

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département de Biochimie-Microbiologie

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master en Biotechnologie
Option: Biotechnologie Microbienne

**Analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau
de source de la région Iferhounene**

Présenté par OUILES Ali

Soutenu le 15/12/2021 devant le jury composé de:

M^{me} BRAHMI F.
M^r BOUACEM K.
M^{me} ASMANI K. L.

MCB à l'UMMTO
MCA à l'UMMTO
MCA à l'UMMTO

Présidente du jury
Promoteur
Examinatrice

Année universitaire: 2020/2021

Avant tout, je remercie Allah tout puissant qui m'a guidé tout au long de ma vie, qui m'a donné le courage et la patience pour passer tous les moments difficiles, qui m'a permis d'achever ce travail et de pouvoir le mettre entre vos mains aujourd'hui.

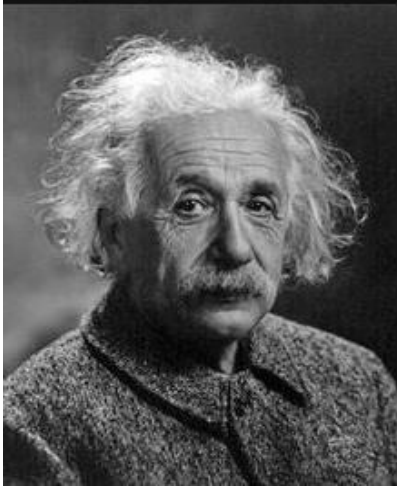
Un très grand merci pour mon encadreur BOUACEMK. qui était toujours présent et pour son temps précieux et aussi pour sa patience et sa confiance qu'il m'a accordé durant mon travail.

Mes sincères remerciements pour les membres du jury:

BRAHMIF. et ASMANI K. L.

Je tiens à remercier la directrice du laboratoire d'analyses des eaux LADJELS. et toute l'équipe du laboratoire qui était présente pour moi et on mit tout à ma disposition soit dans la recherche bibliographique ou sur la partie expérimentale.

Enfin, mes sincères gratitudes vont également à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire.



La connaissance s'acquiert par l'expérience, tout le reste n'est que de l'information.

(Albert Einstein)

Je dédie ce modeste travail:

À ma mère, ma raison de vivre, ma lueur d'espoir qui était toujours là pour moi qui n'a jamais cessé de m'encourager jour et nuit dans mes études. Elle avait toujours un mot magique qui me redonnait le sourire quand je passais des moments difficile, grâce à elle, j'ai fini mon parcours universitaire et je viserai encore loin pour la rendre fière

Merci, MAMAN

À ma grande et ma petite sœur

Sans oublier mon cercle d'amis proche qui était toujours présent pour moi et répondait à tous mes appels. Je leur souhaite du courage et de la réussite dans leur vie.

Une dédicace spéciale pour MEKACHER N. avec qui j'aurais vraiment aimé partager ce travail (en leu leu)

*À toute la promotion Biotechnologie Microbienne 2020/2021
Et à la future promo.*

Liste des abréviations

ADE: Algérienne des eaux
OMS: Organisation Mondial de la Santé
pHs: Potentiel d'hydrogène de saturation
Sb: Antimoine
Se: Sélénium
Sn: L'étain
TA: Titre alcalimétrique
TAC: Titre alcalimétrique complet
TH: Dureté
TDS: Total des solides dissous
UFC: Unité formant colonies

Liste des figures

Figure 1:	Cycle de l'eau (agence spatial canadienne, 2015).	02
Figure 2:	Organigramme représentant la répartition de la ressource eau sous ses différentes formes sur la planète (Papa, 2005).	03
Figure 3:	Schéma de l'équilibre calcocarbonique en fonction du pH et du TAC (Lefevre, 2020).	18
Figure 4:	Détermination du pH selon le tableau de Larson (Larson, 1942).	18
Figure 5:	Monogramme de Hoover et Langelier pour déterminer le pH (practical application of the Langelier method).	19
Figure 6:	Schéma représentatif des voies de contamination (Delmont, 2016).	24
Figure 7:	Schéma représentatif des techniques de biodégradation	27
Figure 8:	Schéma de principe du procédé des boues actives (Bassompierre, 2007).	29
Figure 9:	Schéma de filière de traitement des eaux de la station Seine-Centre du SIAAP (Gasperi et al., 2009).	30
Figure 10:	Schéma de filière de traitement des eaux avec les disques biologiques (www.siden.lu).	31
Figure 11:	Protocole de dilution (Hadji et Boucceredj, 2020).	41
Figure 12:	Histogramme des valeurs de température.	48
Figure 13:	Histogramme de variation de pH.	49
Figure 14:	Histogramme des valeurs de conductivité	49
Figure 15:	Histogramme des valeurs de turbidité.	50
Figure 16:	Histogramme des valeurs de TAC.	51
Figure 17:	Histogramme des valeurs de TH.	51
Figure 18:	Histogramme des valeurs de calcium en (mg/L en Ca) et magnésium en (mg/L).	52
Figure 19:	Histogramme des valeurs d'ammonium.	53
Figure 20:	Histogramme des valeurs de chlorures.	53
Figure 21:	Histogramme des valeurs de bicarbonates.	54
Figure 22:	Les valeurs des concentrations des sulfates sont vraiment inférieure à la norme qui est < 400 mg/L.	54
Figure 23:	Histogramme des valeurs de nitrates et nitrites.	55
Figure 24:	Histogramme des valeurs des résidus secs.	55
Figure 25:	Histogramme des valeurs de fer.	56
Figure 26:	Histogramme des valeurs de potassium, sodium et phosphore.	56
Figure 27:	Histogramme des valeurs de Coliformes, Entérocoques et <i>Escherichia coli</i>	57
Figure 28:	Histogramme des valeurs de l'indice de saturation.	59

- Figure 29:** Histogramme des valeurs de l'indice de saturation du 24/06/2021 après addition d'acide sulfurique. **60**

Liste des tableaux

Tableau I:	Principales différences entre eaux de surfaces et eaux souterraines	06
Tableau II:	Valeurs limites des éléments chimiques dans l'eau potable	09
Tableau III:	Classes de turbidité usuelles	11
Tableau IV:	Classification des eaux d'après leur pH	12
Tableau V:	Qualité de l'eau en fonction de la conductivité	13
Tableau VI:	Potabilité de l'eau en fonction des résidus secs	13
Tableau VII:	Classification des types d'eau selon la dureté totale	14
Tableau VIII:	Principaux ions dans la réaction d'équilibre	17
Tableau IX:	Relation entre l'indice de stabilité et la tendance de l'eau	20
Tableau X:	Principales maladies d'origine hydriques et leurs agents responsables	23
Tableau XI:	Paramètres d'analyses physico-chimiques et leurs types.	34
Tableau XII:	Méthodes d'analyses et leurs paramètres recherchés	35
Tableau XIII:	Suivie et résultat de l'indice de saturation de l'eau	58
Tableau XIV:	Essai au niveau du laboratoire, avec une solution d'acide sulfurique sur l'eau brute d'Iferhounene le 24/06/2021 (ADE, 2021)	60

Abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1

Synthèse bibliographique

Chapitre 01: Généralités sur les eaux

1. Définition d'une eau.....	2
2. Cycle de l'eau	2
3. Ressource en eaux.....	3
4. Eaux naturelles.....	3
4.1 Eaux atmosphériques	3
4.2 Eaux souterraines	4
4.3 Eaux de surfaces	5
5. Comparaison entre les eaux souterraines et les eaux de surfaces	5
6. Eaux usées	7
7. Eau potable	8

Chapitre 02: Caractéristiques de l'eau potable

1. Caractéristiques de l'eau potable	10
2. Paramètres organoleptiques.....	10
2.1 Couleur.....	10
2.2 Odeur et saveur.....	10
2.3 Turbidité.....	11
3. Paramètres physico-chimiques	11
3.1. Paramètres physiques.....	11
3.2. Paramètres chimiques	13
4. Equilibre calcocarbonique	16
4.1 Agressivité et incrustation d'une eau	17
4.2 pH de saturation.....	17
4.3 Calcule du pHs	18
5. Correction du pH.....	20
6. Paramètres bactériologiques	20
7. Maladies à transmission hydrique.....	22
8. Origines des maladies à transmission hydrique	22

8.1. Maladies d'origine bactérienne	24
---	----

Chapitre 03: Traitement des eaux par la biotechnologie

1. Introduction	26
2. Présentation des technologies existantes	26
3. Bioremédiation par les microorganismes	27
4. Principe de la bioremédiation	27
4.1 Bio-augmentation	28
4.2 Bio-stimulation	28
4.3 Biolixiviation	28
4.4 Bio-filtration	28
5. Microorganismes utilisés	28
6. Exemples de biodégradation des eaux usées	29
6.1. Bio-filtration des eaux usées	30
6.2. Disque biologique	30

Matériel et Méthodes

1. Zone d'étude	32
2. Présentation du laboratoire de l'ADE	32
3. Stérilisation du matériel	32
4. Échantillonnage	32
4.1 Échantillon pour les analyses physico-chimiques	32
4.2 Echantillon pour les analyses bactériologiques	32
5. Méthodes d'analyses	33
5.1 Paramètres physico-chimiques	33
5.2 Méthodes électrochimiques	35
5.3 Méthodes volumétriques	36
5.4 Méthodes spectrophotométries	37
5.5 Méthodes de spectrométrie d'émission de flamme	39
5.6 Détermination de la matière organique	40
6. Méthodes d'analyses bactériologiques	40
6.1 Dénombrement sur membrane filtrante	40
6.2 Dénombrement par inoculation sur milieu liquide	40
7. Table de Mac Grady	42

8.	Dénombrement des bactéries coliformes et <i>Escherichia coli</i>	42
	8.1 Méthodes par filtration sur membrane	42
	8.2 Méthode de dénombrement sur milieu liquide	43
9.	Dénombrement des streptocoques fécaux	44
	9.1 Méthodes par filtration sur membrane	44
	9.2 Méthode de dénombrement sur milieu liquide	45
10.	Dénombrement des spores anaérobies sulfite-réductrices	46
	10.1 Méthode par filtration	46
11.	Dénombrement des microorganismes revivifiables à 22 °C et à 37 °C	46
12.	Analyse de l'équilibre calco-carbonique	47
	12.1 Indice de saturation	47
	12.2 Correction du pHs avec de l'acide sulfurique	47

Résultats et Discussion

1.	Analyses physico-chimiques	48
	1.1 Température.....	48
	1.2 pH	49
	1.3 Conductivité	49
	1.4 Turbidité.....	50
	1.5 TAC	51
	1.6 Dureté (TH)	51
	1.7 Calcium et Magnésium	52
	1.8 Ammonium.....	53
	1.9 Chlorure	53
	1.10 Bicarbonates	54
	1.11 Sulfates.....	54
	1.12 Nitrates et Nitrites.....	55
	1.13 Résidus secs.....	55
	1.14 Fer	56
	1.15 Potassium, Sodium et Phosphore.....	56
2.	Analyses bactériologiques	57
	2.1 Coliformes, Entérocoques et <i>Escherichia coli</i>	57
3.	Analyses calcocarboniques.....	58
	3.1 Indice de saturation	58

Table des matières

3.2 Correction du pHs avec de l'acide sulfurique	59
Conclusion générale	61
Références bibliographiques.....	62
Annexes	
Résumé	

Introduction

L'eau est une substance chimique composée de deux molécules d'hydrogène et une molécule d'oxygène, un composé très stable et très réactif. On peut le retrouver dans différentes formes (liquide, gazeuse, solide). C'est un constituant biologique important, essentiel pour la vie de tout organisme vivant. L'eau représente 70 % de la composition du corps humain.

L'eau est indispensable à la vie, sans elle, il n'y aurait aucune vie possible sur terre. Le constat est simple, tous les êtres vivants ont besoin d'eau pour exister. Cette eau peut provenir de plusieurs origines (atmosphérique, souterraines et des surfaces). Mais ces eaux ne sont pas protégées d'une éventuelle contamination, qui peut être causée par des humains, mais aussi d'autres êtres vivants et peuvent provoquer des maladies, où rendre tout simplement les eaux non-potables.

Les maladies à transmission hydriques regroupent plusieurs pathologies dont l'élément commun est la voie de contamination de l'eau. L'ampleur et la persistance de ces maladies sont directement liées aux conditions d'hygiène du milieu générale. Ces maladies recouvrent un large éventail de manifestations pathologiques d'origine bactérienne (fièvre typhoïde, choléra, gastro-entérite, etc.), viral (hépatites A et E, etc.) et parasitaire (amibiase, ténia, etc.). La voie de transmission la plus probable et celle de la consommation de l'eau contaminée directement mais, aussi par le lavage des aliments (légumes, fruits) qui se consomment crus.

Le développement des industries est l'un des plus grands responsables de la pollution (air, sol et eau) sur notre terre. De ce fait, on fait appel à la biotechnologie verte qui utilise des microorganismes (algues, bactéries, etc.) pour contrer cette pollution et la contamination des eaux. La biorémediation a connu un grand impact sur la dépollution et l'élimination des contaminants. Elle compte plusieurs avantages elle est plus économique, mais se trouve face à de grands désavantages comme le temps et la spécificité.

L'humanité se trouve devant une croissance alarmante de la pollution des eaux par des matières organiques diverses, des pesticides, des détergents, des métaux lourds, et autres substances toxiques. Cette pollution provoque la détérioration de l'environnement, mais aussi un risque de pénurie des ressources en eau.

L'objectif de mon travail est la caractérisation physico-chimique et bactériologique de l'eau de source d'Iferhounene. Ce mémoire se compose d'une synthèse bibliographique répartie en trois chapitres. Le premier chapitre présente des généralités sur les eaux suivie d'un deuxième chapitre sur les caractéristiques d'une eau potable et un dernier chapitre sur la biotechnologie et la pollution des eaux. Cette synthèse bibliographique est suivie par un matériel et méthodes où les techniques d'analyses physico-chimiques, bactériologiques mais aussi le calcul et la correction du pH de saturation sont présentés. Les résultats obtenus sont également présentés et discutés. Enfin, une conclusion et des perspectives sont dégagées.

Synthèse bibliographique

Chapitre 01

Généralités sur les eaux

1. Définition d'une eau

L'eau connue comme source de la vie, pas de vie sans présence de l'eau, l'eau est la seule molécule présente sur terre sous trois formes: solide, liquide et gazeuse. C'est un composé chimique simple, elle est liquide à température et pression ambiante (01 Atmosphère), elle est gazeuse au-dessus de 100°C et solide en dessous de 0°C. Ces changements d'état dépendent de la température et de la pression mais aussi des composés chimiques présents dans l'atmosphère. La formule chimique de l'eau est (H₂O), cela signifie qu'elle est composée de deux atomes d'hydrogène et un seul atome d'oxygène (Abdesselem, 1999; Musy et Higy, 2004).

2. Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau est un phénomène complexe composé de plusieurs transformations successives de son état. Les trois principales phases de ce cycle sont: l'évaporation, précipitation et écoulement souterrains et de surfaces. L'élément moteur de ce phénomène est l'énergie solaire. L'eau s'évapore constamment au-dessus des océans, lacs et forêts, elle est condensée sous formes de nuages et ensuite transportée par les vents. Dans l'atmosphère les nuages se condensent sous forme de vapeur d'eau autour des particules de poussières puis tombent en précipitations sous forme de pluies ou de neiges, sous l'action des phénomènes météorologiques complexes qui sont influencés par les vents et les différences de température (Ayad, 2017). Ce phénomène est représenté dans la figure 1.

Les caractéristiques géologiques du sous-sol influencent sur les eaux souterraines et elles peuvent connaître de long temps de résidence, parfois de l'ordre du millénaire. L'eau qui ruisselle pénètre dans le sol s'infiltre et va remplir les nappes souterraines. Elle traverse des couches de plus en plus profondes du sol et cela va permettre l'élimination de la quasi-totalité des impuretés dont elle s'était chargée pendant son cheminement (Beniston, 2009; Bouziani, 2000).

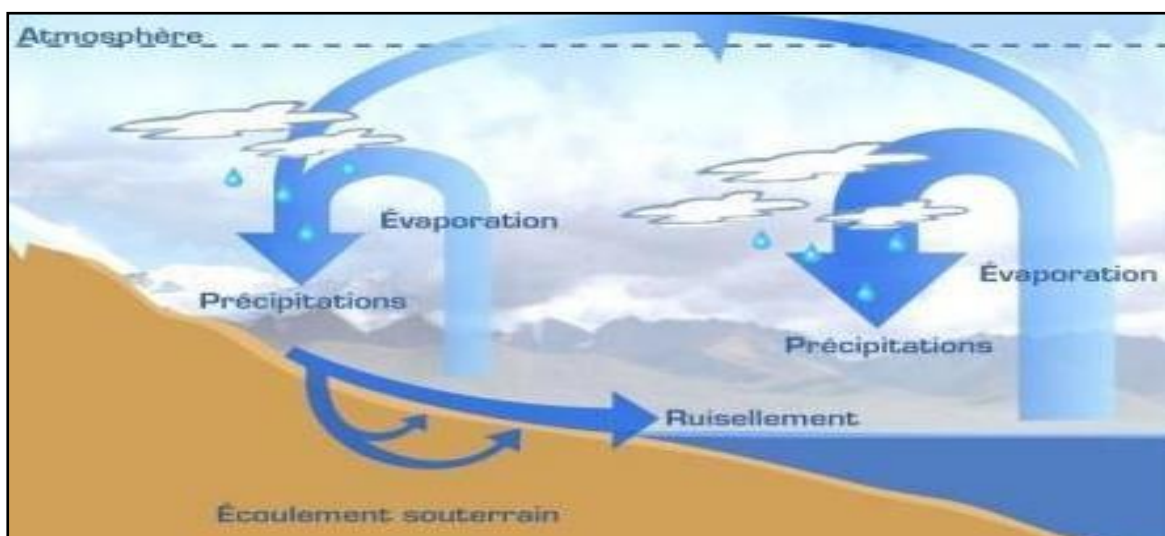


Figure 1: Cycle de l'eau (agence spatial canadienne, 2015)

3. Ressource en eaux

Les réserve disponibles d’eaux naturelle sont des eaux souterraines (infiltration, nappe), des eaux de surface retenue ou en écoulement naturelle (lacs, rivières) artificielle (barrage) et des eaux de mers et océans. Cette répartition des eaux est représentée dans la figure 2.

