, J. *Qualité physico-chimiques et chimique des eaux de surface*. Institut de bruxelle, 2005.

EDBERG, Sc, Ew RICE, Rj KARLIN, et Mj ALLEN. «Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection.» *journal of applied microbiology*, 2000: 106pp.

François, RAMADE. «Eléments d'écologie : Ecologie appliquée.» *DUNOD 7ème édition*, 2010: 754p.

GAUJOUR, D. *la pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire*. 2e édition. paris: lavoisier, 1995.

- George, I, et P Servais. «Sources et dynamique des coliformes dans le bassin de la Seine.» *Ecologie des systèmes aquatiques* (Centre National de la Recherche Scientifique), 2002: 46 p.
- GUILBERT, Louise. «La chimie dans la buanderie.» *Projets d'Intégration des Sciences et des Technologies en Enseignement au Secondaire*. 2000. 21p.
- HADE, A. «Nos Lacs – Les Connaître Pour Mieux Les Protéger.» 2002. 360p.
- HAMED, Mahmoud, Akram GUETTACHE, et Lemya BOUAMER. «Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF- TORBA Bechar.» *Mémoire De Fin D'Etude Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'état en Biologie Option : Contrôle de Qualité et d'Analyse*. DEPARTEMENT DES SCIENCES, 2012. 134p.
- Hébert, et Légaré. «Suivi de la qualité de l'eau des rivières et des petits cours d'eau, par le Ministère de l'environnement et le Gouvernement du Québec.» 2000.
- HELMER, R, et Lj HESPANHOL. «Public health criteria for the aquatic environment recent who guidelines and their application.» *Water science and technology* 24(2), 1991: 35-42pp.
- Jean, RODIER. *L'analyse De L'eau (Eaux Naturelles, Eaux Résiduaires Et Eaux De Mer)*. 8ème Edition. Paris: Dunod, 1997.
- KHANFOUCI, Med Said. «Contribution a l'étude de la fructification et de la régénération du Cèdre de l'Atlas.» *magister en science forestière* . Université hadj lakhdar, 2005.
- Lenntech. *Lenntech Water Treatment solutions*. 2021. <https://www.lenntech.fr/francais/ammonium-environnement.htm> (accès le 06 14, 2021).
- Lévêque, Christian. *ecosystème aquatiques. les fondamentaux*. paris, 1996.
- MARILLYS, Macé. *Les ressources en eau*. 2021. <https://bit.ly/3uWGW99> (accès le Mai 17, 2021).
- MEKHOULFI Assia, OUANOUGHY Rania. «Etude des paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux du barrage de BOUKOURDANE (tipaza).» Blida, Sciences De L'eau Et Environnement, 2017. 14,19,22p.
- Mokeddem, K, et S Ouddane. «Qualité Physico-chimique Et Bactériologique De L'eau De Source Sidi Yaakoub (Mostaganem).» *Mémoire d'ingénieur institut de biologie – Mascara*. 2005. 18-22 pp.
- Monographie. «Barrage de Boukourdane sur l'oued EL-Hachem Wilaya de Tipaza.» *Monographie.*, Janvier 1994: 94-95p.
- NAIT MERZOUG, Assia. «Cheminement du Sélénium dans l'est Algérien.» Thèse de doctorat Pour l'obtention du diplôme: DE DOCTORAT DES SCIENCES EN CHIMIE INORGANIQUE, 2014.
- OMS. «Directive de qualité pour l'eau de boisson.» *Critères d'hygiène et documentation à l'appui. Organisation de la santé* 2 (2000): 1050p.
- . «Directive de qualité pour l'eau de boisson, Vol 2, Critère d'hygiène et documentation à l'appui .» Genève, 2004. 1050p.

—. *Directives pour la qualité de l'eau de boisson : Second amendement. 1, Recommendations, Troisième Edition. OMS, Genève, Suisse. 2011.*  
[www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/secondaddendum20081119.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/secondaddendum20081119.pdf).

—. *Organisation Mondiale de la Santé.* 15 Février 2018. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/arsenic> (accès le juin 2021).

ONU. «Protection des ressources en eau douce et de leur qualité: application d'approches intégrées de la mise en valeur, de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau.» *Chapitre 18, programme Action 21, Rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement.* 1992.

Opas. «ORGANISATION PANAMÉRICAINNE DE LA SANTÉ (OPS). Fascicule d'eau: un désinfection de l'eau. Brasilia: OPS, 1999.» 1999.

REMINI B., MOKEDDEM F.Z. «BOUKOURDANE (ALGERIE) : UN BARRAGE RESERVOIR QUI S'ENVAISE PEU.» *Larhyss Journal*, 2018: 29,44p.

Rodier, J, C Bazin, J Broutin, P Chambon, H Champsaur, et L Rodi. *L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer.* 8e. Paris: Dunod, 1996.

RODIER, Jean. «L'analyse De L'eau (Eaux Naturelles, Eaux Résiduaires Et Eaux De Mer).» Paris: Dunod, 2005.

RODIER, Jean, Bernard LEGUBE, Nicole MERLET, et coll. *L'Analyse de l'eau.* 9e édition. Paris: Dunod, 2009.

Rogers, P. «Comprehensive water resources management, a concept paper.» *Policy Research Working Paper. Banque mondiale, Washington.* 1992.

Santé, canada. «canada.ca/sante-canada.» *canada.ca.* 21 mai 2019.  
[https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/images/programs/consultation-cadmium-drinking-water/Cadmium\\_in\\_Drinking\\_Water\\_01-29-2019\\_FRA.pdf](https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/images/programs/consultation-cadmium-drinking-water/Cadmium_in_Drinking_Water_01-29-2019_FRA.pdf) (accès le juin 2021).

—. «canada.ca/santé-canada.» *canada.ca.* 13 mars 2020. <https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/programs/consultation-boron-drinking-water/document/boron-gtd-consultation-09-12-2019-fra.pdf> (accès le juin 2021).

Satin, M, et B Selmi. «Guide technique de l'assainissement, 2<sup>ème</sup> édition. paris.» *Le moniteur*, 1999: 680p.

SCHUDEBOOM, J. «Nitrates et Nitrites dans les denrées alimentaires.» Édité par Strasbourg éditions du Conseil de l'Europe. 1993. 11p.

SEVRIN-REYSSAC, Josette, Jeol de LA NOUE, et Daniel PROULX. *Le recyclage du lisier de porc par lagunage.* Techniques et Documentation . Paris: Lavoisier, 1995.

TABET, Helal, M.A, et N GHELLAI. «Caractérisation des eaux du barrage Hammam Boughrara. (ALGER NORD OCCIDENTALE) destinées à la consommation humaine et à l'irrigation. Gestion des eaux.» Université de TELELCEN, Algérie, 2004, 260-270pp.

TABOUCHE, Abdenmour, et Manel HACHEM. «Evaluation de la qualité des eaux du Barrage de Boukourdane (Wilaya de Tipaza).» Blida, Sciences de l'Eau et Environnement, 2017. 1,3,6,12p.

TADRIST, Nassima. «Le transport solide dans l'oued el Hachem et l'impact des lâchers du barrage Boukourdane sur l'hydraulique de l'oued et la nappe.» *Mémoire de Magistère*. Université Blida., 2004. 127 p.

TRADAT HENRY, M. *chimie des eaux*. 2e édition. 1992.

Whanger, P.d. *Selenocompounds in plants and their effects on animals*. Boca Raton, Floride: Toxicantsof plant origin. Vol. III. Proteins and amino acids. P.R. Cheeke (dir. de pub.). CRC Press, 1989.