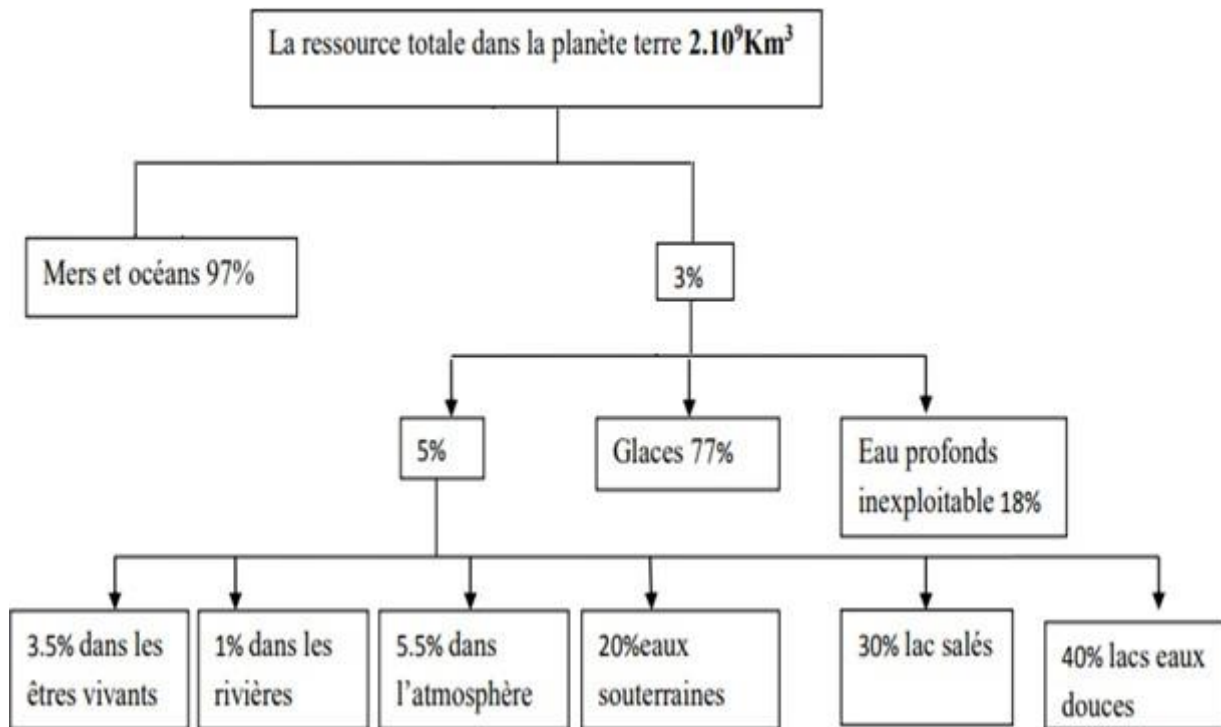


Figure 2: Organigramme représentant la répartition de la ressource eau sous ses différentes formes sur la planète (Papa, 2005)

4. Eaux naturelles

Elles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrages) ou en écoulement (rivières, fleuves) ou des eaux atmosphérique (pluies, neige, grêle.) et des eaux de mer (Grerad, 2003).

4.1 Eaux atmosphériques

L’eau atmosphérique est généralement précipitée sous forme de pluie, neige, grêle. Théoriquement, c’est une eau stérile mais en pratique c’est beaucoup plus complexe. On y trouve surtout des gaz dissous contrairement aux sels dissous qui sont pratiquement absents (Grerad, 2003).

4.2 Eaux souterraines

a) Origine

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol (Chelli et Djouhri, 2013). L'eau souterraine est contenue dans des nappes qui se trouvent dans des terrains réservoir appelés aquifères, formés par la percolation des pluies et des ruissellements à travers les sols et les roches, la porosité et la structure qui permet l'infiltration de cette eau mais aussi le type de nappe et le mode de circulation souterraine (Grerad, 2003). On peut déterminer plusieurs types:

- Une nappe libre (phréatique): elle est alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement ; le niveau de cette nappe peut augmenter ou baisser par rapport à la quantité d'eau retenue
- Une nappe captive: elle est emprisonnée entre deux couches de terrains imprimables. C'est le type le plus fréquent et généralement le plus profond où règne une certaine pression d'où vient un jaillissement de l'eau lors d'un forage.
- Une nappe alluviale dans les terrains alluvionnaires (un dépôt de débris tels du sable, de la vase, de l'argile, etc. transportés par de l'eau courante). La qualité de ces eaux est alors directement influencée par la qualité de l'eau de la rivière.

b) Caractéristiques générales

La qualité de cette eau est caractérisée par la nature géologique du terrain. Le contact de l'eau avec le sol dans lequel elle circule ou elle stagne va permettre de déterminer sa composition chimique:

- Dans un sous-sol sablonneux ou granitique l'eau devient acide et peu minéralisée
- Dans un sous-sol calcaire l'eau est carbonatée et calcique et présente une dureté élevée (Grerad, 2003).

Cette eau se caractérise par une turbidité faible ou elle a privilégié d'une filtration naturelle importante grâce à son cheminement dans le sol (Chelli et Djouhri, 2013). Elle se caractérise d'une contamination bactérienne faible, car elle est protégée des sources de pollution, par contre sa dureté est élevée et les concentrations des minéraux telle que le fer et le magnésium sont élevées (Degremon, 2005).

L'analyse de ces eaux révèle une pureté bactériologique pas de risque de contamination pour les eaux souterraines, une faible turbidité, une température et une composition chimique constantes. L'absence presque générale d'oxygène diminue l'oxydation des éléments provoquant la présence d'éléments réduits.

c) Potabilité

Les eaux souterraines sont connues pour leur pureté et leur potabilité répondants naturellement aux normes physico-chimiques synonymes « d'eaux propres ». Mais ces eaux

peuvent contenir des concentrations dépassant largement les concentrations de la norme de potabilité causée par la composition du terrain de stockage ou une nappe souterraine peut être polluée par des agents polluants. Ce qui provoque la pollution des eaux et il est très difficile de récupérer sa pureté originale parce que les polluant ne se retrouve pas seulement dans les eaux mais aussi sont adsorbés et fixés par les roches et minéraux des sous- sols. Cependant, une analyse physico-chimique et un traitement de cette eau est obligatoires avant la distribution (Grerad, 2003).

4.3 Eaux de surfaces

a) Origine

Les eaux de surface sont stockées soit naturellement dans des lacs ou artificiellement dans des barrages. Ses origines sont les nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une vitesse de circulation appréciable (Grerad, 2003). La température de ces eaux varie selon le climat et les saisons, la matière en suspension est variable selon la pluviométrie, la nature et le relief des terres à son voisinage. Le terrain de cette eau influence sur la teneur en sels minéraux (Degremont, 2005). Une eau de surface est ordinairement riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone.

b) Caractéristiques générales

La composition chimique de l'eau dépend des interférences avec le terrain rencontré durant leur parcours au cours de leur cheminement, l'eau dissout les différents éléments constituant le terrain parcourue mais aussi la teneur en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique) dépend des interférences eau-atmosphère et de l'activité métabolique des organismes aquatiques au sein de l'eau (Grerad, 2003). Ces eaux se caractérisent par une présence de gaz dissous en particulier l'oxygène, elle est riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone (Degremont, 2005). Une quantité importante de matière en suspension, la présence de matières organiques d'origine naturelle provenant du métabolisme, puis de la décomposition post mortem des organismes végétaux ou animaux vivant à la surface du bassin versant ou dans la rivière, la présence de plancton et elles sont perturbées par les variations climatiques (température, ensoleillement, précipitations.) (Grerad, 2003).

c) Potabilité

Les eaux de surfaces sont rarement potables sans aucun traitement. Elles sont généralement polluées par des agents bactériologiques mais aussi avec l'interaction des agents chimiques ou le milieu qui peut être contaminé.

5. Comparaison entre les eaux souterraines et les eaux de surfaces

La qualité de l'eau varie selon plusieurs paramètres et l'un de ces principaux paramètres est le type du terrain et la localisation de cette eau en surface ou souterraine, ce qui nous donne les différentes variations de la qualité mais aussi des interférences avec d'autres agents tels que le climat, l'atmosphère et les microorganismes. Cette différence est présentée dans le tableau I.

Tableau I: Principales différences entre eaux de surfaces et eaux souterraines (Memento degremont® de SUEZ,).

Caractéristiques	Eaux de surfaces	Eaux souterraines
Températures	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité	Variables, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	Liée surtout aux (argiles, algues, etc.). Sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acide humiques) où due à une précipitation (Fe-Mn)
Gout et odeurs	Fréquents	Rares (sauf H ₂ S)
Minéralisation globales	Variable en fonction des terrains	Sensiblement constante
Fe et Mn (dissous)	Généralement absent (sauf en profondeur en état d'eutrophisation)	Généralement présents
CO ₂ agressive	Généralement absent	Présent, parfois en grande quantité
O ₂ Dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation: absente dans le cas d'eaux très polluées	Teneur faible ou nulle
H ₂ S	Généralement absent	Parfois présent
NH ₄	Présent seulement dans les eaux polluées	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Silices	Teneur en générale modérée	Teneur élevée si roche siliceuse
Ca, Mn, HCO ₃	Variable selon la région	Teneur souvent élevée si roche calcaire ou calcaro-magnésienne
Micropolluants minérales et organiques	Selon les rejets industrielles, agricole ou des habitants	Présent en fonction des épandages agricole
Solvant chloré	Rarement présent	Peuvent être présent (pollution de la nappe)
Éléments vivants	Bactéries (pathogènes), virus, plancton (animal et végétal)	Ferro-bactéries et sulfuro-réductrices fréquentes
Caractère eutrophie	Possible accentué par les températures élevées	Non

6. Eaux usées

Les eaux usées concernent toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques, qui parviennent jusqu' aux canalisations d'assainissement afin d'y subir un traitement. Les eaux usées englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante susceptible d'engendrer dans le milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance (Dugniolle, 1980; Glanic et Benneton, 1989). L'eau usée est la combinaison de liquides ou déchets transportés dans l'eau de diverses sources. Généralement, des DCO (demande chimique en oxygène.) des matières organiques et inorganiques sont associés avec les eaux usées (Sonune et *al.*, 2004).

a) Origine

L'origine de ces eaux usées sont majoritairement humain, elles peuvent avoir plusieurs origines. On distingue quatre origines (Metahri, 2012).

- Eaux usées pluviales

Les précipitations sont l'origine des eaux de ruissèlement qui peuvent être polluées par l'atmosphère ou par contact avec un terrain portant des agents polluants mais aussi les dépôts en suspension.

- Eaux usées domestiques

Il s'agit de l'eau que les humains utilisent pour les besoins domestiques (Chocat, 1997). Origine d'usages domestiques de l'eau. Essentiellement, constituées d'excréments humains, de graisses appelées eaux grises et de toilette appelées eaux noires. C'est une eau chargée de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux.

- Eaux usées agricoles

La grande consommation des ressources en eau par le secteur agricole n'est pas négligeable. Les activités agricoles contaminent l'eau par les engrais, les pesticides, les désherbants et les insecticides.

- Eaux usées industrielles

Généralement, les usines sont à l'origine des eaux usées industrielles, elles sont caractérisées par une très grande diversité. Cette diversité dépend des différents domaines industriels, et on différencie les pollutions spécifiques suivantes:

- Matières radioactives (centres nucléaires; traitement des déchets radioactifs, etc.).
- Matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, etc.).
- Acides; bases; produits chimiques divers (industries chimiques ; tanneries, etc.).

7. Eau potable

En se référant à l’OMS, l’eau potable est une eau consommable sans danger. L'eau potable doit être exempte de matières en suspension, microorganismes et produits toxiques pour la santé. En outre, elle doit avoir des critères organoleptiques agréables (Bonteux, 1993).

a) Origine

Diverses sources naturelles telles que les eaux souterraines, eaux de surface (lac, rivière, etc.), ou eau de mer sont à l'origine de l'eau potable.

b) Caractéristiques

Cette eau est caractérisée par l’absence de produits chimiques toxiques ou de germes pathogènes. Elle respecte les normes de la potabilité recommandées par l’OMS (Tableau II)

Tableau II: Valeurs limites des éléments chimiques dans l'eau potable (OMS, 2006).

Elément/Substance	Symbole/Formule	Normes de l'OMS
Aluminium	Al	0,2 mg/L
Ammonium	NH ⁴⁺	Pas de contrainte
Antimoine	Sb	0,02 mg/L
Arsenic	As	0,01 mg/L
Amiante	/	Pas de valeur guide
Baryum	Ba	0,7 mg/L
Béryllium	Be	Pas de valeur guide
Bore	B	0,5 mg/L
Cadmium	Cd	0,003 mg/L
Chlore	Cl	Pas de valeur guide/apparition de gout à partir de 250 mg/L
Chrome	Cr ³⁺ , Cr ⁶⁺	Chrome totale 0,05 mg/L
Couleur		Pas de valeur guide
Cuivre	Cu ²⁺	2 mg/L
Cyanure	CN ⁻	0,07 mg/L
Oxygène dissous	O ₂	Pas de valeur guide
Fluorure	F ⁻	1,5 mg/L
Dureté	mg/L CaCO ₃	200 ppm
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S	0,05 à 1 mg/L
Fer		Pas de valeur guide
Plomb	Pb	0,01 mg/L
Manganèse	Mn	0,4 mg/L
Mercure	Hg	Inorganique: 0,006 mg/L
Nickel	Ni	0,07 mg/L
Nitrate et Nitrite	NO ₃ , NO ₂	50 et 3 mg/L (exposition à court terme) 0,2 mg/L (exposition à long terme)
Turbidité		Non mentionnée
pH		Pas de valeur guide Norme entre 6.5 et 9.5
Sélénium	Se	0,01 mg/L
Argent	Ag	Pas de valeur guide
Sodium	Na	Pas de valeur guide
Sulfate	SO ₄	500 mg/L
Etain	Sn	Pas de valeur guide, peu toxique
TDS		Pas de valeur guide Norme: < 1000 mg/L
Zinc	Zn	3 mg/L

Chapitre 02

Caractéristiques de l'eau potable

1. Caractéristiques de l'eau potable

Une eau est dite potable quand elle satisfait à plusieurs nombres de paramètres la rendant propre à la consommation humaine. Parmi ces paramètres on peut citer: les paramètres organoleptiques, les paramètres physico-chimiques et les paramètres bactériologiques. Pour chaque paramètre, il existe des normes fixées par l'OMS.

Des recommandations doivent être adoptées dans chaque pays en fonction de l'état sanitaire et des considérations économiques du pays en question pour aboutir aux normes réglementaires nationales. Les eaux de consommation humaine algérienne doivent répondre aux normes adoptées par l'OMS (Laribi et Chekaoui, 2021). Les normes sont représentées par une valeur chiffrée, ces normes sont fixées par une limite maximal à ne pas dépasser et une limite inférieure à respecter pour une substance donnée (OMS, 2000).

2. Paramètres organoleptiques

Il s'agit de la saveur, de la couleur, de l'odeur et de la clarté (turbidité). Ils constituent souvent les facteurs d'alerte pour une pollution sans présenter à coup sûr un risque pour la santé (Genoudet, 2001). Ils n'ont pas de signification sanitaire, mais un changement de ces paramètres pourrait indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des eaux de consommation (Yapo et *al.*, 2009). Une bonne analyse organoleptique se fait à 25°C (ADE, 2021).

2.1 Couleur

Les substances dissoutes dans l'eau peuvent provoquer un changement de couleur ; cette coloration est dite vraie ou réelle. Elles passent à travers un filtre de porosité égale à 0,45 µm. Elle est dite apparentes lorsque les matières en suspension (MES) ajoutent leur propre coloration. Dans les eaux claires et les eaux de faible turbidité les couleurs réelles et apparentes sont presque identiques (Rodier et *al.*, 2009). La coloration de l'eau peut être un phénomène naturel par présence de substances telles que le fer et le manganèse ou un phénomène d'eutrophisation qui est un développement excessif d'algues et de planctons. Elle peut être aussi d'origine industrielle et chimique comme la présence de colorants et de teintures rejetés par les industries (Mokeddem et Ouddane, 2005).

2.2 Odeur et saveur

L'eau doit être inodore, toute odeur est un signe de pollution ou la présence des matières organiques en décomposition. En général, ils sont présents en quantité minimale (Rodier et *al.*, 2009). Les odeurs sont causées par les substances volatiles qui se trouvent dans l'eau, et qui peuvent être inorganiques comme le chlore, H₂S et SO₂ ou organique telles les dérivés aromatiques ou ceux causés par la décomposition des matières animales ou végétales (Monique, 1991). L'analyse doit être rapide et la durée de stockage ne doit pas dépasser les 72 heures (Rodier et *al.*, 2009). La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de stimulation, par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (Rodier et *al.*, 2009).

L'odeur et la saveur qui ne sont pas familiers sont dues à la présence des molécules

organiques ou inorganiques même en très faibles quantités (Vilagines, 2003).

2.3 Turbidité

La mesure de la clarté d'une eau est dite turbidité (ADE, 2021). Elle est liée à la présence plus ou moins importante des MES d'origine minérale ou organique (Slimani, 2003). Une turbidité forte ou un degré élevé peut permettre la fixation des microorganismes sur les particules en suspension, donc une eau turbide à plus de risque de contamination par les microorganismes (Ghazali et al., 2013). La mesure du degré de turbidité dépend de l'abondance des MES ; un faible degré de turbidité désigne une eau claire et que le traitement de l'eau est efficace pour une eau trouble (Rodier, 2009).

L'analyse de la turbidité doit être effectuée le plus rapidement possible après le prélèvement si cela n'est pas possible, l'échantillon doit être conservé à l'obscurité pour une durée maximale de 24 heures. L'unité de mesure de la turbidité est la NTU (Unité néphelométrique) (Ghazali et al., 2013).

Tableau III: Classes de turbidité usuelles (Norme NF EN 278888-ISO888).

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

3. Paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques sont l'ensemble de la structure de l'eau. La qualité d'une eau dépend de ces paramètres. Les paramètres physiques sont en relation avec la structure des eaux naturelles (Medjkoune, 2018).

3.1. Paramètres physiques

Les paramètres physiques concernent de la température, le pH et la conductivité (Diagne et al., 2017). Ces paramètres peuvent être mesurés « *in situ* » (C'est-à-dire qu'ils peuvent être mesurés sur place juste après le prélèvement de l'échantillon par des appareils spécifiques).

a) Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec précision. Elle joue un rôle important dans la croissance des espèces aquatiques et des microorganismes (Who, 1987), mais également dans la solubilité des sels et surtout des gaz. Si elle influence dans la dissociation des sels dissous, elle influence donc aussi la conductivité électrique et aussi sur la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau. La température des eaux, telles que les eaux de sources dépendent de la zone géographique et du climat de cette zone, elles sont influencées par la température de l'air (Rodier, 2009).

b) Potentiel d'hydrogène

Le potentiel d'hydrogène détermine la concentration en ions d'hydrogènes (H^+) dans une eau. Il permet la mesure de l'acidité ou l'alcalinité d'une eau (Savary, 2010). La fourchette des valeurs usuelles s'étend de 0 à 14, sa valeur neutre est de 7 (Lefevre et *al.*, 2020).

Le pH interfère avec d'autres paramètres chimiques comme la dureté, l'alcalinité, la turbidité et la conductivité (Savary, 2010). C'est une mesure de l'activité chimique des protons en solutions aqueuse.

- Si le pH est < 6.5 l'eau est acide et risque de générer de la corrosion des matériaux en contact (les conduites).
- Si le pH est > 9 l'eau est alcaline et risque de devenir incrustante et calcaireuse. Elle peut modifier la configuration chimique de certains éléments (produits désinfectants) (Lefevre et *al.*, 2020).
- Les valeurs du pH se situent entre 6.5 et 8.5 dans les eaux naturelles (Ghazali et *al.*, 2013).

Dans les industries et les laboratoires, le pH peut être ajusté, si nécessaire, pour l'amélioration des procédés de traitements de coagulation/floculation et pour le contrôle de la désinfection de l'eau (Fondation National de Santé, 2013). Les eaux peuvent être classées selon leur pH (tableau IV).

Tableau IV: Classification des eaux d'après leur pH (Norme ISO7888).

pH < 5	Acidité forte, présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée, majorité des eaux de surface
5.5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

c) Conductivité

La conductivité d'une eau est la capacité de celle-ci à conduire un courant électrique. Cette eau est déterminée par plusieurs facteurs tels que la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau. La minéralisation de l'eau est renseignée grâce à la conductivité (Rodier et *al.*, 2009). Le principe de la conductivité est simple c'est le passage d'un courant électrique grâce à deux électrodes en platine d'une surface de 1 cm^2 et séparée par une distance de 1 cm. Elle est exprimée en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Ghazali et *al.*, 2013). Elle est mesurée à $20 \text{ }^\circ\text{C}$. La qualité de l'eau peut être classée selon sa conductivité d'une eau excellente à une eau de minéralisation excessive (tableau V).

Tableau V: Qualité de l'eau en fonction de la conductivité (Touhari, 2015).

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Qualité de l'eau
50 à 400	Excellente
400 à 750	Bonne qualité
750 à 1500	Médiocre mais eau utilisable
> à 1500	Minéralisation excessive

d) Résidus sec

Les résidus secs est la teneur de l'eau en minéraux. L'évaluation de la teneur en matières dissoutes et en suspension, non volatiles est déterminée grâce aux résidus secs de l'eau obtenue après une évaporation (Rodier, 2005). La potabilité des eaux en fonction des résidus secs recommandée par l'OMS est de 1000 mg/L, quand elle est extraite à 180 °C. la potabilité de l'eau peut être classée en fonction de la présence des résidus sec dans l'eau (tableau VI).

Tableau VI: Potabilité de l'eau en fonction des résidus sec (Rodier,2005).

Résidu sec (mg/L)	Potabilité
RS < 500	Bonne
500 < RS < 1000	Passable
3000 < RS < 4000	Mauvaise

3.2. Paramètres chimiques

Les paramètres chimiques sont l'ensemble des substances chimiques qui composent la qualité de l'eau. Parmi ces paramètres, on peut citer les paramètres de minéralisations, les paramètres indésirables, les paramètres ioniques et les paramètres de pollutions. Leurs présences peuvent être tolérées mais doivent être impérativement inférieures aux normes prescrits.

a) Titre hydrotimétrique ou dureté

Le titre hydrotimétrique (TH), connu aussi sous le nom de la dureté de l'eau, est un indicateur de la minéralisation de l'eau (Lefevre et *al.*, 2020). La dureté est la somme des concentrations du calcium et du magnésium (Rodier et *al.*, 2009). Elle est exprimée avec cette relation:

$$\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$$

La dureté a plusieurs types qui dépendent de son analyse et le but de cette analyse.

- La dureté totale est la somme des concentrations calciques et magnésiennes.
- La dureté calcique correspond à la teneur globale en calcium.
- La dureté magnésienne correspond à la teneur globale en magnésium.
- La dureté carbonatée correspond à la teneur en hydrogénocarbonate et carbonate de calcium et de magnésium.

Elle peut être exprimée en mg/L en CaCO₃ ou en degré français (°f) (Lefevre et *al.*, 2020).

1 °f = 4 mg/L de calcium ou 2,4 mg/L de magnésium ou encore 10 mg/L de CaCO₃ (UAE, 2013). Une eau trop douce est corrosive s'attaque aux canalisations mais contribue à la dégradation de la qualité de l'eau (Touhari, 2015).

Les eaux peuvent être classées selon leur dureté (tableau VII).

Tableau VII: Classification des types d'eau selon la dureté totale (Lefevre et *al.*, 2020).

Dureté (°f)	Spécificité de l'eau
00 < Dureté < 07	Eau très douce
07 < Dureté < 15	Eau douce
15 < Dureté < 30	Eau plutôt dure
30 < Dureté < 40	Eau dure
Dureté > 40	Eau très dure

b) Alcalinité (TA et TAC)

L'alcalinité est totalement l'inverse de l'acidité, elle correspond à la présence des substances basiques et des sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité correspond à la présence des hydrogénocarbonates, carbonates, et hydroxydes (Rodier et *al.*, 2009).

Pour la mesure de l'acidité, on peut distinguer deux titres alcalimétriques qui sont le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC).

L'unité est exprimée en degré français (°f) et peut être convertie (mg/L en CaCO₃).

1 °f = 10 mg/L de CaCO₃ (Rodier et *al.*, 2009).

○ **Titre alcalimétrique (TA)**

Exprime la teneur en carbonate, correspond à la somme des concentrations des ions carbonates (CO₃²⁻) et les ions hydroxydes (OH⁻) (Rodier et *al.*, 2009).

$$TA = [OH^-] + \frac{1}{2} [CO_3^{2-}].$$

○ **Titre alcalimétrique complet (TAC)**

Ce paramètre nous donne les informations sur l'alcalinité de l'eau. Il permet la mesure d'hydroxyde (OH), carbonate (CO₃²⁻) et de bicarbonate (HCO₃⁻) de l'eau (Lefevre et *al.*, 2020). Le TAC est la somme des ions basiques (Rodier et *al.*, 2009).

$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^{2-}]$$

c) Les sels minéraux

La qualité des sels minéraux des eaux souterraines dépend de la qualité de la terre ou de la qualité des roches où elle circule ou elle stagne qui peut être granitique ou calcaireux et provoque un changement de la qualité de l'eau.

○ Calcium (Ca^{2+})

Le calcium est un minéral présent en grande quantités dans le corps humain, une grande quantité de calcium est présente dans notre métabolisme entre 1 à 1,2 kg et la majorité est située dans les os. C'est une protection de la perte osseuse (Sahni et *al.*, 2015).

C'est la molécule principale de la dureté de l'eau potable. Elle est exprimée en CaCO_3 (Lefevre et *al.*, 2020). Une eau avec une concentration élevée en Ca^{2+} devient une eau dure est incrustante qui peut provoquer la formation de tartre dans les conduites de distributions.

En hiver, l'eau de source brute peut avoir une concentration de calcium de 120 mg/L et une eau traitée une concentration de 42 mg/L. En été la concentration d'une eau brute est de 110 mg/L et d'une eau traitée est de 105 mg/L (ADE, 2021). Cette variation est causée par le changement climatique et les précipitations. La limite est fixée à 200 mg/L.

○ Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est un minéral essentiel pour la santé humaine, il est impliqué dans l'activation des systèmes enzymatiques dans l'organisme. On possède environ 25 grammes dont la moitié ou un peu plus est localisée dans l'os (Martin, 2001). Classé principalement dans la dureté de l'eau, le taux maximum de la concentration du magnésium est fixé à 50 mg/L. Une eau brute peut dépasser cette limite mais après le traitement il ya une diminution de ce taux (ADE, 2021).

○ Ammonium (NH_4^+)

L'azote réduit soluble dans l'eau se trouve sous deux formes ammonium (NH_4^+) ou ammoniacque (NH_3) (Gaujour, 1995). C'est la forme ammoniacque non ionisée qui est toxique qui dépend du pH et de la température (Rodier et *al.*, 1996). Il est considéré comme un paramètre de pollution et doit être éliminé car il peut permettre la prolifération des bactéries dans les réseaux de distribution (Desjardins, 1997). L'ammonium est classé parmi les paramètres de pollution, dans les eaux souterraines non contaminées, l'ammonium est quasi introuvable, son taux est limité à 0,5 mg/L (ADE, 2021).

○ Chlorures (Cl^-)

Les sels du chlore sont très solubles dans l'eau, et peuvent être présents sous la formes de chlorure de sodium (NaCl), chlorure de potassium (KCl) et chlorure de calcium (CaCl_2). Ils sont très fréquents dans les réserves d'eau douce (Atallah, 2014). La teneur en Cl^- des eaux naturelles est inférieure à 50 mg/L mais peut atteindre des valeurs plus importantes au contact de certaines formations géologiques (Potelon et Zysman, 1998 ; Meghzili, 2003).

Si la concentration dépasse les 250 mg/L l'eau obtient une saveur désagréable surtout lorsqu'il s'agit du (NaCl) (Rodier, 2005). La valeur limite des chlorures est fixée à 500 mg/L (ADE, 2021).

- **Hydrogénocarbonates (HCO_3^-)**

C'est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Son origine provient du CO_2 dégagé par les bactéries à partir des minéraux contenant des carbonates (Himmi et al., 2003). Il est responsable de l'alcalinité de l'eau mais aussi de l'équilibre calcocarbonique qui permet de classer les eaux (Lefevre et al., 2020). Le dosage des carbonates totaux peut être réalisé par la détermination des TAC et TA (Rodier et al., 2009).

- **Phosphates (PO_4^{3-})**

Les phosphates sont principalement responsables de l'accélération du phénomène d'eutrophisation dans les eaux de surfaces. Ils sont considérés comme indice de contamination fécale, et entraînent une prolifération des germes s'ils dépassent la norme. Ils ont une influence sur le goût et la coloration (Rodier et Ouddane, 2005). Ils peuvent aussi indiquer une contamination ou infiltration d'une eau de surface par des engrais. Les eaux souterraines ne sont pas influencées et montrent des teneurs en phosphate inférieures à 0,01 mg/L (C.I.E, 2005).

- **Nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-)**

Les nitrites (NO_2^-) sont classés dans les paramètres de pollution et les nitrates (NO_3^-) sont classés parmi les paramètres de minéralisation (ADE, 2021). NO_2^- et NO_3^- sont des ions naturellement présents dans l'environnement, leur origine revient à la nitrification de l'ion ammonium (NH_4^+) qui est présent dans le sol et l'eau. Il est oxydé en nitrites par des bactéries du genre *Nitrosomonas* puis en nitrates par des bactéries du genre *Nitrobacter* (Santé Canada, 2013). Les nitrites sont formés par dégradation de la matière azotée mais ce n'est pas une forme stable donc ils sont rapidement transformés en nitrates dans les sources d'eau potable (Lepeltie, 2005). Les nitrates constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique, ils sont solubles dans l'eau (Potelon et Zysman, 1998).

Les nitrates ont une valeur maximale de 50 mg/L mais ils sont quasi introuvables dans l'eau de source et la valeur limite des nitrites est de 0,2 mg/L qui sont absents dans l'eau de source (ADE, 2021).

4. Equilibre calcocarbonique

L'équilibre calcocarbonique, est l'état d'équilibre chimique, dans lequel les concentrations en dioxyde de carbone (CO_2), hydrogénocarbonate (HCO_3^-) et carbonate (CO_3^{2-}) ne varient pas en présence des carbonates de calciums (CaCO_3) (Lefevre et al., 2020). Grâce à cet équilibre, on peut classer l'eau en trois types : l'eau agressive, l'eau incrustante et l'eau équilibrée. Cette équilibre ne peut pas être mesuré directement mais il doit être calculé, et le résultat de ces calculs nous permettent de classer les eaux selon leur catégorie, le niveau réglementaire recherché est l'eau légèrement incrustante (Lefevre et al., 2020). On peut calculer ce phénomène par la formule de Larson et aussi grâce à l'indice de Langelier.

Une eau souterraine (potentiellement riche en CO_2) mise en contact avec le CaCO_3 (roche) va dissoudre celui-ci jusqu'à atteindre l'état d'équilibre calcocarbonique. La recherche sur ce phénomène peut empêcher l'eau d'affecter les canalisations (Hissel et Salengros, 2002). L'équilibre calcocarbonique dépend de plusieurs paramètres tel que: pH, température, CO_2 (libre et équilibrant) et des ions.

4.1 Agressivité et incrustation d'une eau

Une eau corrosive a tendance à s'attaquer et à oxyder les métaux (canalisation) elle attaque et solubilise les roches calcaires elle est dite une eau agressive. Dans les eaux naturelles, l'acidité est due essentiellement au CO_2 libre donc les eaux agressives sont donc riches en CO_2 libre. Si l'eau est incrustante elle aura tendance à précipiter des ions sur les matériaux en contact (Lefevre, 2020).

La formation du tartre dans les canalisations qui peut provoquer un blocage de ses canaux, cette eau est dite incrustante. Ce précipité qui est appelé couche de Tillmans joue un rôle protecteur des parties métalliques vis-à-vis de l'eau (Degremont, 2005). Il existe un pH qui est dit pH de saturation (pHs). C'est le pH d'équilibre calcocarbonique ; il s'agit de la précipitation des ions calcium et bicarbonate sous forme de carbonate de calcium (Degremont, 2005). Selon Lefevre de nombreux cations et anions participent à cet équilibre (tableau VIII).

Tableau VIII: Principaux ions dans la réaction d'équilibre (Lefevre, 2020).

Cations	Anions
Hydronium (H^+)	Hydroxyle (OH^-)
Calcium (Ca^{2+})	Carbonate (CO_3^{2-})
Magnésium (Mg^{2+})	Hydrogénocarbonate (HCO_3^-)

4.2 pH de saturation

Le pH pour lequel l'eau n'est ni saturée ni sous-saturée en CaCO_3 est appelé le pH de saturation (pHs). A cette valeur l'eau n'est ni agressive, ni incrustante.

- Si le $\text{pH} > \text{pHs}$, les eaux ont tendance à déposer du CaCO_3 elles sont dites entartrantes (incrustantes).
- Si le $\text{pH} < \text{pHs}$, les eaux ont tendance à dissoudre du carbonate de calcium, elles sont dites agressives (Degremont, 1995).
- Si le $\text{pH} = \text{pHs}$, les eaux sont à l'équilibre (neutres).

L'équilibre calcocarbonique dépend de plusieurs paramètres (figure 3).

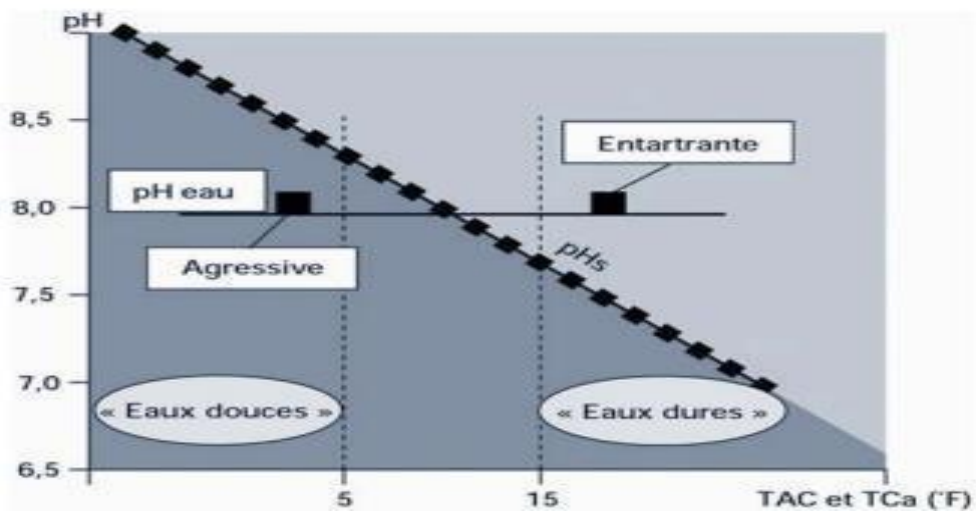


Figure 3: Schéma de l'équilibre calcocarbonique en fonction du pH et du TAC (Lefevre, 2020)

4.3 Calcule du pHs

a) Détermination du pH et l'indice de saturation selon Larson

Le pHs peut être calculé selon la formule de Larson et Buswell (figure 4).

VALEUR DE A facteur de totalité des sels dissous en ppm	
TDS en ppm	A
85 à 425	0.1
425 à 10 000	0.2

VALEUR DE B facteur de température		VALEUR DE C facteur de dureté du calcium		VALEUR DE D facteur de l'alcalinité totale	
°C	B	TH en °f	C	TAC en °f	D
0 à 1	2,6	1 à 1,1	0,6	1 à 1,1	1,0
2 à 5,5	2,5	1,2 à 1,3	0,7	1,2 à 1,3	1,1
6,5 à 9	2,4	1,4 à 1,7	0,8	1,4 à 1,7	1,2
10 à 13,5	2,3	1,8 à 2,2	0,9	1,8 à 2,2	1,3
14,5 à 16,5	2,2	2,3 à 2,7	1	2,3 à 2,7	1,4
17,5 à 21	2,1	2,8 à 3,4	1,1	2,8 à 3,5	1,5
22 à 26,5	2	3,5 à 4,3	1,2	3,5 à 4,4	1,6
27,5 à 31	1,9	4,4 à 5,5	1,3	4,5 à 5,5	1,7
32 à 36,5	1,8	5,6 à 6,9	1,4	5,6 à 6,9	1,8
37,5 à 43,5	1,7	7,0 à 8,7	1,5	7 à 8,8	1,9
44,5 à 50	1,6	8,8 à 11	1,6	8,9 à 11	2
51 à 56	1,5	11,1 à 13,8	1,7	11,1 à 13,9	2,1
56,5 à 63,5	1,4	13,9 à 17,4	1,8	14 à 17,6	2,2
64,5 à 71	1,3	17,5 à 22	1,9	17,7 à 22,2	2,3
72 à 81	1,2	23 à 27	2	23 à 27	2,4
82 à 89	1,1	28 à 34	2,1	28 à 35	2,5
90 à 96	1	35 à 43	2,2	36 à 44	2,6
96 à 100	0,9	44 à 55	2,3	45 à 55	2,7
		56 à 69	2,4	56 à 69	2,8
		70 à 87	2,5	70 à 88	2,9
		88 à 100	2,6	89 à 100	3

Figure 4: Détermination du pHs selon le tableau de Larson (Larson, 1942).

$$pH_s = 9,3 + A + B - (C + D)$$

A = Facteur de T.D.S (totalité des sels dissous)

B = Facteur de température

C = facteur de dureté du calcium exprimé en °f

D = Facteur d'alcalinité totale (au méthylorange) TAC exprimé en °f.

Une fois le pHs calculé, on pourra calculer l'indice de saturation selon Larson:

$$SI = \text{pH réel} - \text{pHs}$$

Le pH réel est celui de l'eau.

- **Indice de saturation (SI)**

- Quand $SI < 0$, l'eau est agressive. Quand $SI > 0$, l'eau est incrustante.

b) Détermination du pH et l'indice de saturation selon Langelier

Le pHs d'une eau peut être déterminé graphiquement à l'aide du monogramme de Hoover (figure 5).