# **ANNEXES**

## **Annexe A :**

Tableau 1 : Données moyennes mensuelles annuelles des températures T (°c) du barrage Boukourdane (source : station météorologique du barrage Boukourdane) :

|                  | Janvier | Février | Mars  | Avril | Mai   | Juin  | Juillet | Aout  | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|------------------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-----------|---------|----------|----------|
| <b>2004/2005</b> | 8.3     | 7.7     | 11.9  | 14.9  | 18.6  | 23.2  | 26.2    | 25.5  | 23.5      | 22.2    | 13.8     | 11.3     |
| <b>2005/2006</b> | 8.6     | 8.9     | 13.7  | 16.6  | 19.6  | 19.6  | 25.7    | 24.3  | 22.2      | 19.9    | 14.2     | 10.2     |
| <b>2006/2007</b> | 11.4    | 12.5    | 11.3  | 14.4  | 18.7  | 21.1  | 24.2    | 26.1  | 22.4      | 20      | 16.5     | 12       |
| <b>2007/2008</b> | 10.3    | 11      | 13    | 14.5  | 15    | 17.9  | 23      | 23.4  | 22.1      | 18.4    | 13.2     | 10.8     |
| <b>2008/2009</b> | 7.5     | 9.3     | 10.3  | 10.9  | 16    | 19.3  | 23.3    | 23.3  | 20.9      | 15.6    | 10.9     | 7.5      |
| <b>2009/2010</b> | 12.6    | 13.7    | 14.2  | 14.7  | 17.2  | 22.3  | 26.7    | 26.6  | 20.3      | 19      | 15.9     | 13.8     |
| <b>2010/2011</b> | 9.8     | 10.3    | 13.9  | 17.3  | 19.7  | 22.7  | 26.9    | 25.8  | 19.6      | 15.7    | 11.5     | 10.9     |
| <b>2011/2012</b> | 10.9    | 8.2     | 12.5  | 15.3  | 19.4  | 26.1  | 26      | 25    | 23.5      | 19.6    | 16.4     | 12.1     |
| <b>2004/2013</b> | 11.9    | 10.9    | 15.6  | 15.3  | 17.1  | 20.7  |         |       | 24        | 20.5    | 16.4     | 12.8     |
| <b>2013/2014</b> | -       | -       | -     | -     | 21.9  | 25    | 21.9    | 25    | -         | -       | -        | 12.6     |
| <b>2004/2015</b> | 10.9    | 10.2    | 12.4  | 17.8  | 17.8  | 22.9  |         | 29    |           | 20.7    | 15.9     | 13       |
| <b>2015/2016</b> | 12.8    | 13.4    | 12.3  | 15.7  | 15.7  | 23.1  | 26.7    | 26.1  | 23.9      | 15.7    | 16.4     | 25.4     |
| <b>2016/2017</b> | 11      | 14      | 16.5  | 18    | 22.5  | 28.5  | 28.5    | 29    | 24.5      | 21      | 17.5     | 12       |
| <b>2017/2018</b> | 12      | 12      | 13.5  | 17.25 | 20.75 | 22.75 | 26.5    | 29    | 24.5      | 19      | 15.5     | 14.5     |
| <b>2018/2019</b> | 10.75   | 11.75   | 17    | 21.5  | 19.5  | 23    | 29.75   | 28    | 23.5      | 22.75   | 17.25    | 14       |
| <b>2019/2020</b> | 12.75   | 14      | 18    | 18.5  | 23    | 23.75 | 26      | 27.25 | 27        | 23.25   | 19.5     | 15.5     |
| <b>Moyenne</b>   | 10.15   | 10.85   | 14.15 | 16.20 | 19.00 | 22.79 | 25.82   | 26.15 | 23.30     | 19.43   | 15.20    | 16.45    |
| <b>Max</b>       | 12.8    | 14      | 18    | 21.5  | 23    | 28.5  | 29.75   | 29    | 27        | 23.25   | 19.5     | 25.4     |

Tableau 2 : Données moyennes mensuelles annuelles des précipitations P (mm) du barrage Boukourdane (source : station météorologique du barrage Boukourdane) :

|                  | Janvier | Février | Mars  | Avril | Mai   | Juin  | Juillet | Aout | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | TOTAL  |
|------------------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|--------|
| <b>2004/2005</b> | 80.2    | 135.2   | 121.7 | 24.1  | 3.1   | 0.4   | 0       | 0.6  | 29.2      | 27.7    | 126.2    | 144.9    | 693.3  |
| <b>2005/2006</b> | 101.5   | 103.5   | 20.1  | 8.1   | 140.9 | 0.4   | 0       | 0    | 14        | 31      | 74.7     | 137.2    | 631.4  |
| <b>2006/2007</b> | 12.2    | 47.3    | 104.8 | 94.3  | 2.6   | 0     | 1.6     | 0.2  | 52.8      | 2.2     | 19.5     | 210.5    | 548    |
| <b>2007/2008</b> | 17.8    | 20.5    | 88.7  | 10    | 41.5  | 34.3  | 16      | 0    | 60.2      | 106     | 226.2    | 120.5    | 741.7  |
| <b>2008/2009</b> | 135     | 9.3     | 72.8  | 86.5  | 18.5  | 0     | 0       | 18   | 32.3      | 61.5    | 81       | 117.1    | 632    |
| <b>2009/2010</b> | 85.5    | 103.5   | 97.5  | 37.9  | 25.5  | 6.5   | 0       | 28.5 | 99.7      | 4.9     | 69.3     | 128      | 686.8  |
| <b>2010/2011</b> | 81.5    | 113     | 59.9  | 69.3  | 108.5 | 19    | 0       | 0    | 19        | 96.2    | 109.6    | 66.5     | 742.5  |
| <b>2011/2012</b> | 40.6    | 323.8   | 91.9  | 99.5  | 11.2  | 0.5   | 0       | 0    | 4.5       | 44.6    | 103.3    | 68       | 787.9  |
| <b>2012/2013</b> | 99.7    | 99      | 47.3  | 71.9  | 194.6 | 1.1   | 1.3     | 7.3  | 25        | 60.7    | 103.3    | 13.5     | 724.7  |
| <b>2013/2014</b> | 12.9    | 49.5    | 162.6 | 6.2   | 38.7  | 53.5  | 1.4     | 0    | 7.3       | 74.2    | 75.7     | 118.4    | 600.4  |
| <b>2014/2015</b> | 44.1    | 144     | 77.6  | 0     | 5.7   | 0     | 1.2     | 1.5  | 85.6      | 94.3    | 10.7     | 0        | 464.7  |
| <b>2015/2016</b> | 61.2    | 115.3   | 145.3 | 50.8  | 17.1  | 0.6   | 0       | 0    | 6.4       | 17.1    | 186.4    | 188      | 788.2  |
| <b>2016/2017</b> | 318.3   | 37.72   | 39    | 11.4  | 1.5   | 11.3  | 0       | 13   | 34        | 52      | 153      | 147.4    | 818.62 |
| <b>2017/2018</b> | 44.4    | 129.1   | 101.9 | 131.2 | 76.9  | 68    | 0       | 0    | 21.2      | 19.8    | 95.8     | 108.4    | 796.7  |
| <b>2018/2019</b> | 181.3   | 13.3    | 50.7  | 50.8  | 30.3  | 5.2   | 0       | 4.8  | 91.9      | 19.9    | 79.5     | 28.2     | 555.9  |
| <b>2019/2020</b> | 29.3    | 0       | 76    | 93.4  | 35.9  | 3.4   | 0       | 4.5  | 4.8       | 29.3    | 14.6     | 75.8     | 367    |
| <b>moyennes</b>  | 84.09   | 90.25   | 84.86 | 52.84 | 47.03 | 12.76 | 1.34    | 4.90 | 36.74     | 46.34   | 95.55    | 104.53   | 661.24 |