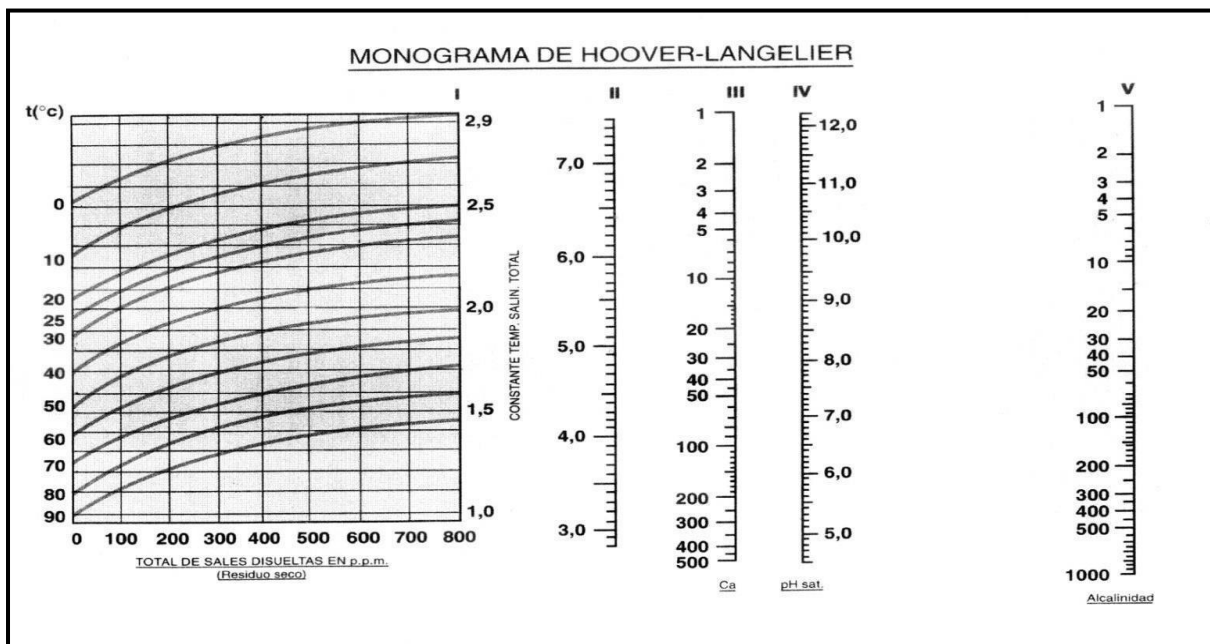


Figure 5: Monogramme de Hoover et Langelier pour déterminer le pH (practical application of the Langelier method)

La salinité et la température définissent un point A. le point pivot B est défini en joignant A au point C représentant la dureté calcique en degré français. Le pHs est ensuite définie par la ligne droite joignant B à l'alcalinité E qui est donné en degré français.

Une fois le pHs défini, on pourra calculer l'indice de Langelier.

$$IL = \text{pH eau} - \text{pHs}$$

- **Indice de Langelier**

- Si $IL < 0$, l'eau est agressive vis-à-vis du carbonate de calcium, et empêche donc toute formation d'une couche (couche de Tillmans).
- Si $IL > 0$, l'eau est incrustante (entartant).

- c) **Indice de Ryznar**

L'indice de stabilité de Ryznar est défini avec cette formule:

$$IR = 2\text{pHs} - \text{pH}$$

Il permet de définir la tendance d'une eau à être agressive ou entartant, et cela exprimé avec un tableau qui donne la relation entre l'indice de stabilité et la tendance incrustante ou corrosive de l'eau (tableau IX).

Tableau IX: Relation entre l'indice de stabilité et la tendance de l'eau (Ryznar, 1944).

Indice de Ryznar (IR)	Tendance de l'eau
4 à 5	Entartrage important
5 à 6	Entartrage faible
6 à 7	Equilibré
7 à 7,5	Légère corrosivité
7,5 à 8,5	Corrosivité notable
> 8,5	Corrosivité importante

5. Correction du pH

On fait face à deux types de problèmes: la correction d'une eau agressive ou d'une eau incrustante. La correction d'une eau agressive s'effectue par addition de chaux (Ca(OH)_2) ou de la soude Na_2CO_3 (ADE, 2021). Ce procédé permet de réduire la dureté carbonatée et non carbonatée de l'eau (Mellah, 2019). Pour corriger une eau incrustante, on procède par injection de CO_2 ou même d'un acide fort dilué comme l'acide sulfurique ($\text{H}_2\text{SO}_4^{2-}$).

La quantité de réactif à ajouter doit être trouvée par essais successifs ; il faut déterminer le nouveau pHs entre deux essais. En effet, le pHs varie selon le contenu de l'eau (teneur en calcium, alcalinité, force ionique). Le simple fait d'ajouter un produit chimique correctif amène un changement du pH de saturation. (ADE, 2021).

6. Paramètres bactériologiques

Les paramètres bactériologiques sont l'étude de la contamination de l'eau par les microorganismes. La contamination d'une eau de distribution par les microorganismes peut

provoquer des maladies, elle devient ainsi une eau non potable.

Le but d'une étude bactériologique n'est pas de faire un inventaire des microorganismes mais de chercher des espèces qui sont dues à une contamination extérieure. La recherche et le dénombrement des bactéries indicatrices de la contamination fécale (Ghazali et Zaid, 2013), telles que les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux et les *Clostridium perfringens* sont effectués.

a) Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux ou coliformes thermo-tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux (Elmund et *al.*, 1999 ; Santé Canada, 2013 ; Edberg et *al.*, 2000). Les coliformes sont des bacilles à Gram négatif, aérobies ou anaérobies facultatifs, non sporulés, ne possédant pas d'oxydase, capables de se multiplier en présence de sels biliaires et capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36 à 37 °C (ADE, 2021). L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est *Escherichia coli*.

Les coliformes thermo-tolérants ont les mêmes propriétés que les coliformes mais à 42 ± 2 °C et les *E. coli* sont des coliformes thermo-tolérants ayant la particularité de produire de l'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu à 42 ± 2 °C (ADE, 2021).

b) Streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux sont des cocci Gram positifs, formant des chainettes en milieu de culture liquide, catalase négative, capables d'hydrolyser l'esculine et de se cultiver à 44 °C. Les espèces appartenant au groupe des streptocoques fécaux englobent le genre *Enterococcus* et les streptocoques du groupe antigénique D. Le genre *Enterococcus* comprend plusieurs espèces, qu'on retrouve souvent dans le tractus gastro-intestinal des humains et de plusieurs animaux. L'origine des streptocoques du groupe D sont les déjections animales, les streptocoques sont présents dans les intestins de l'homme et des animaux à sang chaud et sont considérés comme hôte normaux. Leur recherche associée à celle des coliformes fécaux constitue un bon indice de contamination fécale. Les coliformes fécaux témoignent d'une contamination d'origine fécale récente alors que la contamination d'origine fécale ancienne est due aux streptocoques fécaux (Afnor, 1994).

c) Microorganismes revivifiables à 22°C et à 37°C

C'est l'ensemble des microorganismes (bactéries, levures et moisissures) qui se développent en aérobiose à 22 °C et à 37 °. L'étude des bactéries revivifiables est une méthode sensible, et la durée de l'incubation est de 3 jours. Une série de boîtes sont incubées à 37 °C et une autre série à 22 °C (Dupeyron, 2005).

d) Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices

Les bactéries anaérobies sulfito-réductrices (BASR) ou les spores anaérobies sulfito-réductrices (SASR), sont un groupe de bactéries se développant uniquement en absence d'oxygène et qui possèdent des caractéristiques biochimiques particulières, comme la production de sulfure d'hydrogène (Rodier et *al.*, 2009).

Les BASR et SASR sont considérées comme un témoin de la qualité de filtration et/ou marqueur d'une contamination fécale, leur origine revient au sol et à la terre mais aussi à l'intestin humain ou animal (Rodier et *al.*, 2009). Les principales bactéries retrouvées sont: *Clostridium perfringens* mais également le groupe des *Clostridium botulinum* et d'autres germes tels que *Bacillus* et streptocoques sont capables de réduire les sulfites. Les *Clostridium* sont des germes pathogènes rencontrés en hygiène alimentaire (Sutra et *al.*, 1998).

e) *Clostridium*

C'est des bactéries à Gram positifs peut sporuler, anaérobies stricts mais on trouve certaine qui tolère la présence d'oxygène comme *C. perfringens*. Elles sont isolées ou en chaînettes mobiles grâce à des flagelles péri-triches, catalase positif, réduisent le sulfite de sodium en sulfure. La forme sporulée permet une résistance plus élevée que les formes végétatives (Bourgeois et Mescle, 1996).

o *Clostridium perfringens*

Bactérie de forme bacilles larges de 1 à 1,5 µm de diamètre à Gram positif, immobiles, elle produit des spores et possède un métabolisme anaérobie strict mais peut tolérer la présence d'oxygène, réduit les sulfites et elle est glucidolytique et protéolytique (acidification des sucres: glucose, lactose et maltose). *C. perfringens* est un agent de toxi-infections alimentaires, sporule rarement dans les milieux usuels de culture, elle sporule dans des milieux spécifiques et aussi dans un milieu naturel (intestin, sol) (Anses, 2019).

7. Maladies à transmission hydrique

L'eau est la première cause des maladies et de mortalité de façon directe ou induite dans le monde (Revue de presse thématique N° 27, 2003). La pollution de l'eau est de plus en plus aggravée par diverses pollutions, que ça soit agricoles, industrielles ou domestiques. Les maladies fécales sont causées par des excréments humains ou celles des animaux après avoir contaminé l'eau, qui sont provoquées par des bactéries et virus (Aubry et Gauzere, 2012 ; Monjou et Helmer, 1997). Selon l'OMS, pas moins de deux millions de morts causées par les MTH et de grand nombre sont constitués d'enfants (OMS, 2007).

8. Origines des maladies à transmission hydrique

Les MTH peuvent avoir plusieurs origines et un large éventail de manifestations pathologiques qui peut être d'origine bactériennes, virales, fongiques et parasitaires. Dont l'élément commun est le mode de contamination de l'eau (Kreisel, 1991; Bazine et Bournane, 2011). Les maladies et leurs agents sont représentés dans le tableau X.

Tableau X: Principales maladies d'origine hydriques et leurs agents responsables (Bazine et Bournane, 2011).

Maladie	Agent
<p>Origine bactérienne</p> <p>La typhoïde et la paratyphoïde</p> <p>La dysenterie bacillaire</p> <p>Le choléra</p> <p>La gastro-entérite aigue et la diarrhée</p>	<p><i>Salmonella typhi, Salmonella paratyphi A et B</i></p> <p><i>Shigella sp.</i></p> <p><i>Vibrio cholerae</i></p> <p><i>Esherichia coli</i> entérotoxique, <i>Amylobacter, Yersinia enterocolitica, Salmonella sp. Shigella sp.</i></p>
<p>Origine fongique</p> <p>Candidose</p> <p>Dermatophytose</p>	<p><i>Candida albicans</i></p> <p><i>Epidermo-phyton, Microsporium, Trichophyton</i></p>
<p>Origine viral</p> <p>L'hépatite A et E</p> <p>La poliomyélite</p> <p>La gastro-entérite aigue et chronique</p>	<p>Virus de l'hépatite A et E</p> <p>Virus de la Poliomyélite</p> <p>Virus de Norwalk, Rotavirus, Entérovirus, Adénovirus</p>
<p>Origine parasitaire</p> <p>Dysenterie amibienne</p> <p>Giardiase</p>	<p><i>Entamoeba hystolytica</i></p> <p><i>Giardia lamblia</i></p>

- Voie de transmission

Les MTH, se transmettent principalement par ingestion de l'eau contaminée mais aussi par le biais de mains sales portées à la bouche. Elles peuvent être transmises par les aliments ou par un objet lavé avec cette eau contaminée ou une main déjà contaminée par l'eau, c'est une transmission indirecte (Delmont, 2016). Les différentes voies de transmission jusqu'à l'hôte réceptif sont représentées dans la figure 6.

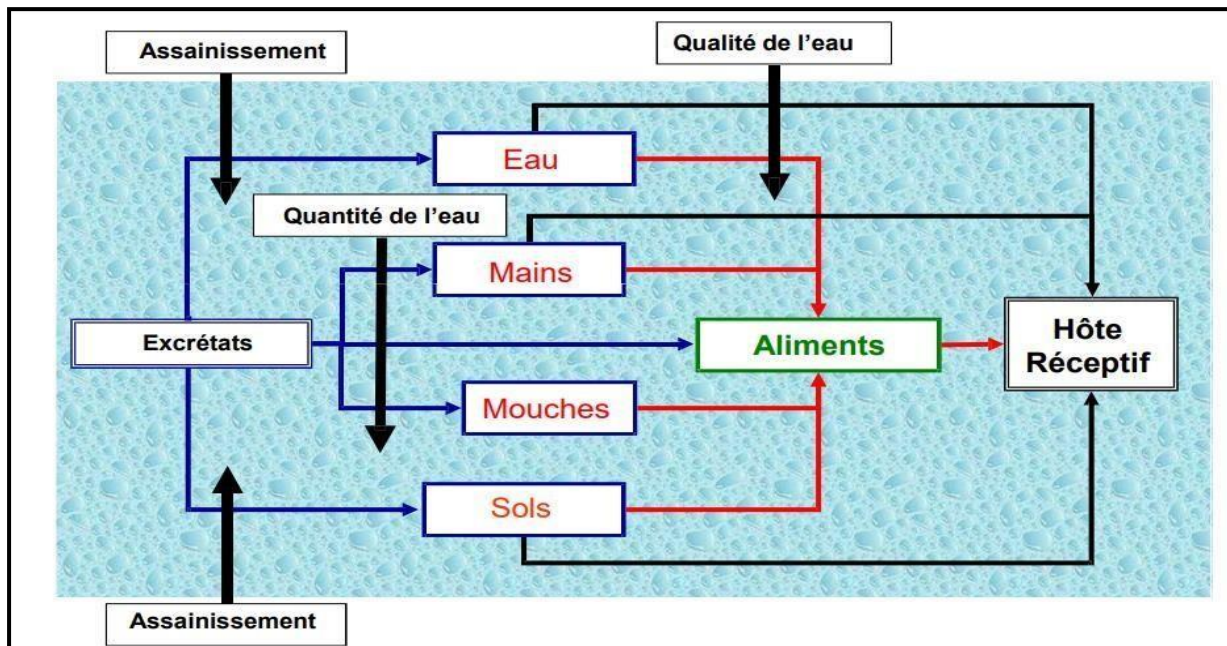


Figure 6: Schéma représentatif des voies de contamination (Delmont, 2016).

8.1. Maladies d'origine bactérienne

Il existe un bon nombre de bactéries qui sont capables de survivre dans l'eau, et la consommation de cette eau peut provoquer des infections chez l'homme.

a) Choléra

Le choléra est d'origine bactérienne, due à un bacille à Gram négatif qui appartient à la famille des *Vibrionaceae* et au genre du *Vibrio*. L'agent pathogène du choléra est le *Vibrio cholerae* (Ayad, 2017). Cet agent en forme de virgule est naturellement dans l'environnement aquatique. Il colonise le système digestif humain après ingestion, et une fois dans l'intestin il se multiplie et émet une toxine très virulente qui provoque une perte d'eau au niveau du système digestif, causant des vomissements et des diarrhées pouvant aller jusqu'à 15 litre par jour (Harris et al., 2012).

b) Fièvre typhoïde et paratyphoïde

La fièvre typhoïde ou paratyphoïde est une maladie à transmission oro-fécale par ingestion d'eau ou d'aliments contaminés (Essayagh et al., 2020). Elle est causée par une bactérie de la famille des *Enterobacteriaceae*, du genre *Salmonella* dont les espèces responsables sont *Salmonella enterica*, *Salmonella typhi* ou *Salmonella paratyphi A, B et C*

(Ayad, 2017). Le réservoir est strictement humain et la contamination se fait par l'intermédiaire des selles des malades ou des porteurs sains (Essayagh et *al.*, 2020). Elle peut envahir les tissus de l'hôte à partir de l'intestin et provoquer une septicémie accompagnée de fièvre élevée (Baziz, 2008).

La maladie provoque une fièvre élevée et prolongée de 39-40°C, des malaises, une anorexie, des céphalées, une constipation ou une diarrhée, des taches roses sur la poitrine ainsi qu'une splénomégalie. Ces symptômes apparaissent généralement une ou deux semaines après pénétration du germe et peuvent durer plusieurs semaines (Essayagh et *al.*, 2020).

c) Dysenterie bacillaire

La dysenterie bacillaire est une maladie intestinale aiguë, plusieurs genres de bactéries pathogènes sont en cause on cite: les *Shigella*, *Salmonella*, *Campylobacter*, *Yersinia enterocolitica* et certaines souches de *Escherichia coli* (Mbuyi et *al.*, 2021). La forme épidémique causée par les *Shigella* qui sont les plus importantes, et l'espèce la plus mise en cause est *Shigella dysenteriae* de type 1 (*S. dysenteriae 1*) ou le bacille de Shiga. Cette maladie se manifeste avec des symptômes qui sont des diarrhées fréquentes souvent sanglantes accompagnées de mucus ou de pus avec douleurs abdominales et parfois de la fièvre. C'est la forme classique de la maladie (Aubry, 2013).

d) Gastro-entérite aiguë et diarrhée

Une gastro-entérite est une infection inflammatoire du système digestif qui touche les muqueuses présentes dans l'estomac et l'intestin. La gastro-entérite bactérienne est généralement transmise par l'eau ou par les aliments souillés et causée par des *Salmonella*, *Staphylococcus* et des *Shigella* (Ayad, 2017). La plupart appartiennent à une grande famille des bactéries Gram négatif, les *Enterobacteriaceae*, ainsi qu'à quelques bactéries pathogènes (Schaechter et *al.*, 1999).

La maladie se manifeste essentiellement par des symptômes qui sont: nausées, vomissements, des crampes abdominales, des flatulences et de la diarrhée ainsi que la déshydratation (Ayad, 2017). Dans 80% des cas, *Escherichia coli* entérotoxigène entraîne une diarrhée sécrétoire pure (Pateron et *al.*, 2019).

Chapitre 03

Traitements des eaux par la biotechnologie

1. Introduction

Le développement économique à un impact sur l'environnement, l'homme est de plus en plus responsable de cette pollution. Les industries sont à l'origine de l'augmentation des substances toxiques qui sont totalement étrangères au monde du vivant dites xénobiotiques (Abdelly, 2007).

La bioremédiation est une branche des biotechnologies qui utilise des mécanismes biologiques naturels ou détournés pour traiter des problèmes environnementaux. Certains de ces pollutions qui ont contaminés les sols et proviennent des décharges, des installations industrielles (Vavasseur, 2014). L'utilisation des agents biologiques nous permettent de réduire le taux des composés toxiques sans avoir recours aux produits chimiques qui peuvent contaminer les sols ou les eaux souterraines, parmi ces agents on peut utiliser de simples molécules organiques comme de l'ADN ou des anticorps, ou bien des organismes vivants ou morts (bactéries, microalgues, champignons, algues et plantes supérieures).

La phytoremédiation consiste plus spécifiquement à utiliser des plantes pour dépolluer les sols, les eaux ou de l'air atmosphérique pollué (Vavasseur, 2014).

2. Présentation des technologies existantes

L'intervention des êtres vivants des bactéries ou des plantes, nous permet de compléter l'approche mécanique et physico-chimique c'est ce qu'on appelle la bioremédiation. Par rapport aux techniques physico-chimiques, la bioremédiation est pratiquée « in situ » avec un impact moindre sur l'environnement. Cette technologie a connu une très grande homologation de la part du public sous le nom de « technologie verte » (Vavasseur, 2014).

Dans cette technologie on peut citer plusieurs techniques (figure 7).

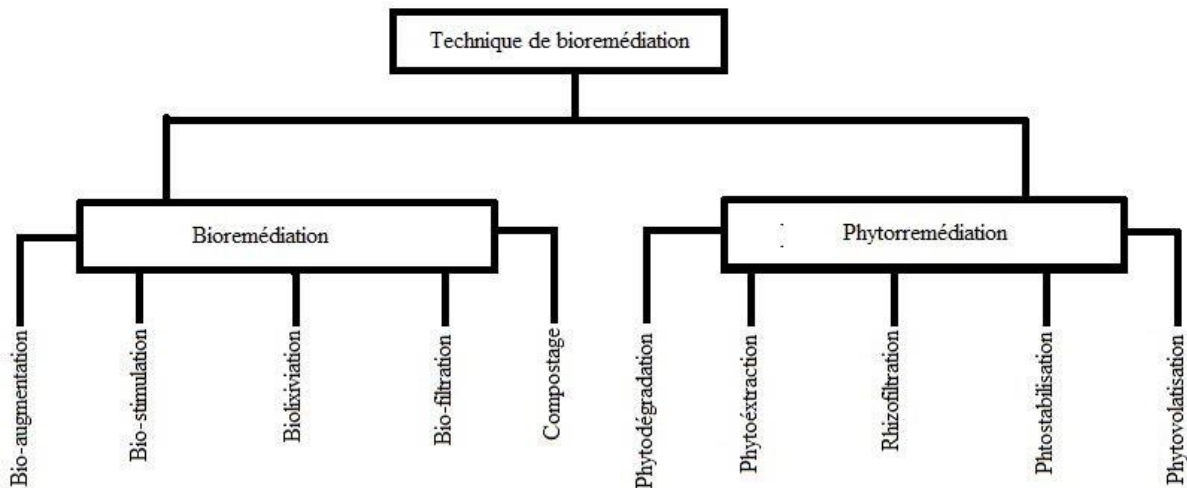


Figure 7: Schéma représentatif des techniques de biodégradation

3. Bioremédiation par les microorganismes

L'utilisation des microorganismes dans le traitement des eaux usées et des composts connus depuis environ un siècle. La bioremédiation est une technologie qui nous permet de dépolluer ou rendre moins toxiques les polluants grâce aux activités biologiques naturelles (Abdelly, 2007). L'intervention des êtres vivants permet la réduction du coût généralement de 10 à 100 fois inférieur aux techniques physico-chimiques et mécaniques. Grâce à la possibilité de traiter de larges espaces faiblement contaminés sans dégrader les caractéristiques de l'environnement (Vavasseur, 2014).

La destruction des composés xénobiotiques au lieu de son accumulation dans les décharges a vu un développement de nouvelles technologies. L'utilisation de ce procédé microbiologique pour nettoyer les sols, les eaux souterraines, les effluents, les estuaires, etc. (Abdelly, 2007).

Les sites peuvent être contaminés par un mélange de composés organiques très complexes comme par exemple les huiles minérales ou les solvants industriels et aussi les polluants inorganiques comme les métaux lourds. Chaque milieu contaminé a ses propres systèmes de dépollution et de dégradation en raison de la nature du polluant et du contaminant (Abdelly, 2007).

4. Principe de la bioremédiation

La restauration des sols et des eaux à leur état d'origine de façon respectueuse à l'environnement est possible grâce à la bioremédiation. Ce traitement se fait par des microorganismes soit indigènes à la zone contaminée ou peuvent être exogènes isolés de l'extérieur et portés au site contaminé (Speight et Arjoon, 2012). Sous l'activité enzymatique de ces microorganismes, la biodégradation des substances toxiques vers des substances non toxiques ou moins toxiques. En se transformant en métabolites plus petits et finalement, en dioxyde de carbone (CO_2) et en eau (H_2O) (Başagaoglu et al., 2003). Les principales techniques utilisées dans la bioremédiation sont les suivantes:

4.1 Bio-augmentation

Consiste à introduire des cultures de microorganismes qui sont choisis par rapport au milieu a décontaminé. Ce processus a pour objectif d'augmenté la biodégradation des contaminants organique. La culture peut prendre une ou plusieurs espèces de microorganismes. Elles peuvent être apportées à la surface du sol dans les conditions naturelles ou injecter dans le milieu contaminé sous pression. Techniques largement utilisé pour la décontamination des milieux contaminés par les hydrocarbures (Abdelly, 2007; Alvarez, 2008).

4.2 Bio-stimulation

Consiste à stimuler l'activité de la flore bactérienne indigène qui se retrouve déjà dans le milieu par apport de nutriment ((NH₄)₂SO₄, K₂HPO₄) et par ajustement des conditions du milieu (Abdelly, 2007).

4.3 Biolixiviation

Lixiviation signifie l'extraction de produits solubles par un solvant. La biolixiviation c'est la lixiviation par une voie biologique (bactérienne). C'est une méthode de solubilisation des métaux lourds par des bactéries acidophiles aérobies ou anaérobies (Abdelly, 2007). Deux facteurs sont importants dans la biolixiviation: (i) Une température entre 25 et 35°C, (ii) La taille des particules proches de celle des bactéries.

4.4 Bio-filtration

Inspirée des filtres de production d'eau potable. La combinaison des techniques physiques et biologiques par l'utilisation d'un filtre immergé qui peut être aérer ou non dépanadant du traitement recherché sur lequel sont fixées les populations bactériennes qui vont dégradées lapollution. Cette technique permet l'élimination de la pollution carbonée et le traitement complet de la pollution azotée adaptable aux conditions climatique (Rocher et *al.*, 2006). On peut citer plusieurs avantages de la bio-filtration: (i) Une faible emprise au sol, un pouvoir de compacité très utile, (ii) Une modularité qui permet l'adaptation aux débits d'eau usée de la station et (iii) Un gain de temps grâce à leur caractère intensif.

5. Microorganismes utilisés

Les microorganismes utilisés pour la bioremédiation sont majoritairement extrémophiles peuvent vivre dans des conditions extrêmes dans des températures en dessous de 0 °C ou supérieure à 50 °C, en présence ou absence d'oxygène. En raison de leur pouvoir d'adaptationet l'utilisation des polluants comme nutriments (Abdelly, 2007). Les résultats du séquençage du gène de l'ADNr 16s ont révélé la présence de nombreux genres bactériens aptes à dégrader des hydrocarbures (Morlett-Chavez et *al.*, 2010 ; Tarayre et *al.*, 2012).

On peut citer: *Acetobacter*, *Alcaligenes*, *Alcanivorax*, *Bacillus*, *Sphingomonas*, *burkholderia*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Shewanella* et *Mycobacterium*.

Dans, le cas des métaux lourds toxiques certaines bactéries peuvent précipiter et fixé ces

métaux en leur périphérie. L'utilisation des bactéries tel que *Geobacter metallireducens* qui précipitent et fixent l'uranium en leur périphérie qui est révélé aux rayons X (Cologgi et al., 2011).

On peut citer quelques bactéries aptes pour la biotransformation des métaux lourds: *Geobacter metallireducens*, *Geobacter sulfureducens*, *Shewanella oneidensis*, *Desulfotomaculum reducens* et *Thermoterrabacterium ferrireducens*.

Cette capacité n'est pas spécifique seulement pour les bactéries certains milieux contaminés contiennent de nombreux champignons, levures, ou micro-algues capable de dégrader différents polluants (Vandecasteele et Ourisson, 2005).

6. Exemples de biodégradation des eaux usées

• Dépollution des eaux usées et effluents industrielles

Les microorganismes sont utilisés dans les stations d'épuration pour le traitement des eaux usées et pour la dégradation des différents polluants qui se retrouvent dans les effluents (Abdelly, 2007). Le principe du procédé des boues actives est présenté dans la figure 8.

Ils existent trois modes d'épuration pour les effluents aqueux (Djelal et al., 2008): (i) Le rejet en milieu naturel après traitement par une station d'épuration autonome (interne au site industriel), (ii) Le rejet, après généralement un prétraitement sur le site industriel, en réseau d'assainissement aboutissant à une station d'épuration collective industrielle ou bien le plus fréquemment urbaine avant rejet en milieu naturel et (iii) L'épandage des effluents liquides sur les sols agricoles.

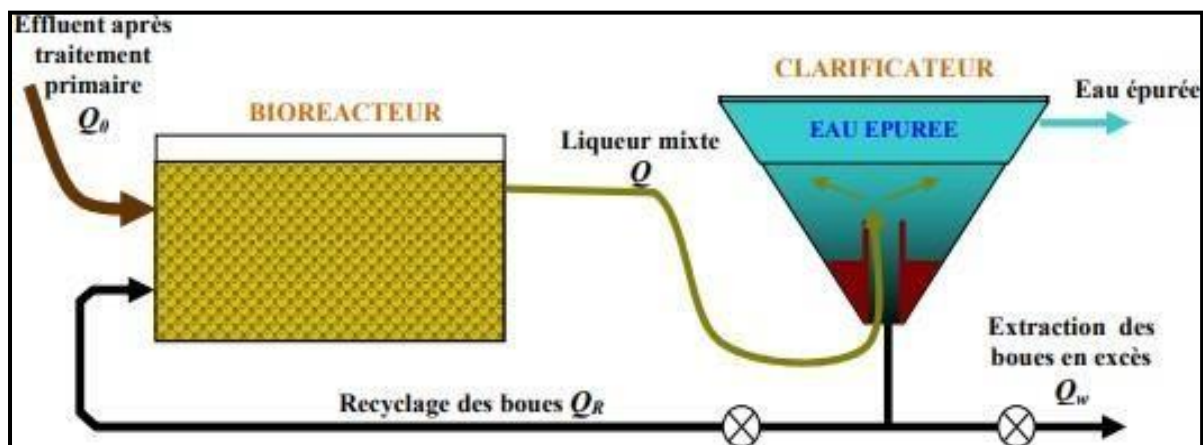


Figure 8: Schéma de principe du procédé des boues actives (Bassompierre, 2007).

Après un traitement physico-chimique qui a pour but d'extraire le maximum de matières en suspension et de matières organiques facilement décantables on enchaîne avec la méthode à « Boues activées », (Figure 9) le principe de ce procédé repose sur le passage de l'effluent dans un bioréacteur où va se mélanger l'effluent avec la biomasse (l'effluent va servir de substrat pour la biomasse), apport d'oxygène ou de nutriment si nécessaire avec une agitation permanente afin de favoriser le contact entre la biomasse et pollution. Pour augmenter l'efficacité du traitement Il faut une concentration élevée en bactéries. Puis elle passe dans un

clarificateur qui se trouve à la fin du bioréacteur ou on obtient une liqueur mixte d'eau épurée et de boues floculées. Elles sont séparées dans le clarificateur qui va libérer l'eau épurée dans le milieu naturel (Bassompierre, 2007).

6.1. Bio-filtration des eaux usées

L'utilisation de filtre pour production d'eau potable à partir des eaux usées. C'est la combinaison de procédé physico-chimique et biologique dans la station d'épuration. Après, un traitement physico-chimique où se fait l'élimination des matières en suspension et de matière organique. On utilise un matériau filtrant sur laquelle sont fixées des populations bactériennes qui vont éliminer la pollution carbonée et le traitement complet de la pollution azotée (nitrification et dénitrification) (Rocher et al., 2006). Comme présenté dans la figure 9.

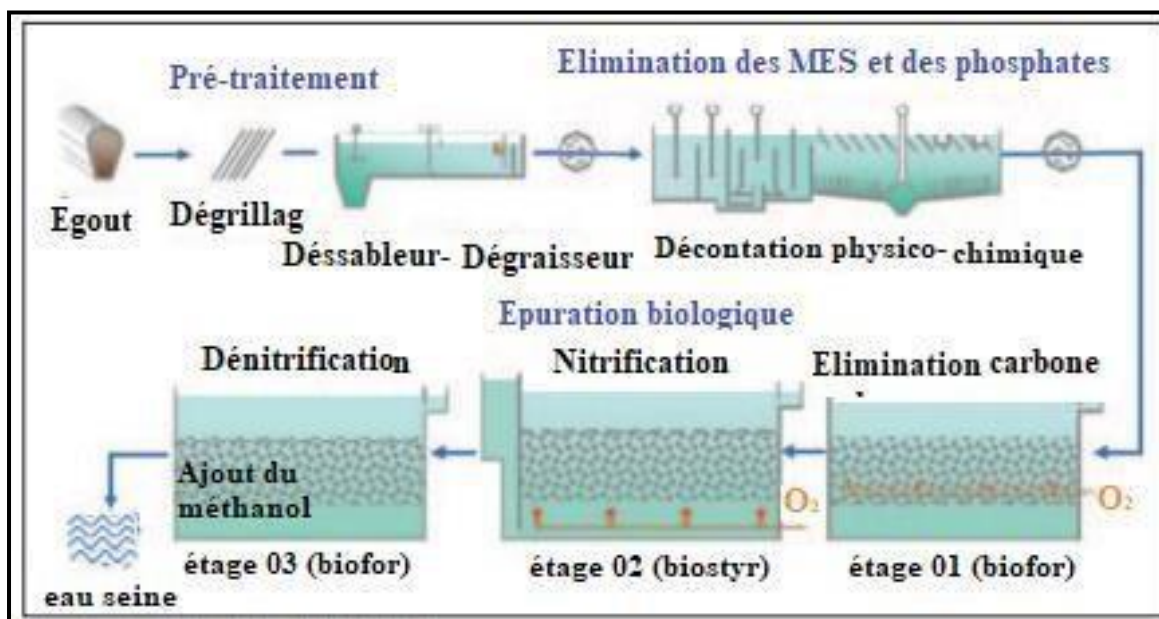


Figure 9: Schéma de filière de traitement des eaux de la station Seine-Centre du SIAAP (Gasperi et al., 2009).

6.2. Disque biologique

C'est le traitement biologique des eaux usées par cultures fixées (biomasse bactérienne) sur support grossier, ce support est constitué de disques minces verticaux en parallèle qui sont fixés sur un axe horizontal en rotation. La rotation permet de passer les disques de l'eau vers l'air ou l'inverse. Le dispositif de répartition dépend de la taille de la station qui permet l'installation des files et qui doit permettre une équi-répartition parfaite entre les files.

Les disques sont immergés dans les eaux usées sont mis en rotation et sont alimentés en continu, au fil de l'eau. La biomasse épuratrice est fixée sur l'ensemble de la surface des disques. Une fois immergée la pollution est absorbée par le biofilm, avec la rotation la biomasse se retrouve à l'air c'est là où les microorganismes captent l'oxygène et oxydent la matière organique et enchaîne avec la nitrification.

Le développement des microorganismes provoque l'épaississement du biofilm. Son frottement avec l'eau provoque le détachement des fragments de biomasse qui tombe dans les eaux épurées. Comme dernière étape de l'épuration il est nécessaire de séparer le mélange d'eaux traitées et de biomasse par un clarificateur, pour au final avoir les eaux épurées qui rejoignent le milieu récepteur et la biomasse qui est transférée vers la file de boues (Boutin et *al.*, 2016). Le dispositif est représenté par un schéma explicatif dans la figure 10.

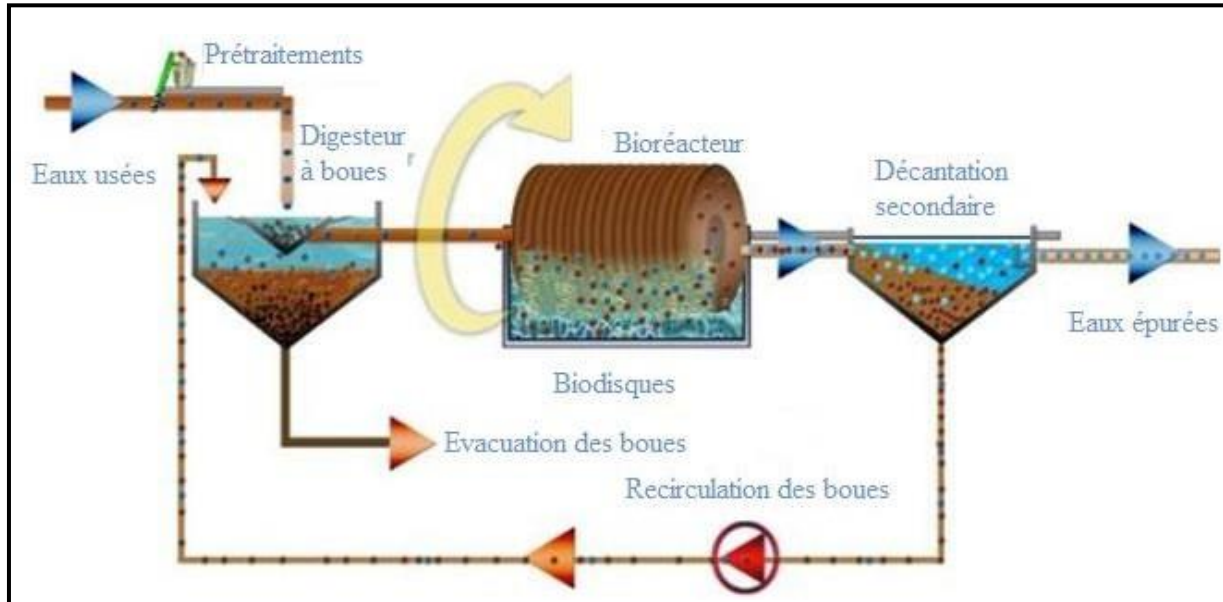


Figure 10: Schéma de filière de traitement des eaux avec les disques biologiques (www.siden.lu).

Matériel et méthodes

1. Zone d'étude

La source d'eau Iferhounene est localisée à Michelet dans la wilaya de Tizi-Ouzou et dans la commune de Michelet.

2. Présentation du laboratoire de l'ADE

Le laboratoire central de l'ADE est localisé au niveau de l'unité de Tizi-Ouzou à Boukhalfa. C'est une entreprise commerciale qui a pour rôle l'autocontrôle, c'est-à-dire contrôler la qualité des eaux de distribution et l'analyse des eaux naturelles sur le plan physico-chimique et bactériologique en se référant aux méthodes normalisées et en respectant les normes de potabilité. Ce laboratoire couvre toute la wilaya de Tizi-Ouzou.

3. Stérilisation du matériel

La stérilisation s'adresse à des milieux inertes (liquides, objets solides, etc.) elle empêche définitivement toute vie microbienne (bactéries, virus, champignons, levures). Le laboratoire utilise un autoclave pour la stérilisation des flacons et la verrerie utilisée pour l'échantillonnages ou pour la stérilisation de l'eau.

4. Échantillonnage

L'échantillonnage est primordial car il conditionne la pertinence de l'analyse. Il doit être obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau.

4.1 Échantillon pour les analyses physico-chimiques

La première chose à faire est un test de chlore. Un tube est rempli avec notre eau auquel on ajoute le DPD avec agitation. Une couleur rose est observée, ce qui indique la présence du chlore dans notre eau. Les résultats sont lus instantanément avec le comparateur. L'essai est refait une deuxième fois pour confirmer. Une couleur foncée indique une concentration élevée en chlore. Ce test est utilisé pour les eaux traitées, par contre les eaux brutes sont négatives au test.

Les flacons utilisés sont ceux de 1000 mL, l'eau est laissée couler pendant quelques instants puis les flacons sont rincés deux à trois fois avec l'eau à analyser et remplis jusqu'au bord pour éviter la pénétration de l'air. Ils sont ensuite transportés dans une glacière à une température de 4 °C pour empêcher la prolifération des germes. Tous les flacons portent une étiquette où sont mentionnées les indications suivantes: le lieu de prélèvement, la date de prélèvement, nom du préleveur et les conditions climatiques.

4.2 Echantillon pour les analyses bactériologiques

Pour l'échantillonnage de l'analyse bactériologique, les conditions d'asepsie doivent être respectées pour éviter toutes contaminations externes.

L'orifice du robinet est d'abord flambé grâce à une pince enrobée de coton trempé dans de l'alcool enflammé pendant 1 minute. Le robinet est ouvert afin que l'eau puisse couler pendant quelques minutes. Le flacon est ouvert dans la zone stérile créée par le coton enflammé.