## **Annexe B :**

**Tableau 1 : Effets potentiels sur la santé des produits chimiques dans l'eau de boisson (CAWST 2013):**

| <b>Produit chimique</b> | <b>Effets potentiels sur la santé Eau de boisson</b>   | <b>Source</b>  |
|-------------------------|--|--|
| <b>Aluminium</b>        | Peu d'indices que l'aluminium absorbé (par les aliments ou l'eau) soit extrêmement toxique. Aucune directive sanitaire n'est proposée.   | Présence naturelle ; métal le plus abondant. Les sels d'aluminium sont couramment utilisés dans le traitement de l'eau en tant que coagulants pour réduire les niveaux de matière organique, de couleur, de turbidité et de microorganismes  |
| <b>Ammoniac</b>         | L'ammoniac dans l'eau de boisson ne présente pas de risque immédiat pour la santé. Aucune directive sanitaire n'est proposée. Cependant, l'ammoniac peut affecter l'efficacité de la désinfection, conduire à la formation de nitrites dans les systèmes de distribution, entraîner l'incapacité des filtres à éliminer le manganèse, et provoquer des problèmes de goût et d'odeur. | Égouts, processus industriels et activités agricoles. L'ammoniac dans l'eau est indicateur d'une possible pollution par des bactéries, des eaux usées, et des déchets animaux.   |
| <b>Antimoine</b>        | Démangeaisons, peau rugueuse et abîmée. Une exposition à long terme et régulière à l'antimoine provoque l'eczéma et la dermatite   | Des concentrations élevées peuvent être dues à l'activité minière et aux volcans actifs.   |
| <b>Arsenic</b>          | Maladie de peau (ex : mélanose et kératose). Peut entraîner un cancer des poumons, de la vessie, des reins, de la peau, du foie, de la prostate. Connue aussi pour provoquer des maladies vasculaires, des effets neurologiques et des anomalies de développement chez le nourrisson.  | Présence naturelle. Il est également utilisé commercialement et industriellement dans la fabrication de transistors, de lasers et de semi-conducteurs. Dans certaines régions, la concentration d'arsenic est relativement élevée dans les eaux souterraines.  |
| <b>Baryum</b>           | Aucune preuve que le baryum soit cancérigène ou mutagène.  | Utilisé dans diverses applications industrielles. Cependant, le baryum dans l'eau provient surtout de sources naturelles.  |
| <b>Bore</b>             | Toxique pour l'appareil reproducteur masculin et peut entraîner une toxicité du développement.   | Utilisé dans la fabrication du verre, du savon et des détergents et comme retardateur de combustion. Présent naturellement dans l'eau souterraine, mais sa présence dans l'eau de surface résulte souvent de l'écoulement d'eaux usées traitées contenant des détergents. Le traitement conventionnel de l'eau n'élimine pas systématiquement le bore. |

|                 |  |   |
|-----------------|--|---|
| <b>Cadmium</b>  | Des doses élevées peuvent endommager les reins.  | Utilisé dans l'industrie de l'acier, les plastiques et les batteries. Relâché dans les eaux usées, les engrais et la pollution de l'air locale. La contamination dans l'eau de boisson peut aussi être provoquée par des tuyaux, soudures et raccords métalliques galvanisés. L'alimentation est la principale source d'exposition.                           |
| <b>Chlorure</b> | Aucune directive sanitaire n'est proposée. Cependant, plus de 250 mg/L de chlorure dans l'eau peuvent donner un goût fort.   | Le chlorure dans l'eau de boisson provient de sources naturelles, des égouts, des effluents industriels et des ruissellements urbains contenant du sel de dégivrage. La principale source d'exposition humaine est l'ajout de sel à la nourriture.  |
| <b>Chlore</b>   | Des effets sont peu probables aux niveaux de chlore normalement rencontrés dans l'environnement. Des doses élevées irritent la peau, les yeux et le système respiratoire.  | Produit en grandes quantités et largement utilisé dans l'industrie et à domicile comme désinfectant et javellisant.   |
| <b>Chrome</b>   | Aucun effet significatif sur la santé n'a été attribué au chrome en raison du manque de recherche. Une exposition permanente au chrome-6 pourrait entraîner des réactions épidermiques et être cancérigène si ingéré.  | Les formes les plus courantes dans les eaux naturelles sont le chrome trivalent (chrome-3) et le chrome hexavalent (chrome-6). Le chrome-3 est essentiel dans l'alimentation humaine et se rencontre dans de nombreux types d'aliments. Le chrome-6 est naturellement présent dans l'environnement, et peut aussi être produit par des processus industriels. |
| <b>Cuivre</b>   | Le cuivre est à la fois un nutriment essentiel et un contaminant de l'eau de boisson. Il peut affecter l'appareil gastro-intestinal, et l'impact peut être plus important sur les populations sensibles, tels que les porteurs du gène de la maladie de Wilson et autres désordres métaboliques. | Utilisé pour fabriquer des tuyaux, valves et raccords. Le sulfate de cuivre pentahydraté est parfois ajouté à l'eau de surface pour réguler les algues. La principale source dans l'eau de boisson est la corrosion de la tuyauterie en cuivre. La nourriture et l'eau sont les principales sources d'exposition au cuivre dans les pays développés.          |
| <b>Cyanure</b>  | L'exposition à long terme affecte la thyroïde et le système nerveux.   | Peut être présent dans certains aliments, notamment dans les pays en développement, et se trouve rarement dans l'eau de boisson en raison d'une contamination industrielle.   |
| <b>Fluorure</b> | De faibles concentrations (0,5 – 1,0 mg/L) apportent une protection contre les caries dentaires, notamment chez les enfants. De plus hauts niveaux peuvent tacher les dents et provoquer une fluorose dentaire. Des niveaux beaucoup plus élevés   | Présence naturelle et est largement utilisé dans l'industrie ; utilisé pour fabriquer des engrais au phosphate. Dans la plupart des cas, l'alimentation est la principale source d'absorption. Dans certaines régions l'eau souterraine   |

|                             |   |  |
|-----------------------------|---|--|
|                             | peuvent endommager le squelette   | contient des concentrations relativement élevées de fluorure.  |
| <b>Fer</b>                  | Élément essentiel à la nutrition humaine. Aucune directive sanitaire n'est proposée.  | Présence naturelle ; un des métaux les plus abondants. Également rencontré dans l'eau de boisson en raison de la corrosion de tuyaux en acier et en fonte.   |
| <b>Plomb</b>                | Les nourrissons, les enfants et les femmes enceintes sont les plus sensibles. Nourrissons et enfants : retards de développement physique ou mental, déficits de l'attention et des capacités d'apprentissage. Adultes : problèmes rénaux, pression sanguine élevée. | Utilisé dans la fabrication de batteries plombacide, de soudures et d'alliages. Le plomb dans l'eau de boisson provient généralement des systèmes de tuyauterie des foyers dont les canalisations, soudures et raccords ont été réalisés avec du plomb.  |
| <b>Manganèse</b>            | Élément essentiel à la nutrition humaine. Des effets néfastes peuvent être causés à la fois par une déficience et une surexposition.  | Présence naturelle. Un des métaux les plus abondants, toujours présent avec le fer. Utilisé dans l'industrie et les produits de nettoyage, de javellisation et de désinfection. L'alimentation est la principale source d'exposition.  |
| <b>Mercure</b>              | Provoque des dommages neurologiques et rénaux.  | Utilisé dans l'industrie minière, la production de chlore, des appareils électriques et les amalgames dentaires. L'alimentation est la principale source d'exposition.   |
| <b>Nickel</b>               | Probabilités élevées de cancer du poumon, du nez, de malformations chez le nouveau-né, de réactions allergiques et de problèmes de santé.   | Présence naturelle. utilisé dans la production d'acier inoxydable et d'alliages de nickel. L'alimentation est la principale source d'exposition. Cependant, le nickel dans l'eau peut être important dans les régions où la pollution industrielle est importante ou la concentration dans l'eau souterraine est élevée.   |
| <b>Nitrates et nitrites</b> | Le principal problème de santé est la méthémoglobinémie ou syndrome du bébé bleu, qui se produit chez les nourrissons habituellement nourris au biberon. Les symptômes comprennent le souffle court et la peau qui vire au bleu en raison du manque d'oxygène.      | Présence naturelle car il fait partie du cycle de l'azote. Le nitrate est utilisé dans les engrais et le nitrite de sodium sert de conservateur alimentaire. La concentration du nitrate dans les eaux souterraines et de surface provient des ruissellements agricoles, des fuites de fosses septiques, et des égouts. Le nitrite provient de l'activité microbienne et peut n'apparaître qu'à intervalles. |
| <b>Phosphate</b>            | Élément essentiel à la nutrition humaine. Aucune directive sanitaire n'est proposée.  | Naturellement présent ; utilisé dans les engrais pour l'agriculture et dans le dentifrice et les détergents (ex : savon). Le déversement de grandes quantités de phosphate dans l'environnement peut avoir de graves conséquences écologiques. Par exemple, des niveaux  |

|   |  |   |
|---|--|---|
|   |  | élevés peuvent provoquer des proliférations d'algues dans les eaux de surface   |
| <b>Potassium</b>                        | Élément essentiel à la nutrition humaine. Aucune directive sanitaire n'est proposée. Une exposition élevée peut entraîner des problèmes de santé pour les personnes souffrant de maladies rénales ou prenant des médicaments qui interfèrent avec les fonctions normales du potassium dans le corps. | Présence naturelle. En général, il ne se trouve pas dans l'eau de boisson à des niveaux pouvant provoquer des problèmes de santé. Cependant, boire de l'eau traitée par des adoucisseurs utilisant du chlorure de potassium peut accroître significativement l'exposition et entraîner des effets néfastes sur la santé chez les individus sensibles.                         |
| <b>Argent</b>                           | Les données disponibles sont insuffisantes pour déterminer une valeur de directive sanitaire. Seul un faible pourcentage d'argent est absorbé par le corps.  | Présence naturelle. Il est occasionnellement rencontré dans les eaux souterraines et de surface. Les sels d'argent sont parfois utilisés par les technologies de traitement de l'eau à domicile pour réduire les bactéries (ex : filtres céramiques)  |
| <b>Sodium</b>                           | Aucune directive sanitaire n'est proposée.   | Les sels de sodium (ex : chlorure de sodium) sont présents dans virtuellement tous les aliments et les eaux de boisson. L'alimentation est la principale source d'exposition. Les adoucisseurs d'eau peuvent accroître significativement la quantité de sodium dans l'eau.  |
| <b>Matières dissoutes totales (MDT)</b> | Bien qu'il n'y ait pas de risque direct pour la santé, des concentrations très faibles ou très élevées peuvent provoquer un goût inacceptable.   | Les MDT dans l'eau de boisson proviennent de sources naturelles, d'égouts, de ruissellements urbains et d'eaux usées industrielles. Les concentrations des MDT dans l'eau varient beaucoup selon les zones géologiques.   |
| <b>Uranium</b>                          | Peu d'informations disponibles sur les effets chroniques sur la santé dus à l'exposition à l'uranium dans l'eau de boisson. Les effets radiologiques ne sont pas pris en compte dans les directives pour l'eau de boisson.   | Naturellement présent ; utilisé principalement comme combustible dans les centrales nucléaires. La contamination est provoquée par les ruissellements de gisements naturels, les rejets d'opérations minières, les émissions de l'industrie nucléaire, la combustion de charbon et autres combustibles, et l'utilisation d'engrais au phosphate qui contiennent de l'uranium. |
| <b>Zinc</b>                             | Le zinc est un élément essentiel dans la nutrition humaine. Aucune directive sanitaire n'est proposée.   | Présent dans virtuellement tous les aliments et eaux de boisson. L'alimentation est la principale source d'exposition.  |

Tableau 2: Objectifs de qualités des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations :

| Groupes de paramètres   | Paramètres   | Unité                | Valeur maximale     |
|---|--|----------------------|---------------------|
|   |  |                      | Eaux superficielles |
| Paramètres organoleptiques  | Couleur  | mg/l<br>Echelle Pt   | 200                 |
|   | Odeur (taux dilution à 25°)                        | -                    | 20                  |
| Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux | Chlorures  | mg/l Ci              | 600                 |
|   | Concentration en ions hydrogène (pH)               | Unité pH             | ≥ 6,5 et ≤ 9        |
|   | Conductivité                                       | μS/cm à 20°C         | 2800                |
|   | Demande biochimique en oxygène (DBO <sub>5</sub> ) | mg/l O <sub>2</sub>  | 7                   |
|   | Demande chimique en oxygène (DCO)                  | mg/l O <sub>2</sub>  | 30                  |
|   | Matières en suspension                             | mg/l                 | 25                  |
|   | Sulfates   | mg/l SO <sub>4</sub> | 400                 |
|   | Taux de saturation en oxygène dissous              | % O <sub>2</sub>     | 30                  |
|   | Température  | °C                   | 25                  |
|   | Ammonium   | mg/l                 | 4                   |
| Paramètres chimiques  | Baryum   | mg/l                 | 0,7                 |
|   | Bore   | mg/l                 | 1                   |
|   | Fer dissous  | mg/l                 | 0,3                 |
|   | Fluor  | mg/l                 | 1,5                 |
|   | Manganèse  | mg/l                 | 0,05                |
|   | Nitrates   | mg/l NO <sub>3</sub> | 50                  |
|   | Phosphore  | mg/l                 | 5                   |
|   | Arsenic  | μg/l                 | 10                  |
|   | Cadmium  | μg/l                 | 5                   |
|   | Chrome   | μg/l                 | 50                  |
|   | Cuivre   | μg/l                 | 0,05                |
|   | Cyanures   | μg/l                 | 50                  |
|   | Mercure  | μg/l                 | 6                   |
|   | Plomb  | μg/l                 | 10                  |
|   | Sélénium   | μg/l                 | 50                  |
| Zinc  | mg/l   | 5                    |                     |
| Paramètres chimiques (suite)  | Hydrocarbures polycycliques aromatiques            | μg/l                 | 1                   |
|   | Hydrocarbures dissous                              | μg/l                 | 1000                |
|   | Phénols  | μg/l                 | 2                   |
|   | Agents de surface                                  | mg/l                 | 0,5                 |
|   | Azote Kjeldhal                                     | mg/l                 | 3                   |
|   | Pesticides   | μg/l                 | 1                   |
| Paramètres microbiologiques   | Escherichia coli                                   | n/100ml              | 20.000              |
|   | Entérocoques                                       | n/100ml              | 10.000              |
|   | Salmonelles  | -                    | Absence dans 100ml  |

Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine :

Tableau 1 : paramètres avec valeurs limites :

| <b>GROUPE DE PARAMETRES</b> | <b>PARAMETRES</b>                    | <b>UNITES</b>  | <b>VALEURS LIMITES</b> |      |
|-----------------------------|--------------------------------------|--|------------------------|------|
| <b>Paramètres chimiques</b> | Aluminium                            | mg/l   | 0,2                    |      |
|                             | Ammonium                             | mg/l   | 0,5                    |      |
|                             | Baryum                               | mg/l   | 0,7                    |      |
|                             | Bore                                 | mg/l   | 1                      |      |
|                             | Fer total                            | mg/l   | 0,3                    |      |
|                             | Fluorures                            | mg/l   | 1,5                    |      |
|                             | Manganèse                            | µg/l   | 50                     |      |
|                             | Nitrates                             | mg/l   | 50                     |      |
|                             | Nitrites                             | mg/l   | 0,2                    |      |
|                             | Oxydabilité                          | mg/l O <sub>2</sub>  | 5                      |      |
|                             | Phosphore                            | mg/l   | 5                      |      |
|                             | Acrylamide                           | µg/l   | 0,5                    |      |
|                             | Antimoine                            | µg/l   | 20                     |      |
|                             | Argent                               | µg/l   | 100                    |      |
|                             | Arsenic                              | µg/l   | 10                     |      |
|                             | Cadmium                              | µg/l   | 3                      |      |
|                             | Chrome total                         | µg/l   | 50                     |      |
|                             | Cuivre                               | mg/l   | 2                      |      |
|                             | Cyanure                              | µg/l   | 70                     |      |
|                             | Mercure                              | µg/l   | 6                      |      |
|                             | Nickel                               | µg/l   | 70                     |      |
|                             | Plomb                                | µg/l   | 10                     |      |
|                             | Sélénium                             | µg/l   | 10                     |      |
|                             | Zinc                                 | mg/l   | 5                      |      |
|                             |                                      | Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux   |                        | 0,2  |
|                             |                                      | fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène, benzo (11,12) fluoranthène, benzo (3,4) pyrène, benzo (1,12) pérylène, indéno (1, 2, 3-cd) pyrène. | µg/l                   |      |
|                             |                                      | benzo (3,4) pyrène   |                        | 0,01 |
|                             | Hydrocarbures dissous ou émulsionnés |  |                        |      |