Après avoir flambé le flacon, ce dernier est rempli. Les flacons utilisés sont ceux de 500 mL et sont remplis au 2/3 de leur volume pour maintenir les bactéries aérobies en vie et permettre une agitation de l'échantillon avant l'analyse.

Parfois les conditions climatiques ou géographiques ne sont pas favorables, il faut indiquer sur le flacon qu'il n'a pas été flambé. Enfin, ils sont transportés avec ceux de l'analyse physico-chimique et sont étiquetés. (ADE, 2021).

5. Méthodes d'analyses

5.1 Paramètres physico-chimiques

Plusieurs techniques analytiques sont utilisées pour la détermination des différents paramètres (tableau XI).

Tableau XI: Paramètres d'analyses physico-chimiques et leurs types.

Paramètres	Types
Paramètres organoleptiques	Odeur Couleur Saveur
Paramètres physico-chimiques	Potentielle d'hydrogène (pH) Conductivité Température Turbidité O ₂ dissous Résidu sec
Paramètres de pollutions	Ammonium (NH ₄ ⁺) Nitrites (NO ₂ ⁻) Phosphate (PO ₄ ⁻) Matières organiques
Paramètres de minéralisations	Calcium (Ca ²⁺) Magnésium (Mg ²⁺) Dureté Sodium (Na ⁺) Potassium (K ⁺) Chlorures (Cl ⁻) Sulfates (SO ₄ ⁻) Nitrates (NO ₃ ⁻) TAC (HCO ₃ ⁻)
Paramètres indésirables	Fer (Fe ²⁺) Aluminium (Al ₃ ⁺) Manganèse (Mn ²⁺)
Paramètres ioniques	Fluorure (F ⁻) Cyanure (CN ⁻) Brome (Br ⁻) Sulfure d'hydrogène (H ₂ S)

Ces paramètres sont déterminés par les techniques analytiques suivantes (tableau XII).

Tableau XII: Méthodes d'analyses et leurs paramètres recherchés.

Techniques d'analyse	Paramètres recherchés
Analyses électrochimiques	Réaliser par un appareil portatif de type HACH donnant la mesure directe pour les paramètres suivants: pH, oxygène dissous, conductivité, température
Analyses volumétriques	Utilisées pour l'analyse des chlorures, magnésium, calcium, TAC, matières organiques et la dureté
Analyses spectre-photométriques	Utilisées pour l'analyse de fer, ammonium, nitrites, nitrates, sulfates et phosphates
Analyses photométriques à flamme	Utilisées pour l'analyse du sodium et potassium

5.2 Méthodes électrochimiques

a) Mesure de la température

Il s'agit d'un facteur principal de l'eau destinée pour la consommation, elle est mesurée par un thermomètre.

b) Mesure du pH

Un pH mètre de type HACH a été utilisé pour la mesure. Le pH-mètre a été étalonné avec une solution tampon (pH=7). L'électrode a été ensuite rincée à l'eau distillée, puis immergée dans l'échantillon avec agitation. Enfin, la lecture a été faite après la stabilisation du pH mètre.

c) Mesure de la conductivité

C'est la mesure des ions présents dans notre échantillon. Elle est mesurée avec un conductimètre. D'abord, une fiole propre est rincée à l'eau distillée. L'appareil est allumé et une remise à zéro est réalisée. La température de notre échantillon est ajustée sur l'appareil. L'électrode de platine est ensuite rincée avec de l'eau distillée puis plongée dans l'échantillon avec l'assurance qu'elle est complètement immergée dans l'eau. La lecture est faite après stabilisation du conductimètre. Enfin, le résultat obtenu est exprimé en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

d) Mesure de la turbidité

C'est la mesure de la clarté de notre échantillon. Elle est mesurée avec un turbidimètre. D'abord, un étalonnage est procédé, de l'eau distillée est versée dans la cuve qui est mise dans le turbidimètre. Ensuite, le bouton zéro est appuyé pour afficher le zéro, l'échantillon est prêt pour être mesuré. Une autre cuve est remplie avec l'échantillon et elle est mesurée. Enfin, le résultat obtenu est exprimé en NTU (Unité de Turbidité Néphélométrique).

5.3 Méthodes volumétriques

a) Détermination de TA

Cent millilitres d'échantillon sont prélevés dans un erlenmeyer avec addition de 2 à 3 gouttes de solution de phénophtaléine. Une coloration rose doit se développer dans le cas contraire le TA est nul. Ensuite, une burette est titrée avec de l'acide sulfurique avec une agitation constante jusqu'à la décoloration complète de la solution (pH=8,3).

Soit V est le volume en mL d'acide utilisé pour obtenir le virage. Enfin, le dosage est compté depuis la burette graduée et qui est converti en mg/L. S'il y'a absence de la couleur rose, le méthylorange est ajouté directement pour coloré les TAC.

b) Détermination de TAC

L'échantillon traité précédemment pour le TA où la coloration était négative est utilisé, 2 à 3 gouttes de méthylorange sont ajoutées ; une couleur orange jaunâtre claire est obtenue. Ensuite, l'échantillon est titré avec de l'acide sulfurique jusqu'au virage de couleur orange plus foncé (orange brique). Le pH doit être égale 4,30.

c) Détermination de la dureté (TH)

La dureté est le mélange des cations (Ca^{2+} et Mg^{2+}). L'unité est indiquée en degré français (°f) puis elle est convertie en mg/L en CaCO_3 . Grace à la dureté on va calculer la $[\text{Ca}^{2+}]$ (à voir dans l'analyse du Ca^{2+}). Enfin un logiciel va calculer la $[\text{Mg}^{2+}]$.

Cinquante millilitres d'échantillon sont introduits dans une fiole-conique de 250 mL grâce à une pipette. Ensuite, 4 mL de la solution tampon est ajoutée puis 2 à 3 gouttes de mordant noir sont ajoutées pour la coloration. Après que l'échantillon soit devenu rose, un dosage par la solution EDTA est débuté immédiatement avec une agitation de l'échantillon, de la goutte à goutte est suivie très lentement jusqu'à apparition d'une couleur bleue. Le virage est atteint lorsque la couleur ne change plus avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA. Le résultat est exprimé selon la relation suivante:

$$\text{TH} = 1000 \times [(C \times V_1) / V_2]$$

TH: C'est le titre hydrométrique en mg/L

C: Concentration d'EDTA en m. mol/L

V₁: Volume de la solution d'EDTA utilisé pour le titrage en mL

V₂: Volume d'échantillon en mL

- Si le résultat est donné en degré français on procède à une conversion

- 1mg Ca/L = 2,5mg/L CaCO_3 = 0,25 °F
- 1mg Mg/L = 4,2mg/L CaCO_3 = 0,42 °F

d) Détermination du calcium (Ca^{2+}) par méthode titrimétrique à l'EDTA

Cinquante millilitres d'échantillon sont prélevés avec une pipette, et sont versés dans une fiole-conique de 250 mL, puis 2 mL de solution d'hydroxyde de sodium NaOH est ajoutée avec une pincée d'indicateur HSN (environ 0,2 g). Le tout est mélangé et titré avec la solution d'EDTA avec agitation et en versant lentement. Le virage est atteint lorsque la couleur vire du rose vers le bleu foncé et ne change plus avec l'ajout d'une goutte supplémentaire d'EDTA. La teneur en calcium est exprimée en milli mole par litre est donnée par l'équation suivante:

$$C_{\text{ca}} = C_1 \times V_3 / V_0$$

C_1 : Concentration en EDTA Exprimée en m mol/L.

V_0 : Volume en mL de la prise d'essai.

V_3 : Volume en mL de la solution EDTA.

La teneur en calcium en mg/L:

$$C_{\text{ca}} = C_1 \times V_3 \times A / V_0$$

A: Masse atomique relative du calcium (40.08)

Si une dilution de l'échantillon a été utilisée (les échantillons avec forte concentration en calcium), il faut tenir compte du facteur de dilution F pour nos calculs. Une fois le résultat de la concentration du calcium est obtenu, un logiciel nous permet d'avoir le résultat de la concentration du magnésium.

e) Déterminations des chlorures (Cl^-)

Cinquante millilitres d'échantillon sont prélevés et versés dans une fiole conique puis 50 mL d'eau distillée sont ajoutés avec agitation du mélange. 1 mL de chromate de potassium est ajouté avec agitation ; une couleur jaunâtre claire est observée. L'échantillon est titré avec le nitrate d'argent avec agitation constante jusqu'à l'apparition du virage de couleur orange brunâtre (rouge brique). Si la norme des chlorures est dépassée l'eau est non potable.

5.4 Méthodes spectrophotométries

a) Dosage de l'ammonium

Quarante millilitres d'échantillon sont prélevés et versés dans une fiole de 50 mL, 4 mL du réactif coloré est ajouté et le tout est mélangé. Une couleur jaune apparaît. Ensuite, 4 mL du réactif di- schlorocyanurate de sodium est ajouté avec agitation pour bien homogénéiser l'échantillon, la fiole est remplie avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. La fiole est gardée dans un bain-marie à 25 °C pendant une heure. S'il y'a apparition d'une couleur verdâtre, une mesure au spectrophotomètre est faite à une longueur d'onde de 655 nm. La concentration en ion d'ammonium est obtenue.

b) Dosage des nitrites

L'échantillon est conservé à 4 °C et le dosage se fait dans les six heures qui suivent le prélèvement. Si l'analyse dans les six heures est impossible une goutte de chloroforme est ajoutée à l'échantillon et dans le cas d'un échantillon trouble, il faut filtrer sur un filtre à membrane de porosité égale à 0,45 µm.

Quarante millilitres de l'échantillon sont introduits et filtrés (pour les échantillons troublés) dans une fiole jaugée de 50 mL, puis 1 mL de la solution du réactif est ajoutée et bien homogénéisé. Après 10 à 20 minutes, si une coloration rose apparaît l'absorbance est mesurée à une longueur d'onde $\lambda = 540$ nm.

c) Dosage du phosphate

Quarante millilitres d'échantillon sont prélevés dans une fiole de 50 mL, 1 mL d'acide ascorbique est ajouté. Ensuite, 2 mL du réactif mélange est ajouté au mélange. Après 10 à 30 minutes, l'apparition de la coloration bleue indique la présence des phosphates. L'absorbance est mesurée à $\lambda = 880$ nm (C'est la valeur maximale est la plus importante). Enfin, la valeur indiquée est multipliée par 3,06 (valeur x 3,06) et les résultats sont exprimés en mg/L.

d) Dosage des sulfates

Cent millilitres d'échantillon sont prélevés, 5 mL de la solution stabilisante sont ajoutés avec 2 mL de chlorure de baryum. Ensuite, le mélange est agité énergiquement pendant une minute. Une mesure au spectrophotomètre est faite à une longueur d'onde $\lambda = 450$ nm. S'il dépasse les 70 mg/L ou la conductivité dépasse 500 µs/c, une dilution est faite puis multipliée par le facteur de dilution pour l'expression des résultats.

e) Dosage des nitrates

Trente-cinq millilitres du mélange acide sont introduits grâce à une pipette pourvue d'une poire dans une série de fioles coniques sèches de 100 mL. 5 mL d'échantillon sont ajoutés à chaque fiole suivie de 5 mL de la solution de diméthyle-2.6 phénol. Une augmentation de la température du flacon est remarquée à cause de la réaction des acides forts.

Ensuite, le mélange est homogénéisé par agitation circulaire et laisser au repos pendant 10 à 60 minutes. Pendant que les échantillons se reposent un essai à blanc est effectué parallèlement au dosage en utilisant 5 mL d'eau distillée à la place. Enfin, la mesure de la concentration en azote nitrate est affichée par le spectrophotomètre à une longueur d'onde $\lambda = 324$ nm. La valeur de la concentration en nitrate est donnée après la multiplication de la valeur par 4,427 (La valeur indiquée x 4,427).

f) Dosage du fer

Cinquante millilitres d'échantillon sont prélevés dans une fiole, puis 1 mL de la solution chlorhydrate d'hydroxylamine est ajoutée, le tout est mélangé soigneusement. Ensuite, 2 mL de tampon d'acétate est ajouté pour obtenir un pH compris entre 3,5 et 5,5 (4,5 est de préférence). Enfin, 2 mL de la solution de phénanthroline est ajoutée, la fiole est conservée à l'obscurité pendant 15 minutes. Après les 15 minutes écoulées l'échantillon est passé au spectrophotomètre à une longueur d'onde $\lambda = 510$ nm.

g) Dosage de l'aluminium

Vingt-cinq millilitres d'échantillon sont prélevés et versés dans une fiole de 50 mL. Puis 0,5 mL de thiosulfate, 1 mL d'acide ascorbique, 1 mL acide sulfurique, 10 mL de la solution tampon pH=6,2 et 5 mL de l'indicateur coloré sont ajoutés. Ensuite, l'eau distillé est ajoutée jusqu'au trait de jauge de 50 mL. Le tout est bien homogénéisé et laissé au repos de 10 à 15 minutes.

- Si la couleur devient orange très claire cela signifie présence de traces d'aluminium.
- Si la couleur vire vers du rouge plus foncé cela signifie la présence de l'aluminium.

Enfin, le passage au spectrophotomètre est effectué après le passage du blanc à une longueur d'onde $\lambda = 535$.

5.5 Méthodes de spectrométrie d'émission de flamme

Cette méthode est utilisée pour le dosage du potassium (K^+) et du sodium (Na^+) (ADE, 2021).

a) Dosage du potassium

Un bécher remplie de la solution de potassium de 10 mg/L est passé trois fois au spectrophotomètre d'émission à flamme qui doit afficher 10. Ensuite l'échantillon est passé et la valeur est affichée. Si la concentration en potassium dépasse la valeur de 10 mg/L. une dilution doit être effectuée. Le résultat est multiplié par le facteur de dilution.

b) Dosage du sodium

Un bécher remplie de la solution de sodium de 10 mg/L est passé trois fois au spectrophotomètre d'émission à flamme qui doit afficher 10. Ensuite l'échantillon est passé et la valeur est affichée. Si la concentration en sodium dépasse la valeur de 10 mg/L. une dilution doit être effectuée. Le résultat est multiplié par le facteur de dilution.

5.6 Détermination de la matière organique

L'oxydation chimique des matières organiques et des substances oxydées est effectuée par le permanganate de potassium à chaud, suivant l'acidité du milieu et la température, l'oxydation est plus ou moins énergétique. Ce test conventionnel permet d'apprécier la teneur en matière organique en même temps que la présence d'autres substances réductrices (Hakmi, 2006).

Cent millilitres d'échantillon sont versés dans une fiole de 250 mL. Ensuite, 20 mL d'acide sulfurique sont ajoutés pour fixer l'échantillon dans un milieu acide. L'échantillon est mis sur une plaque chauffante allumée. Après avoir chauffé (avant ébullition) 20 mL de KMnO_4 sont ajoutés pour colorer l'échantillon. Dès la première ébullition 10 minutes sont comptées pour l'ajout de 20 mL de la solution d'oxalate de sodium qui est préparée pendant les 10 minutes qui suivent l'ébullition.

Une fois les 10 minutes sont écoulées une recoloration au KMnO_4 est réalisée par titrage. Une fois le virage de couleur est atteint, une formule est utilisée pour le calcul du résultat grâce au volume du KMnO_4 utilisé. Le résultat est exprimé en mg/L d' O_2 .

6. Méthodes d'analyses bactériologiques

L'analyse bactériologique nous permet de savoir si l'eau est de bonne qualité et potable sans aucune contamination bactériologique. L'analyse est faite pour les échantillons bruts et les échantillons traités afin de pouvoir confirmer la désinfection au chlore. Le dénombrement bactériologique se fait sur membrane filtrante et par inoculation sur milieu liquide.

6.1 Dénombrement sur membrane filtrante

Le dénombrement est basé sur une filtration d'un volume de 100 mL d'échantillon d'eau à travers une membrane filtrante de porosité de $0,45 \mu\text{m}$ suffisante pour retenir les bactéries. La membrane est placée sur un milieu gélosé et incubée à une température appropriée, puis on procède au comptage direct. Cette méthode est réalisée par une rampe de filtration (Annexes 2).

6.2 Dénombrement par inoculation sur milieu liquide

Le principe de la méthode NPP (nombre le plus probable) consiste à ensemercer de nombreuses prises d'essai d'un même échantillon dans des tubes de milieu de culture liquide. Nous supposons que pendant l'incubation, chaque tube ayant reçu un ou plusieurs organismes avec l'inoculum présentera une croissance qui va provoquer ou non des modifications caractéristiques dans le milieu. Certains tubes sont négatifs. Le nombre le plus probable de microorganismes dans une quantité spécifiée d'échantillon peut être estimé à partir du nombre de la répartition des tubes positifs. Cette technique utilise plusieurs tubes par dilution (2, 3, 4 ou 5) et l'expression des résultats se fait sur la table de Mac Grady.

a) Dilutions

La dilution est un procédé qui a pour objectif de diminuer la concentration d'une solution donnée. Pour réaliser une dilution on rajoute une quantité de solvant, on utilise généralement de l'eau distillé a un volume précis de la solution. La solution à diluer est appelée solution mère et la solution diluée, est appelée solution fille. La solution mère est donc plus concentrée que la solution fille (figure 11).