|                                     |   |              |      |
|-------------------------------------|---|--------------|------|
| <b>Paramètres chimiques (suite)</b> | extraits au CCl <sub>4</sub>  | µg/l         | 10   |
|                                     | Phénols   | µg/l         | 0,5  |
|                                     | Benzène   | µg/l         | 10   |
|                                     | Toluène   | µg/l         | 700  |
|                                     | Ethylbenzène  | µg/l         | 300  |
|                                     | Xylènes   | µg/l         | 500  |
|                                     | Styrène   | µg/l         | 100  |
|                                     | Agents de surface réagissant au bleu de méthylène   | mg/l         | 0,2  |
|                                     | Epychlorehydrine  | µg/l         | 0,4  |
|                                     | Pesticides par substance Individualisée.<br>- Insecticides organochlorés persistants, organophosphorés et carbamates, les herbicides, les fongicides, les P.C.B. et P.C.T |              | 0,1  |
|                                     | à l'exception de aldrine et dieldrine   | µg/l         | 0,03 |
|                                     | Pesticides (Totaux)   | µg/l         | 0,5  |
|                                     | Bromates  | µg/l         | 10   |
|                                     | Chlore  | mg/l         | 5    |
|                                     | Chlorite  | mg/l         | 0,07 |
|                                     | Trihalométhanes (THM) (Total)<br>Chloroforme, Bromoforme, Dibromochlorométhane, Bromodichlorométhane  | µg/l         | 100  |
|                                     | Chlorure de vinyle  | µg/l         | 0,3  |
|                                     | 1,2 - Dichloroéthane  | µg/l         | 30   |
|                                     | 1,2 - Dichlorobenzène   | µg/l         | 1000 |
|                                     | 1,4 - Dichlorobenzène   | µg/l         | 300  |
| Trichloroéthylène                   | µg/l  | 20           |      |
| Tetrachloroéthylène                 | µg/l  | 40           |      |
| <b>Radionucléides</b>               | Particules alpha  | Picocurie/l  | 15   |
|                                     | Particules bêta   | Millirems/an | 4    |
|                                     | Tritium   | Bequerel/l   | 100  |
|                                     | Uranium   | µg/l         | 15   |
|                                     | Dose totale indicative (DTI)  | (mSv/an)     | 0,1  |
| <b>Paramètres microbiologiques</b>  | Escherichia Coli  | n/100ml      | 0    |
|                                     | Entérocoques  | n/100ml      | 0    |
|                                     | Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores   | n/20ml       | 0    |

Tableau 2 : Paramètres avec valeurs indicatives :

| <b>GROUPE DE PARAMETRES</b>  | <b>PARAMETRES</b>               | <b>UNITES</b>             | <b>VALEURS INDICATIVES</b> |
|--|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| <b>Paramètres organoleptiques</b>  | Couleur                         | mg/l Platine              | 15                         |
|  | Turbidité                       | NTU                       | 5                          |
|  | Odeur à 12°C                    | Taux dilution             | 4                          |
|  | Saveur à 25°C                   | Taux dilution             | 4                          |
| <b>Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux</b> | Alcalinité                      | mg/l en CaCO <sub>3</sub> | 500                        |
|  | Calcium                         | mg/l en CaCO <sub>3</sub> | 200                        |
|  | Chlorures                       | mg/l                      | 500                        |
|  | Concentration en ions hydrogène | Unité pH                  | ≥ 6,5 et ≤ 9               |
|  | Conductivité à 20°C             | μS/cm                     | 2800                       |
|  | Dureté                          | mg/l en CaCO <sub>3</sub> | 200                        |
|  | Potassium                       | mg/l                      | 12                         |
|  | Résidu sec                      | mg/l                      | 1500                       |
|  | Sodium                          | mg/l                      | 200                        |
|  | Sulfates                        | mg/l                      | 400                        |
|  | Température                     | °C                        | 25                         |

## **Annexe C :**

Mode opératoire (sources SEAAL) :

### **Détermination du PH :**

#### **Objet :**

Ce protocole opératoire décrit la méthode de mesure du pH en utilisant un pH mètre Sension+pH3 hach par une méthode (potentiométrique) à l'aide d'une électrode combinée à une sonde de température **Pt 1000**.

#### **Domaine d'application :**

La méthode est applicable dans le cas de mesure du pH des eaux potables, des eaux superficielles et des eaux souterraines, dont la température est comprise entre 0 et 80°C et pH compris entre 0 et 14.

#### **Appareillage :**

Sension+pH3 HACH est un instrument pour mesurer le pH, les mV et la température. Il est doté d'un agitateur.

#### **Réactifs:**

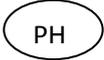
Solutions tampons: sont des solutions de commerce de PH 4, et PH 7.

#### **Mesure du pH :**

La mesure correcte implique l'étalonnage périodique de l'ensemble pH-mètre et électrode à l'aide de solutions tampons, cela permet de compenser les déviations de la potentielle asymétrie et de la pente de l'électrode dans le temps.

L'étalonnage se fait quotidiennement et sur deux points :

- Appuyer sur la touche 
- Un affichage apparait pour sélectionner le paramètre (pH, mV ou données d'étalonnage).
- Appuyer sur la touche 
- Utiliser le 1er tampon (7) et appuyer sur la touche 
- Le pH se stabilise en affichant 1er tampon OK, et demande à utiliser le deuxième tampon.
- Rincer soigneusement l'électrode et l'introduire dans le deuxième tampon (4)
- Appuyer sur la touche 

- Le pH se stabilise en affichant 2ème tampon OK, et demande à utiliser le troisième tampon, comme l'étalonnage se fait à deux points, appuyer directement et doublement sur la touche  pour revenir au mode mesure.

Une vérification se fait juste après l'étalonnage par un pH 7, la valeur est reportée directement sur la carte de contrôle.

### **Mesurage des échantillons :**

Les échantillons sont prélevés dans des flacons en verre ou en plastique, la durée de conservation est de 24 heures.

Transvaser l'échantillon à analyser dans un récipient (bêcher) préalablement rincé avec de l'eau distillée et avec l'échantillon même, y immerger l'électrode soigneusement rincée et attendre la stabilité de la valeur du pH. Noter cette dernière ainsi que la valeur de la température de l'échantillon au cours du mesurage.

### **Ecart par rapport à la norme :**

La mesure du pH des échantillons se fait au niveau du laboratoire.

### **Expression des Résultats :**

La valeur du pH est exprimée à deux décimales près.

## **Détermination de la conductivité électrique :**

### **Objet :**

Ce protocole opératoire décrit la méthode de mesure de la conductivité en utilisant un conductimètre électrique METTLER TOLEDO Seven Easy.

### **Domaine d'application :**

Ce protocole s'applique à la mesure de la conductivité électrique d'effluents de toutes natures (eau potable, eaux usées urbaines et industrielles, eau de mer, etc.).

La limite de mesure, liée à l'électrode, est précisée par le fabricant de l'appareil.

### **Appareillage :**

Conductimètre : (Mettler Tolédo Seven Easy) équipé d'une électrode de mesure, d'une sonde de température et d'un convertisseur fourni par le fabricant. Cet appareil a la propriété de compenser la température de l'eau, pour se ramener à des conditions normales de mesure (25°C).

### **Les réactifs :**

#### **Solution contrôle qualité :**

La conductivité électrique du contrôle qualité est de 1413 $\mu$ S/cm à 25°C.

Cette solution est disponible dans le commerce, elle est utilisée pour l'étalonnage selon une fréquence définie. Cette solution est utilisée aussi pour le contrôle qualité, les valeurs d'acceptation sont reportées sur la carte de contrôle du paramètre.

Des flacons en verre et polyéthylène sont utilisés pour le prélèvement des échantillons, l'analyse est faite dans les 24 heures qui suivent le prélèvement.

### **Mise en marche :**

- Le conductimètre est sous tension en continu, l'étalonnage et le contrôle qualité se font quotidiennement :
- Plonger l'électrode de la conductivité dans la solution étalon (1413 $\mu$ S/cm) et presser la touche « **Cal** »
- Lors de l'étalonnage le seven Easy s'arrête au point final, pour l'arrêt manuel, presser la touche « **Read** »
- L'afficheur se fige sur la valeur nominale de l'étalon.
- Pour revenir à la mesure d'échantillons, presser la touche « **Read** » passer les échantillons un par un en procédant à un rinçage de l'électrode entre chaque mesure.
- L'entretien de l'équipement se fait par un chiffon humide.

### **Ecarts par rapport à la norme :**

Il n'y a pas d'introduction de la cellule de la constante, la procédure d'étalonnage se fait par un point et dans ce cas il n'introduit pas la constante de cellule selon le manuel du constructeur.

L'appareil est étalonné par une solution de commerce qui est calée à 1413 $\mu$ S/cm par le constructeur de l'équipement, les solutions de KCl de 0.1 mol/l, 0.01mol/l et 0.001mol/l ne sont pas utilisées.

### **Expression des Résultats :**

Le résultat est exprimé directement en  $\mu$ S/cm à 25°C.

## Détermination de la Turbidité :

### Objet :

Ce protocole opératoire décrit la méthode de mesure de turbidité selon la norme ISO 7072. Le port de la blouse ainsi que des gants, de lunettes et de masques est indispensable durant toute la manipulation. La formazine étant un produit fortement toxique et dangereux, il est indispensable de la manipuler sous extracteur.

### Domaine d'application :

Cette méthode s'applique aux eaux naturelles, aux eaux destinées à la consommation humaine, aux eaux de piscines et aux eaux résiduaires.

Son principe consiste en la mesure de la turbidité par néphélométrie, en utilisant un turbidimètre optique : le hach 2100 N (voir le manuel d'utilisation), sur une plage de mesure allant de 0 à 4000 NTU.

La mesure de turbidité est réalisée dans la mesure du possible dès réception des échantillons. Dans le cas contraire, les échantillons doivent être conservés à 4°C et mesurés dans les 24 heures.

### Étalonnage à partir d'étalons préparés manuellement :

**1)** : La préparation des cinq paliers d'étalonnage se fait en diluant un étalon de formazine de 4000 NTU (solution du commerce) comme suit :

Dans une série de fioles de 100 ml, y verser les volumes notés dans le tableau à l'aides de pipettes (fioles et pipettes de classe AS).

| Paliers-Etalon (NTU) | Volume de l'étalon 4000 NTU (ml) | Eau de dilution (ml) |
|----------------------|----------------------------------|----------------------|
| 20                   | 0.5                              | v.s.p 100            |
| 200                  | 5                                | v.s.p 100            |
| 1000                 | 25                               | v.s.p 100            |

L'étalon 4000 NTU est utilisé tel quel (sans dilution).

Pour la préparation de la solution étalon « **<0.1 NTU** », suivre les étapes suivantes :

- Sélectionner une cellule de mesure non griffée ;
- Tremper la cellule dans du HCl concentré durant toute une nuit ;
- La rincer par la suite avec de l'eau (robinet) puis avec de l'eau dé-ionisée ;
- La boucher après pour éviter toute contamination avec de la poussière ;
- Remplir cette cellule avec une eau osmosée ou filtrée (sous 0.22 µm) ;
- Y introduire ensuite une seringue pour effectuer un vide d'air (dégazer le contenu de la cellule, bouchée préalablement avec un bouchon contenant un orifice à cet effet) ;

- Bien essuyer la cellule après (avec un tissu qui ne pluche pas) ;
  - L'introduire ensuite dans le turbidimètre et le faire pivoter 10 fois à 360° puis choisir la lecture la plus basse (la repérer un crayon sur le trait blanc de la cellule comme marque d'orientation).
- 2)** Après l'étalonnage du turbidimètre, effectuer une vérification de ce dernier avec l'étalon **20 NTU**. La fréquence de la vérification est journalière et le report de cette valeur se fait sur les fiches de traçabilité étalonnage ainsi que sur les cartes de contrôles (procédure de métrologie) afin de savoir s'il y a dérive ou non de l'étalonnage (et le refaire si nécessaire).
- 3)** Les échantillons sont conservés dans des flacons en verre ou de plastique, l'analyse est effectuée dans les 24 heures qui suivent le prélèvement, avant analyse, Il faut s'assurer que la cuve de mesure soit propre.

La mesure de la turbidité se fait alors comme suit :

- Rincer la cellule de mesure avec l'échantillon à analyser (avant mesure) ;
- Remplir la cuve sans faire de bulle, visser le bouchon et sécher la cuve ;
- Insérer la cuve dans le puits de mesure en plaçant la flèche de la cuve face au repère ;
- Fermer le capot de l'appareil ;
- Attendre l'affichage automatique d'une valeur. Si la valeur n'apparaît pas au bout de quelques secondes, appuyer sur **(ENTER)** et lire la valeur affichée ;
- Retirer la cuve de mesure, la vider et la rincer.

**4)** Expression des résultats :

Les résultats sont donnés en NTU (Unité de Turbidité de Néphélogétrie) alors que la norme les exprime en FNU. La conversion de FNU au NTU se fait suivant la relation suivante :  
 Quand la turbidité < **20 FNU** → **1 FNU = 1 NTU** ;  
 Quand la turbidité > ou = **20 FNU** → **1 FNU = 0.6 NTU** ; Ce qui donne : **20 FNU = 12 NTU**.

L'expression des résultats se fait alors selon les paliers suivants :

- Si la turbidité est <0.99 NTU → le résultat est exprimé à 0.01 NTU près ;
- Si la turbidité est comprise entre 1 NTU et 9 NTU → le résultat est exprimé à 0.1 NTU près ;
- Si la turbidité est > ou = 10 → le résultat est exprimé au NTU près.

**5)** L'entretien du turbidimètre et de ses accessoires doit se faire de manière rigoureuse. Les consignes à suivre sont les suivantes :

- Maintenir le turbidimètre et ses accessoires aussi propres que possible : Utiliser un chiffon mouillé avec un détergent doux et de l'eau pour nettoyer le boîtier et le clavier ;
- Laver la cuve à l'acide chlorhydrique une fois par semaine ;
- Ne pas laisser la cuvette pleine dans le puits de mesure pendant de longues périodes ;
- Laisser l'appareil allumé 24h/24h s'il est utilisé régulièrement ;
- Toujours fermer la cuvette pour éviter de répandre l'échantillon dans l'appareil;
- Toujours utiliser des cuvettes et bouchons propres et exemptes de rayures.

**Ecart par rapport à la norme :**

L'expression des résultats (NTU et non FNU) ; Les règles d'arrondi selon les paliers.

## **Détermination de l'Oxygène Dissous :**

### **Objet :**

L'objet de ce mode opératoire est de décrire une méthode de mesure quantitative de l'oxygène dissous d'un échantillon d'eau, en utilisant un oxymètre doté d'une sonde à luminescence (HQ40D).

### **Domaine d'application :**

La méthode est applicable aux eaux potables, eaux traitées et les eaux de rejet dont le taux d'oxygène dissous se situe entre 0 et 20 mg/L d'OD.

### **Appareillage :**

Appareil : oxymètre HQ40D équipé d'une sonde à luminescence LD101.

Verrerie : flacon de 100 ml destiné à luminescence LD101.

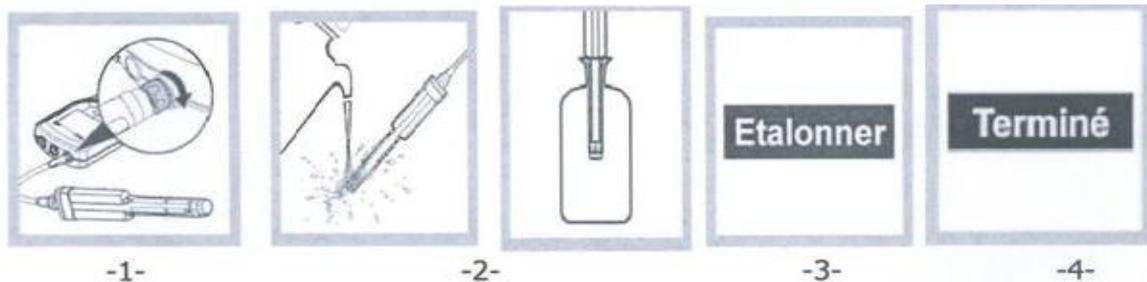
### **Préparation et conservation des échantillons :**

Les échantillons sont prélevés dans des échantillons de verre ou de PTFE. Ils sont acheminés au laboratoire dans des glacières, au frais et à l'abri de la lumière.

L'analyse doit se faire immédiatement après l'échantillonnage.

### **Étalonnage de l'oxymètre :**

La figure ci-dessous démontre en images les étapes de l'étalonnage :



**1-** Allumer l'instrument après avoir branché la sonde sur l'appareil de mesure (HQ40D) pour assurer la connexion.

**2-** Rincer la sonde avec de l'eau déminéralisée et l'introduire dans le flacon destiné à l'étalonnage (flacon en verre remplie au 1/4)

**3-** Appuyer sur le bouton étalonnage et attendre que la mesure se stabilise à 100 %, l'écran indiquera « stabilisation ».

**4-** Appuyer sur « terminer » pour afficher le récapitulatif d'échantillonnage et enregistrer pour accepter l'étalonnage.

### **Mesure l'échantillon :**

Après avoir effectué l'étalonnage de l'oxymétrie, rincer par de l'eau ultra pure et l'immerger dans l'échantillon. Appuyer par la suite sur « Mesurer » pour avoir la quantité d'OD en mg/L contenue dans l'eau.

### **Résultats :**

L'oxymétrie indique directement les résultats en mgd'O<sub>2</sub>/l.

## **Ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup> :**

### **Objet :**

Ce mode opératoire a pour objet la description d'une méthode de dosage spectrométrique de l'ammonium dans les eaux potable, eaux brute.

### **Appareillage :**

Un spectrophotomètre Hach DR-400U.

### **Préparation et conservation des échantillons :**

Les échantillons sont analysés après le prélèvement dans un délai n'excédant pas les 24 heures.

### **Application :**

1. Les réactifs à préparer sont les suivants :

- Réactif coloré :

Dissoudre 130g de salicylate de sodium et 130g de citrate trisodique di-hydraté dans 1000ml d'eau purifiée. Ajouter 0.97g de nitroprussiate de sodium.

Cette solution est conservée dans un flacon en verre brun et reste stable au moins deux semaines.

- Solution de dichloro-isocyanurate de sodium :

Dissoudre 32g d'hydroxyde de sodium dans environ 500ml d'eau purifiée et laisser refroidir à température ambiante. Ajouter 2g de dichloro-isocyanurate di-hydraté et compléter à 1000ml avec de l'eau purifiée.

Cette solution est conservée dans un flacon en verre brun et reste stable au moins deux semaines.

- Solution mère étalon d'ammonium de concentration 100 mg/L :

Sécher une petite quantité de chlorure d'ammonium (NH<sub>4</sub> Cl) dans une étuve à 105° Jusqu'à ce que la perte de masse soit constante (environ 2heures).

Dissoudre ensuite 0.297g de NH<sub>4</sub>Cl séché dans 1000ml d'eau. Cette solution doit être conservée dans un flacon en verre, au réfrigérateur à 4°C et reste stable pendant au moins un mois.

- Solution fille étalon d'ammonium 1mg/L :

A l'aide d'une pipette, prélever 1ml de la solution mère de NH<sub>4</sub><sup>-</sup> et la verser dans une fiole jaugée de 100ml. Compléter au volume avec de l'eau purifiée et bien homogénéiser le tout. Cette solution doit être préparée le jour de l'emploi car sa conservation ne dépasse pas les 24 heures.

2. L'étalonnage du spectrophotomètre est réalisé comme suit :

| Volume de la solution fille d'ammonium (ml) | Volume de l'eau purifiée (ml) | Concentration en NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L) | Volume de la fiole (ml) |
|---|-------------------------------|--|-------------------------|
| 0   | 50                            | 0  | 50                      |
| 1.5   | 48.5                          | 0.03   | 50                      |
| 2.5   | 48                            | 0.05   | 50                      |
| 4   | 47                            | 0.08   | 50                      |
| 5   | 46                            | 0.1  | 50                      |
| 10  | 45                            | 0.2  | 50                      |
| 30  | 20                            | 0.6  | 50                      |
| 50  | 0                             | 1  | 50                      |

Après avoir compléter au volume, bien homogénéiser chaque étalon puis enlever 10 ml de chacun (pour ne laisser que 40ml comme prise d'essai).

Puis rajouter dans l'ordre :

- 4ml de réactif coloré ;
- 4ml de réactif de dichloro-isocyanurate de sodium.

Compléter ensuite chaque fiole à 50ml. Attendre le développement de la couleur après au moins 60mn.

Effectuer la lecture au spectromètre à 655 nm.

### **Dosage :**

Prélever 40 ml de l'échantillon à analyser puis ajouter successivement :

- 4ml de réactif coloré ;
- 4ml de réactif de dichloro-isocyanurate de sodium.

Compléter à 50ml. Attendre le développement de la couleur après au moins 60mn et effectuer la lecture au spectromètre à 655 nm.

### **Interprétations des résultats :**

La concentration est donnée directement en mg/L d'ammonium.

## **Nitrate NO<sub>3</sub><sup>-</sup> :**

### **Objet :**

Ce protocole a pour objet la description du dosage spectrométrique nitrate par la méthode au salicylate de sodium.

### **Domaine d'application :**

Cette méthode est applicable aux eaux potables, eaux brutes et résiduaires. Pour des concentrations allant de 0.5 à 5 mg/l.

### **Appareillage :**

- Matériel courant de laboratoire : verrerie ( fioles et pipettes).
- Spectrophotomètre Hach DR-400U.
- Capsules de 60 ml.
- Bain marie ou une étuve portée entre 75 à 80 °C.

### **Préparation et conservation des échantillons :**

Si la mesure n'est pas faite le jour même ajouter quelques gouttes d'acide chlorhydrique à pH 1 à 2, et conserver à 4 °C.

### **Application :**

Préparation des solutions étalon.

Pour les nitrates le domaine de travail est de 0.5 mg/l et 5 mg/l.

L'étalonnage du spectrophotomètre est réalisé une fois par moi dans laboratoire de STEP Sidi Amar à l'aide des solutions étalons. Dans une série de capsules de 60 ml, introduire successivement :

| Volume de solution fille de nitrates en (ml) | Complément eau distillée (ml) | Concentration de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en mg/l | Volume de la fiole en (ml) |
|--|-------------------------------|---|----------------------------|
| Eau distillée                                | 10                            | 0   | 10                         |
| 1  | 7.5                           | 0.5   | 10                         |
| 2  | 5                             | 1   | 10                         |
| 5  | 2.5                           | 2.5   | 10                         |
| 10   | 0                             | 5   | 10                         |

- Evaporer à sec bain marie ou dans une étuve portée à 75 °C – 80° C (ne pas surchauffer, ni chauffer trop longtemps).
- Laisser refroidir.
- Reprendre le résidu par 2 ml d'acide sulfurique concentré.
- Attendre 10 min, ajouter 10 ml d'eau distillée puis 15 ml de solution de tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune.
- Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde 420 nm.

**Dosage :**

Introduire 10 ml d'échantillon à analyser dans une capsule de 60 ml (pour des teneurs en nitrate supérieure à 5 mg/l, opérer par une dilution), alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium, ajouter 1 ml de salicylate de sodium puis poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage, effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde 420 nm.

**Interprétations des résultats :**

Le résultat est donné directement en mg/l de nitrate.

## **Nitrite NO<sub>2</sub><sup>-</sup> :**

### **Objet :**

Ce protocole spécifie une méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire pour le dosage des nitrites dans les eaux potables, eaux brutes.

### **Domaine d'application :**

Cette méthode est applicable à toutes les eaux.

### **Appareillage :**

- Matériel courant de laboratoire : verrerie ( fioles et pipettes).
- Spectrophotomètre Hach DR-400U.

### **Préparation et conservation des échantillons :**

Les échantillons sont conservés entre 2 et 5 °C et analysés dans les 24 h de prélèvement.

### **Application :**

#### **Préparation des solutions étalon :**

Pour les nitrites le domaine de travail est de 0.02 mg/l à 1 mg/l.

L'étalonnage du spectrophotomètre est réalisé une fois par mois à l'aide de solutions étalons.

| Volume de solution étalon<br>fiole de nitrites en (ml) | Concentration de NO <sub>2</sub> - en<br>mg/l | Volume de la fiole en (ml) |
|--|---|----------------------------|
| Eau distillée  | 0.00  | 50                         |
| 1  | 0.02  | 50                         |
| 2  | 0.04  | 50                         |
| 3  | 0.06  | 50                         |
| 4  | 0.08  | 50                         |
| 5  | 0.1   | 50                         |
| 25   | 0.5   | 50                         |
| 50   | 1   | 50                         |

Prélever 40 ml de chacune des solutions obtenues, ajouter dans l'ordre 1 ml du réactif coloré. Homogénéiser immédiatement et compléter à 50 ml, le pH à ce stade doit être de 1,9. Laisser au moins 20 min, effectuer la mesure spectrométrique à la longueur d'onde 540 nm.

#### **Dosage et mesure:**

Prélever 40 ml de chacune des solutions obtenues, ajouter dans l'ordre 1 ml du réactif coloré. Homogénéiser immédiatement, le pH à ce stade doit être de 1,9. Laisser au moins 20 min, effectuer la mesure spectrométrique à la longueur d'onde 540 nm.

**Détermination de la concentration de  $\text{NO}_2^-$  :**

La détermination de la teneur en  $\text{NO}_2^-$  se fait de la manière suivante sur spectrophotomètre DR 4000U :

- Allumer l'appareil.
- Appuyer sur « programme utile ».
- Introduire le numéro du programme de  $\text{NO}_2^-$ .
- Insérer la cuve avec le blanc (eau distillée), et appuyer sur « zéro ».
- Remplir la cuve avec l'échantillon à analyser et appuyer sur « lire ».
- La concentration des  $\text{NO}_2^-$  est affichée sur l'écran en mg/l.

**Interprétations des résultats :**

Le résultat est donné directement en mg/l de nitrite.

## **Sulfate SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> :**

### **Objet :**

Ce protocole a pour but de déterminer les sulfates par spectrophotomètre d'adsorption moléculaire.

### **Domaine d'application :**

Ce protocole est applicable sur tout type d'eaux.

### **Appareillage :**

- Un spectrophotomètre Hach DR-400U.
- Agitateur mécanique.

### **Préparation et conservation des échantillons :**

En cas de conservation, les échantillons doivent être prélevés et conservés dans des températures à 4 °c pendant au maximum 6 jours.

### **Application :**

Préparation des solutions etalons

| Volume de solution mère de sulfate à 1g/l (ml) | Solution stabilisante (ml) | Solution de chlore de baryum (ml) | Eau distillée (ml) | Eau distillée (ml) |
|--|----------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|
| 0  | 5                          | 2                                 | 93                 | 0                  |
| 1  | 5                          | 2                                 | 92                 | 10                 |
| 2  | 5                          | 2                                 | 91                 | 20                 |
| 3  | 5                          | 2                                 | 90                 | 30                 |
| 4  | 5                          | 2                                 | 89                 | 40                 |
| 5  | 5                          | 2                                 | 88                 | 50                 |
| 6  | 5                          | 2                                 | 87                 | 60                 |
| 7  | 5                          | 2                                 | 86                 | 70                 |

Effectuer la mesure spectrophotométrique à la longueur d'onde 420 nm.

### **Dosage et mesure :**

La détermination de la teneur en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> se fait de la manière suivante :

- Prendre 20 ml d'échantillon à analyser et ajouter 5 ml de la solution stabilisante, agiter quelques secondes (agitation mécanique lente).
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.
- Compléter avec 100 ml d'eau distillée.
- Laisser pendant 1 min sous agitation mécanique rapide.

- Remplir rapidement la cuve avec l'échantillon à analyser, l'insérer sans perdre de temps dans l'appareil et appuyer sur Start.
- La concentration des  $\text{SO}_4^{2-}$ .

### **Interprétations des résultats :**

La concentration des sulfates est exprimée en milligramme par litre.

|      |      |    |
|------|------|----|
| 9.0  | 0.36 | 50 |
| 18.0 | 0.72 | 50 |
| 22.5 | 0.9  | 50 |
| 25.0 | 1.0  | 50 |
| 37.5 | 1.5  | 50 |

Compléter au volume avec de l'eau distillée et homogénéiser chaque étalon.

Prélever 40 ml de chacun des étalons obtenus, ajouter dans l'ordre et sans attendre entre chaque ajout :

- 1 ml d'acide ascorbique à 100 g/l.
- 2 ml d'heptamolybdate d'ammonium.

Et compléter à 50 ml. Agiter quelques secondes. Après un temps compris entre 10 et 30 min (temps nécessaire au développement de la couleur), effectuer les lectures spectrométriques à la longueur d'onde de 880 nm.

### **Dosage et mesure :**

Prélever 40 ml d'échantillon à analyser, ajouter sans attendre entre chaque ajout :

- 1 ml d'acide ascorbique à 100 g/l.
- 2ml d'heptamolybdate d'ammonium.

Agiter quelques secondes. Après un temps compris entre 10 et 30 min (temps nécessaire au développement de la couleur) :

- ✓ Si aucune couleur n'est apparue, il n'y a pas de phosphates ( $\text{PO}_4^{-3}$ ). Indiquer alors comme résultat : < 0.09 mg/l de phosphates.
- ✓ Si une coloration bleue est apparue, effectuer la mesure au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 880 nm.

## **Dosage du chlore libre et total :**

### **Objet :**

Le présent mode opératoire spécifie la méthode de dosage du chlore libre dans un échantillon. Elle est basée sur le mesurage de l'intensité de la couleur par comparaison visuelle avec une échelle d'étalons (disque étalon certifié).

Le port de la blouse, de gants et du masque de protection est indispensable durant toute la manipulation.

### **Domain d'application :**

Ce mode opératoire s'applique aux eaux potables et en voie de potabilité, pour une concentration maximale de 5 mg/l de chlore.

### **Appareillage et Réactifs :**

- Comparateur à disque
- Photomètre à chlore
- Comprimé DPD N°1 et N°3

### **Mesurage des échantillons :**

#### **Dosage du chlore libre :**

- Transvaser 10 ml de l'échantillon à analyser dans un tube à essai préalablement rincé avec l'échantillon même.
- Introduire un comprimé de DPD N°1 et mélanger jusqu'à dissolution du DPD.
- Mesurage de l'intensité de la couleur par comparaison visuelle à l'aide d'une échelle (disque) ou moyen d'un photomètre.

#### **Dosage du chlore total :**

- A prés la lecture du chlore libre ajouter au tube d'essai un DPD N°3 et mélanger jusqu'à dissolution.
- Mesurage de l'intensité de la couleur par comparaison visuelle à l'aide d'une échelle (disque) ou moyen d'un photomètre.

### **Exploitation et interprétation des résultats :**

Noter ces résultats au cours du mesurage sur cahier de poste.