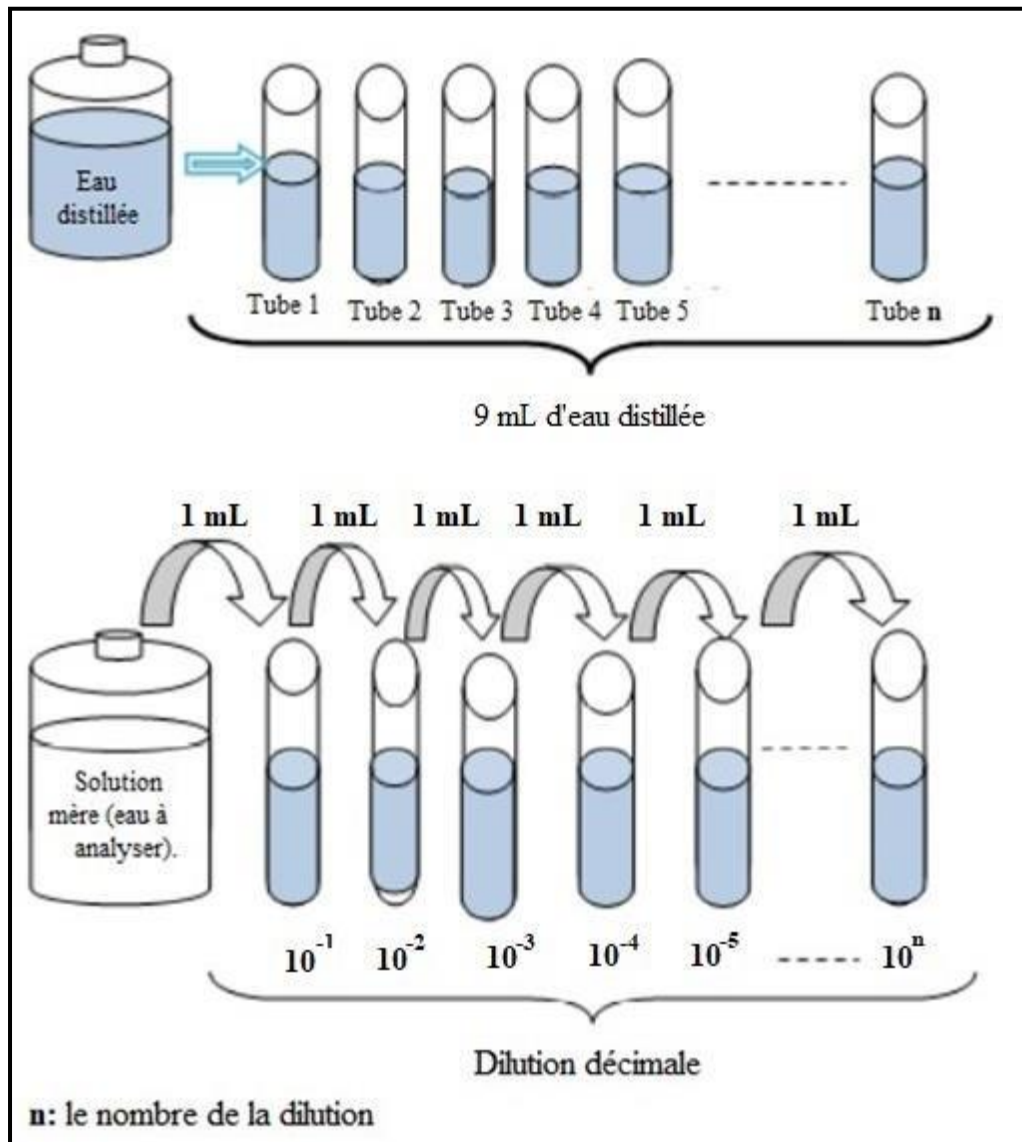


Figure 11: Protocole de dilution (Hadji et Boucceredj, 2020).

b) Choix des systèmes

Plusieurs systèmes de dilutions peuvent être utilisés pour la lecture sur la table de Mac Grady mais le choix du système à utiliser dépend de l'eau à analyser

Premier système

03 tubes D/C inoculum 10 mL
03 tubes S/C inoculum 01 mL
03 tubes S/C inoculum 0,1 mL

Troisième système

05 tubes D/C inoculum 10 mL
01 tube S/C inoculum 01 mL
01 tube S/C inoculum 0,1 mL

Deuxième système

05 tubes D/C inoculum 10 mL
05 tubes S/C inoculum 01 mL
05 tubes S/C inoculum 0,1 mL

Quatrième système

01 flacon D/C inoculum 50 mL
05 tubes D/C inoculum 10 mL
05 tubes S/C inoculum 01 mL

- Si l'eau est polluée et très chargée ou brute de qualité médiocre, le premier et le deuxième système sont utilisés. Ils sont recommandés
- Si l'eau est traitée ou de bonne qualité comme une eau de source (les eaux souterraines), le troisième et quatrième système sont utilisés.

7. Table de Mac Grady

C'est une table statistique qui nous donne le NPP de germes dans un milieu en tenant compte du nombre positif obtenus dans notre expérience. Selon notre système choisi, on compare les résultats à la table de Mac Grady (Figure 2, Annexes 2) (Kherraz-Chemlal, 2021).

8. Dénombrement des bactéries coliformes et *Escherichia coli*

8.1 Méthodes par filtration sur membrane

Avant de commencer l'expérience, La rampe de filtration sur membrane est d'abord préparée. Les entonnoirs en acier inoxydable sont stérilisés ainsi que la plaque poreuse à l'aide d'un bec-bunsen. Ensuite, les entonnoirs sont refroidis avec de l'eau distillée ou l'eau à analyser, une membrane est prise de son emballage à l'aide d'une pince stérile et déposée face quadrillé au-dessus sur la plaque de la rampe de filtration. Le flacon à analyser est soigneusement agité, la rampe de filtration est prête. 100 mL d'eau à analyser sont versés stérilement (dans la zone stérile), le robinet de la rampe est ouvert pour faire écouler l'eau. Dès que l'eau est filtrée la membrane est prélevée avec une pince stérile par son bord est déposée sur le milieu chromogène (CCA) en faisons attention à ne pas piéger des bulles d'air. Enfin, les boîtes de pétri sont incubées à 36 ± 2 °C pendant 21 ± 3 heures le couvercle vers le bas.

a) Dénombrement

Après la période d'incubation, les colonies de couleur rose à rouge sont comptées comme bactéries coliformes qui ne sont pas des *E. coli* et les colonies de couleur bleu foncé à violet sont comptées comme *E. coli*.

b) Confirmation

Pour confirmer la présence de bactéries coliformes qui ne sont pas des *E. coli* un test de confirmation par disque d'oxydase est réalisé. Un disque d'oxydase est imbibé avec une goutte d'eau distillé stérile puis la colonie est déposée à l'aide d'une pipette stérile. La réaction est considérée comme positive s'il y'a apparition d'une couleur bleu foncé dans les 30 secondes qui suivent. Toutes les colonies ayant une réaction négative à l'oxydase sont des bactéries coliformes.

c) Interprétation du test de confirmation

L'expression des résultats se fait par l'équation suivante:

$$a = \frac{b}{A} C$$

b: Nombre de colonies répondant positivement aux critères du teste de confirmation.

A: Nombre de colonies repiquées.

C: Nombre totale des colonies caractéristiques (rose à rouge) trouvées dans la boite.

8.2 Méthode de dénombrement sur milieu liquide

La recherche des bactéries coliformes et *E. coli* dans les eaux en milieu liquide par la technique NPP se fait en deux étapes consécutives:

a) Test de présomption

A partir de l'eau à analyser porter aseptiquement:

- 50 mL dans un flacon contenant 50 mL de milieu BCPL (D/C) muni d'une cloche de Durham.
- 05 fois 10 mL dans 05 tubes contenant 10 mL de milieu BCPL (D/C) muni d'une cloche de Durham.
- 05 fois 01 mL dans 05 tubes contenant 10 mL de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham.

L'air présent dans les cloches de Durham est libéré et le milieu est bien mélangé avec l'inoculum. L'incubation est réalisée à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

b) Lecture

Les tubes positifs doivent avoir:

- Un dégagement de gaz (supérieur au 1/10^{ème} de la hauteur de la cloche).
- Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (témoin de fermentation du lactose présent dans le milieu).

La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP (Table de Mac Grady).

c) Test de confirmation

Le teste de confirmation est basé sur la recherche des Coliformes Thermo-tolérants parmi lesquels la présence d'*E. Coli* est redoutée.

Les tubes de BCPL trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes, feront l'objet d'un repiquage à l'aide d'une pipette dans:

- Un milieu VRBL muni d'une cloche de Durham pour la confirmation des coliformes.
- Le bouillon tryptophane muni d'une cloche de Durham pour la confirmation des *E.coli*.

L'air présent dans les cloches de Durham est libéré et le milieu est bien mélangé avec l'inoculum. L'incubation est faite à 44°C pendant 24 heures pour *E. coli* et à 37 °C pendant 24 heures pour les coliformes.

d) Lecture

Les tubes positifs présentes:

- Un dégagement de gaz, et un trouble microbien ;
- Un anneau rouge cerise en surface, témoin de la production d'indole par *E. coli* après addition de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs

La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP en tenant en compte du fait que *E. coli* est à la fois producteur de gaz et d'indole à 44 °C.

9. Dénombrement des streptocoques fécaux

9.1 Méthodes par filtration sur membrane

La recherche des streptocoques fécaux du groupe D par filtration sur membrane se fait sur le milieu de culture Slanetz et Bartley. Avant d'entamer l'expérience, la rampe de filtration est d'abord préparée, selon les étapes déjà citées dans la méthode de dénombrement des coliformes et *E. coli*.

Après, avoir prélevé la membrane avec une pince stérile par son bord, elle est déposée sur le milieu Slanetz et Bartley, en faisant attention à ne pas piéger des bulles d'air. Enfin, les boites de pétri sont incubées à 37 °C pendant 48 heures le couvercle vers le bas.

a) Lecture

Les streptocoques fécaux apparaissent sous forme de petites colonies lisses légèrement bombées à contours régulier et pigmentées en rose.

b) Test de confirmation

Le test de confirmation se fait sur gélose BEA (Bile Esculine Azoture.). La membrane est transférée de manière aseptique du milieu Slanetz et Bartley vers le milieu BEA préchauffé préalablement à 44 °C. Enfin, elles sont incubées à 44 °C pendant 02 heures.

c) Lecture

Les colonies caractéristiques prennent une coloration noire traduisant ainsi l'hydrolyse de l'esculine présente dans le milieu.

Le nombre de colonies est compté et rapporté dans 100 mL d'eau analysé.

9.2 Méthode de dénombrement sur milieu liquide

La recherche et le dénombrement des streptocoques du groupe D dans les eaux en milieu liquide par la technique NPP, se fait en deux étapes consécutives:

a) Test de présomption (Quatrième système de la table de Mac Gardy,).

Ce test est réservé à la recherche présomptive des streptocoques. A partir de l'eau à analyser, ces préparations sont réalisées comme suit:

- 50 mL dans un flacon contenant 50 mL de milieu Rothe D/C
- 05 fois 10 mL dans 05 tubes contenant 10 mL de milieu Rothe D/C
- 05 fois 01 mL dans 05 tubes contenant 10 mL de milieu Rothe S/C

Le milieu et l'inoculum sont bien mélangés. Ensuite, ils sont incubés à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

b) Lecture

Les tubes positifs doivent présenter un trouble microbien. Ces tubes ne doivent pas faire l'objet de dénombrement.

c) Test de confirmation

Ce test est basé sur la confirmation des streptocoques du groupe D éventuellement présente dans le test de présomption.

Les tubes de Rothe trouvés positifs présentant un trouble microbien feront l'objet d'un repiquage. Pour cela, une anse bouclée est utilisée dans les tubes contenant le milieu EVA Litsky. L'inoculum et le milieu sont bien mélangés. Ensuite, ils sont incubés à 37 °C pendant 24 heures.

d) Lecture

Les tubes positifs présentent un trouble microbien et apparition d'une pastille blanche au fond du tube. La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP, le nombre des streptocoques fécaux est compté et rapporté dans 100 mL d'eau analysée.

10. Dénombrement des spores anaérobie sulfito-réductrices

10.1 Méthode par filtration

La recherche des spores ASR par filtration sur membrane nécessite une préparation au préalable. L'échantillon à analyser est chauffé à 80 °C pendant 10 minutes ou à 75 °C pendant 15 minutes, qui est suivie d'un choc thermique à l'eau du robinet pour détruire toute forme végétatives des bactéries ASR éventuellement présentes. La rampe de filtration doit être déjà préparée avec les mêmes étapes déjà citées mais avec l'utilisation d'une membrane de porosité nominale de 0,2 µm. Une fois la filtration de l'eau est faite sur la membrane, elle est retirée et déposée sur une boîte de pétri vide de façon que la face quadrillée adhère au fond de la boîte tout en évitant la formation de bulles d'air sous le filtre. La gélose viande-foie (VF) qui contient deux additifs de sodium et alun de fer est coulée sur la membrane et laissée au repos pendant 30 minutes environs pour se solidifier. Enfin, elle est incubée à 37 °C pendant 24 heures, puis pendant 48 heures.

a) Lecture

La première lecture se fait après l'incubation à 37 °C pendant 24 heures La deuxième lecture se fait après l'incubation à 37 °C pendant 48 heures. Les spores de bactéries ASR sont noires.

La première et la deuxième lecture sont réalisées, mais la deuxième lecture (lecture finale) est celle prise en considération. Le nombre de colonies est rapporté dans 100 mL d'eau à analyser.

11. Dénombrement des microorganismes revivifiables à 22 °C et à 37 °C

Dans le sens de cette méthode, nous entendons par microorganismes: Bactéries, levures, moisissures se développant en aérobiose.

À partir de l'eau à analyser (solution mère) des dilutions décimales de 10^{-1} et 10^{-2} sont préparées et 1 mL est déposé aseptiquement dans deux boites de pétri vides. Elles sont complétées avec de la gélose TGEA fondue puis refroidie à 45 ± 2 °C. Des mouvements circulaires en forme de « ∞ » sont réalisés pour permettre l'homogénéisation de l'inoculum et le milieu. Les boites sont laissées sur la paillasse pour se solidifier, puis une deuxième couche d'environ 5 mL de la même gélose ou de gélose blanche sont ajoutées. Cette couche a un rôle protecteur contre les contaminations externes diverses. Enfin, l'incubation est partagée en deux séries distinctes. La première série sera incubée à 22 ± 2 °C pendant 72 heures, et la seconde série sera incubée à 36 ± 2 °C pendant 48 heures.

a) Lecture

Les colonies de microorganismes revivifiables apparaissent en masse sous formes lenticulaires et bien distinctes. Les biotes qui contiennent moins de 300 colonies au niveau de deux dilutions successives sont retenues. La boîte doit renfermer au moins 15 colonies. La valeur du nombre N est calculée à 22 °C à part et celle du nombre N à 36 °C à part à l'aide de l'équation suivante:

$$N = \frac{\sum c}{1,1 \times d}$$

Où:

$\sum c$: La somme des colonies dénombrées sur deux boites de dilutions successives retenues.

d: Le taux de dilution correspondant à la première dilution.

Le résultat final de microorganismes revivifiants dénombrés à 22 °C et à 37 °C par mL d'eau est noté par un nombre compris entre 1,0 et 9,9 multiplié par 10^x où x est la puissance appropriée de 10.

12. Analyse de l'équilibre calco-carbonique

12.1 Indice de saturation

L'indice de saturation nous permet de savoir si l'eau est incrustante ou agressive. Le calcul de l'indice de saturation peut être étudié avec plusieurs méthodes mais celle qu'on utilise est la méthode de Langelier appelée l'indice de Langelier.

$$IL = pH - pH_s$$

Le pH_s peut être déterminé graphiquement grâce au monogramme de Hoover (Figure 5).

12.2 Correction du pH_s avec de l'acide sulfurique

La correction du pH_s avec de l'acide sulfurique nous permet d'avoir une eau équilibrée. La méthode ne possède pas de relation mathématique exacte ou une méthode spécifique. C'est un suivi de plusieurs essais pour trouver le point d'équilibre et la quantité d'acide sulfurique à ajouter. L'addition d'acide sulfurique pour l'eau brute du 24/06/2021 s'est faite en 03 essais:

- Dans le 1^{er} essai, 40 mL sont ajoutés.
- Dans le 2^e essai, 45 mL sont ajoutés.
- Dans le 3^e essai, 50 mL sont ajoutés.

Le résultat est donné après le calcul du pH_s , puis de l'indice de saturation.

Résultats et discussion

Les examens physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de source Iferhounene ont été réalisés tout au long de l'année, sur l'eau traitée et brute, par le laboratoire d'analyse d'eau de Tizi-Ouzou situé à Boukhalfa. Les résultats sont donnés dans ce chapitre et nous permettent de voir la différence entre l'hiver et l'été et l'influence du climat sur notre eau. La présentation et la discussion des résultats sont structurées en trois parties, celle de l'analyse physico-chimique, bactériologique mais aussi un essai sur la correction de la neutralité de l'eau. Ces paramètres sont évalués selon les normes de l'algérienne des eaux (ADE).

1. Analyses physico-chimiques

1.1 Température

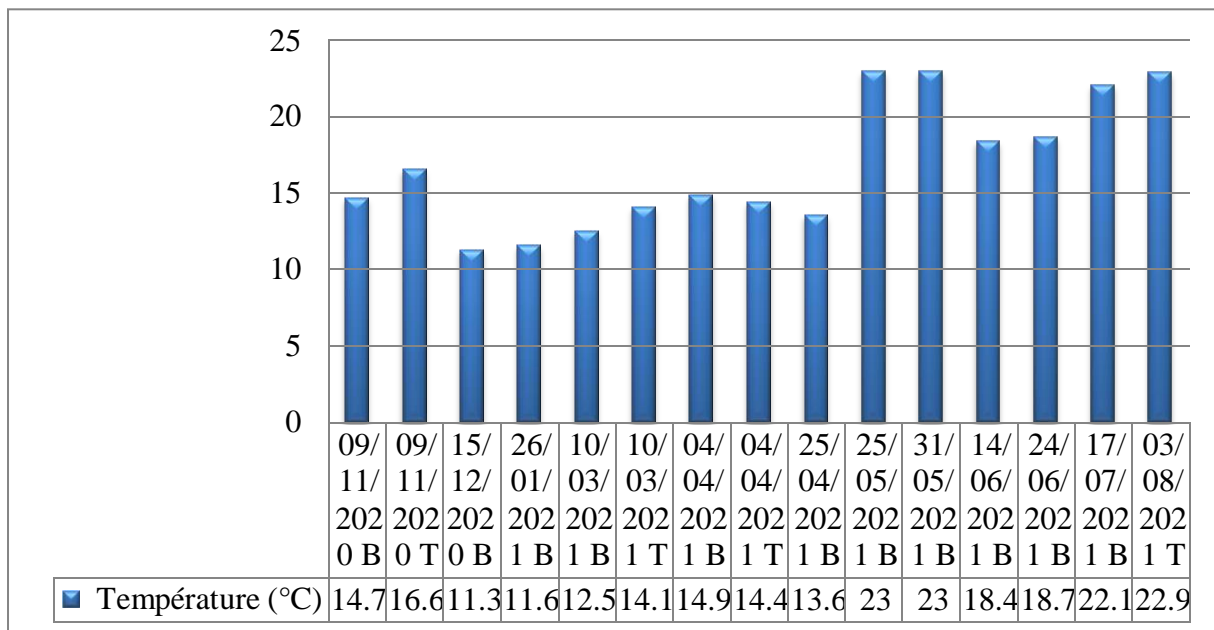


Figure 12: Histogramme des valeurs de température.

Nous remarquons une grande différence de température entre celle prise en hiver et celle prise en été, la plus grande température prise est celle du 25/05/2021 et du 31/05/2021 qui est égale à 23 °C. En effet, les valeurs mesurées de température sont conformes aux normes algériennes (ADE,2021) et normes de l'OMS (25°C).

1.2 pH

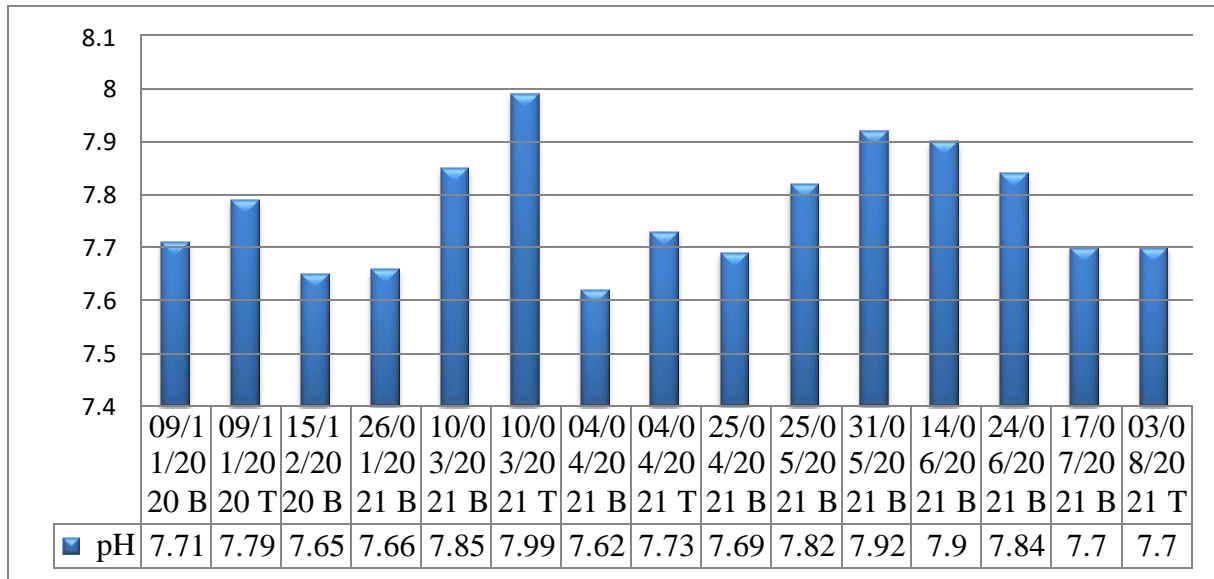


Figure 13: Histogramme de variation de pH.

Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Il intervient dans les réactions avec le dioxyde de carbone et l'alcalinité. Le pH varie entre 7.62 et 7.99, c'est un pH de neutralité approchée. Nous avons obtenu un résultat de $6.50 < \text{pH} < 9$ qui est confirmé par les normes algériennes (ADE,2021).

1.3 Conductivité

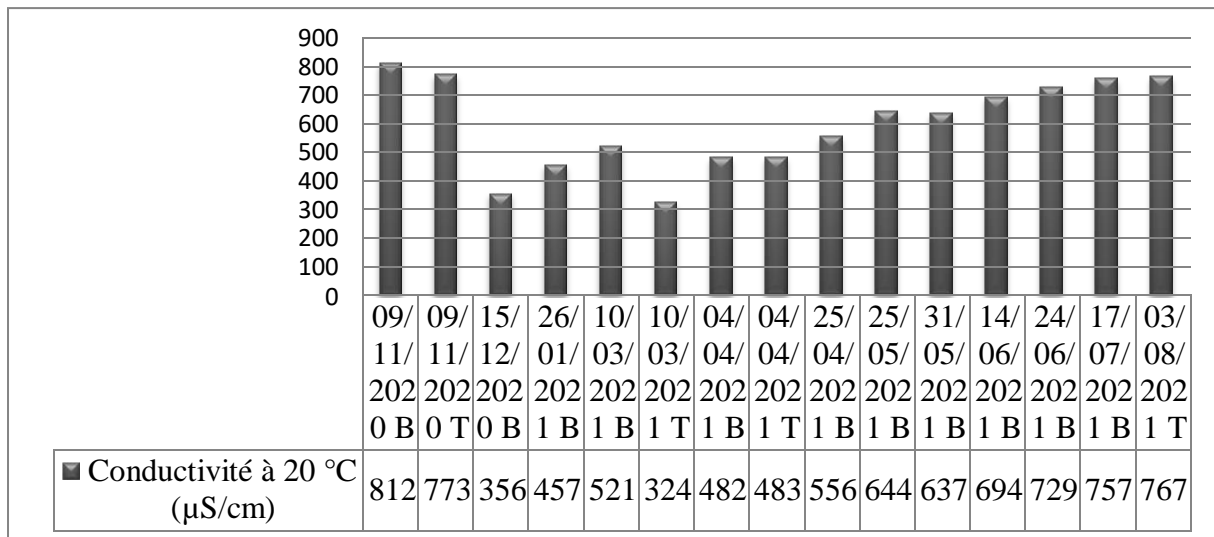


Figure 14: Histogramme des valeurs de conductivité

Selon les valeurs de la conductivité électrique de notre eau, on remarque qu'elle est faiblement minéralisée. Nous concluons que la conductivité des sources étudiées est normalisée, la norme est $< 2800 \mu\text{S}/\text{cm}$ selon les normes algériennes (ADE, 2021) et de bonne qualité selon Touhari (2015).

1.4 Turbidité

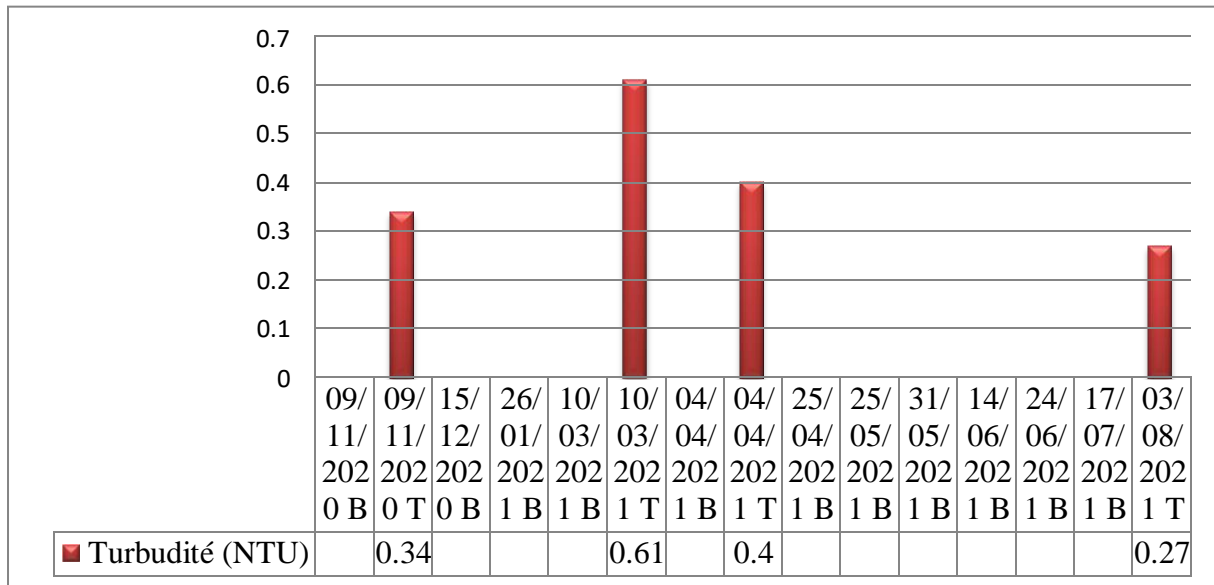


Figure 15: Histogramme des valeurs de turbidité.

L'analyse de la turbidité a été faite sur les eaux traitées. Nous remarquons que tous les eaux traitées ont une valeur au-dessus de la norme qui est (< 5 NTU). Ses eaux sont classées parmi les eaux claires et sont confirmées par les normes française et européennes (Afnor, 1994).

1.5 TAC

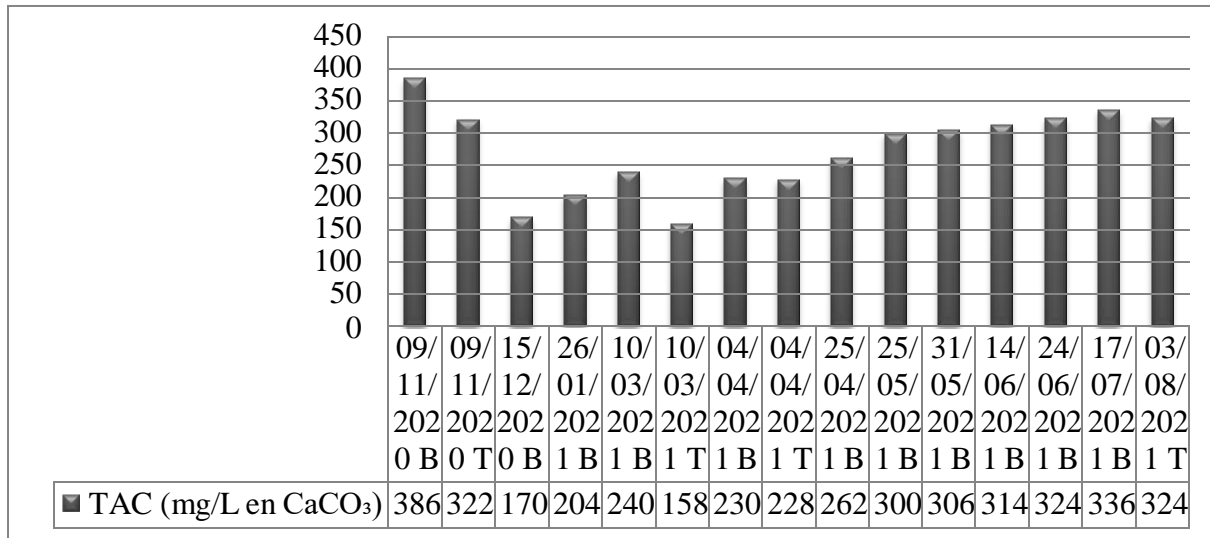


Figure 16: Histogramme des valeurs de TAC.

Nous remarquons des taux élevés de TAC, surtout celle du 09/11/2020 de l'eau brute qui est de 386, ce qui dépasse la norme mais qui est toujours conforme. Les taux élevés de TAC prouve une dissolution des roches carbonatée dans les réservoirs. La norme est entre $65 < TAC < 350$ mg/L en CaCO₃. Nos résultats sont donc soutenus par les normes de l'algériennes des eaux (ADE, 2021).

1.6 Dureté (TH)

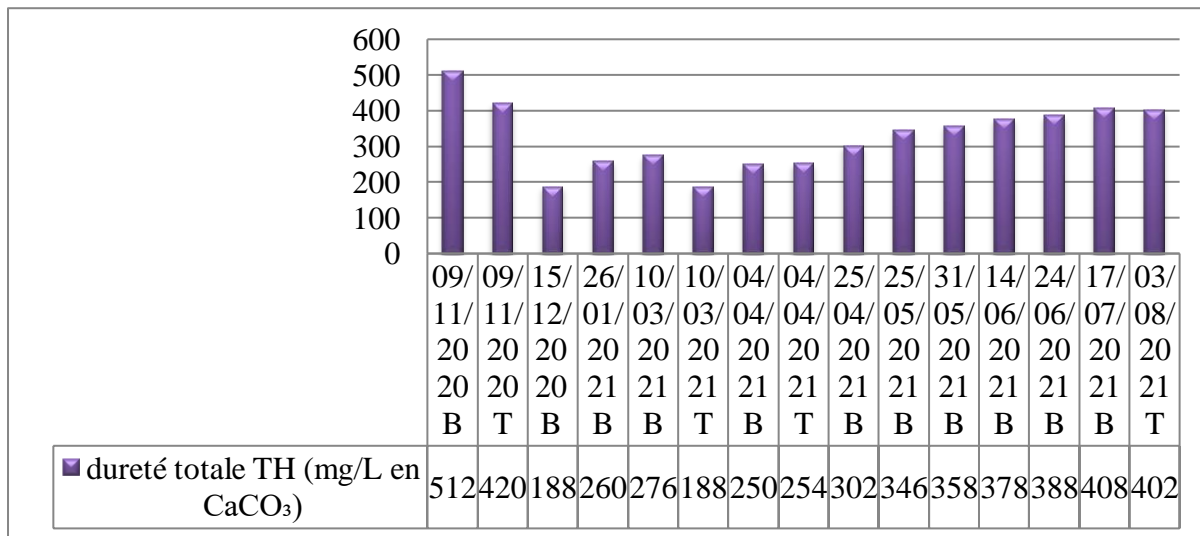


Figure 17: Histogramme des valeurs de TH.

Nous remarquons une dureté élevée dans notre eau. Nous pouvons les classer parmi les eaux dures. La norme du (TH) est de 500 mg/L en CaCO₃. L'eau brute du 09/11/2020 dépasse la norme avec quelques milligrammes. Considérés conforme, nos résultats sont donc soutenus par ceux de l'algériennes des eaux (ADE, 2021). Ces eaux sont classées entre eaux plutôt dures à des eaux dures selon Lefevre (Lefevre et al., 2020).

1.7 Calcium et Magnésium

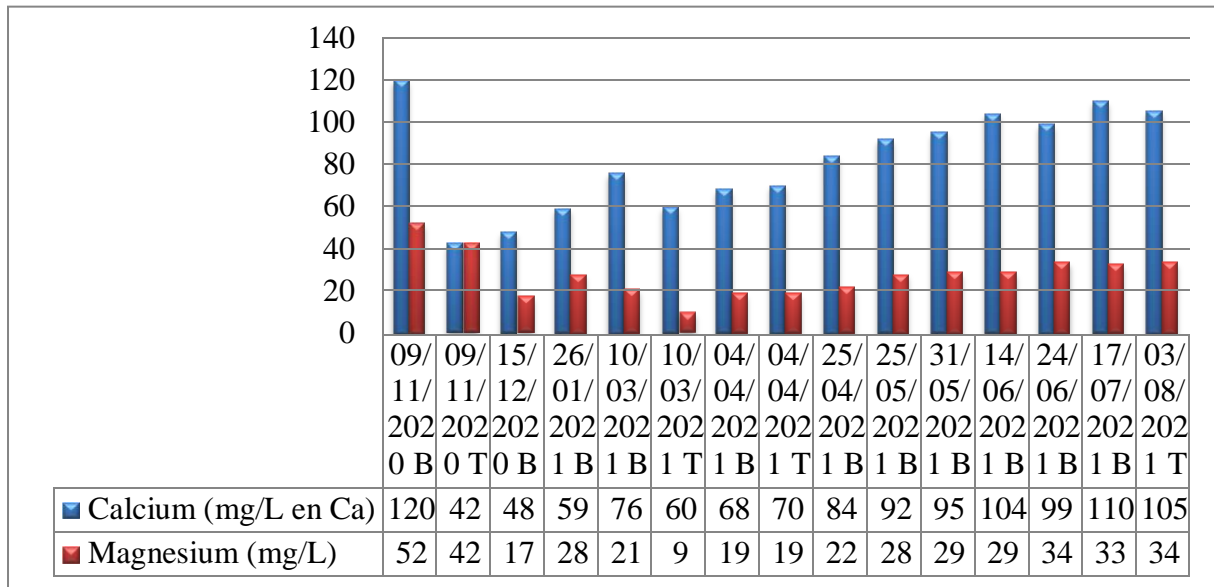


Figure 18: Histogramme des valeurs de calcium en (mg/L en Ca) et magnésium en (mg/L).

Nous remarquons que les concentrations du calcium et du magnésium sont au-dessous de la moyenne, sauf pour l'eau brute du 09/11/2020 où la concentration du magnésium est en-dessus de la moyenne, ce qui n'est pas conforme. Pour le calcium la norme est < 200 mg/L en Ca et celle du magnésium est < 50 mg/L.

Nous avons obtenu une valeur au-dessous de 200 mg/L pour le calcium et une valeur au-dessous de 50 mg/L en moyenne, résultat qui est confirmé par l'algériennes des eaux (ADE,2021).

1.8 Ammonium

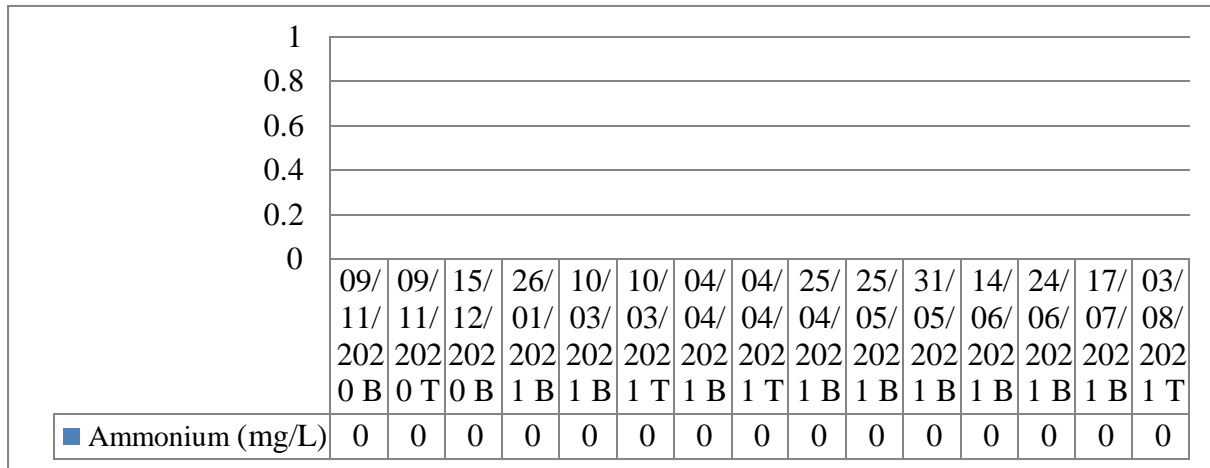


Figure 19: Histogramme des valeurs d'ammonium.

L'ammonium est considéré comme un paramètre de pollution, qui est totalement absent dans les résultats de l'eau qu'elle soit brute ou traité. La norme de l'ammonium est de 0.5 mg/L résultat qui est confirmé par l'algériennes des eaux (ADE,2021).

1.9 Chlorure

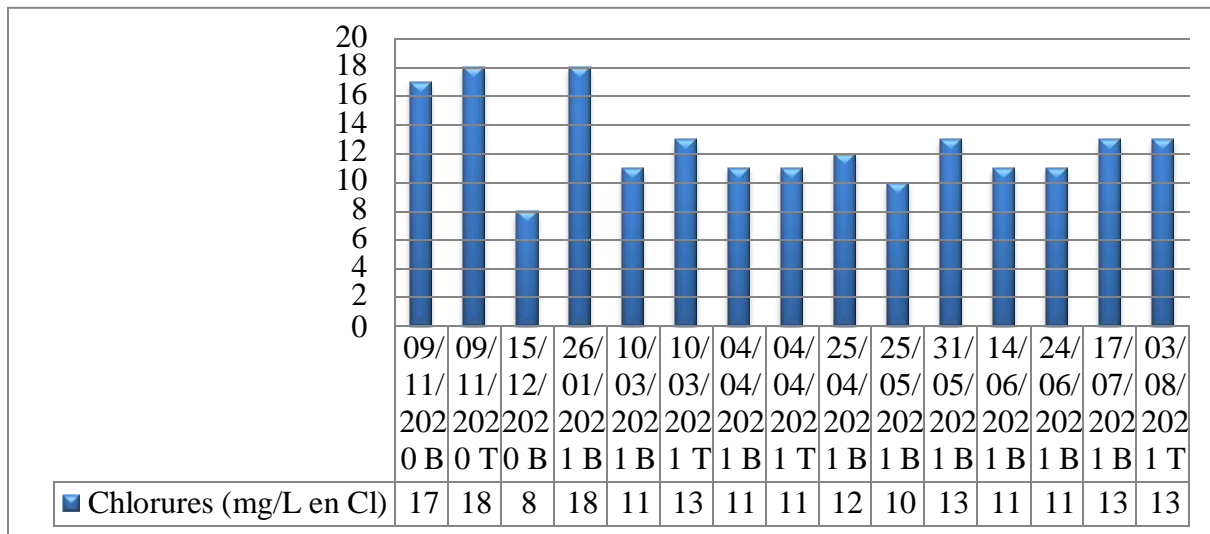


Figure 20: Histogramme des valeurs de chlorures.

Les concentrations des chlorures sont vraiment réduites dans toutes les prises d'analyses d'eau. Si la concentration dépasse les 250 mg/L l'eau obtient une saveur désagréable (Rodier, 2005). La norme de la concentration des chlorures est < 500 mg/L (Cl), nos résultats sont donc conformes selon l'algérienne des eaux (ADE, 2021). Dans une étude, une eau souterraine d'Ain Salama-Jerri (Région de Meknès-Maroc) a donné une concentration de 533 mg/L (Ghazali et al., 2013).

1.10 Bicarbonates

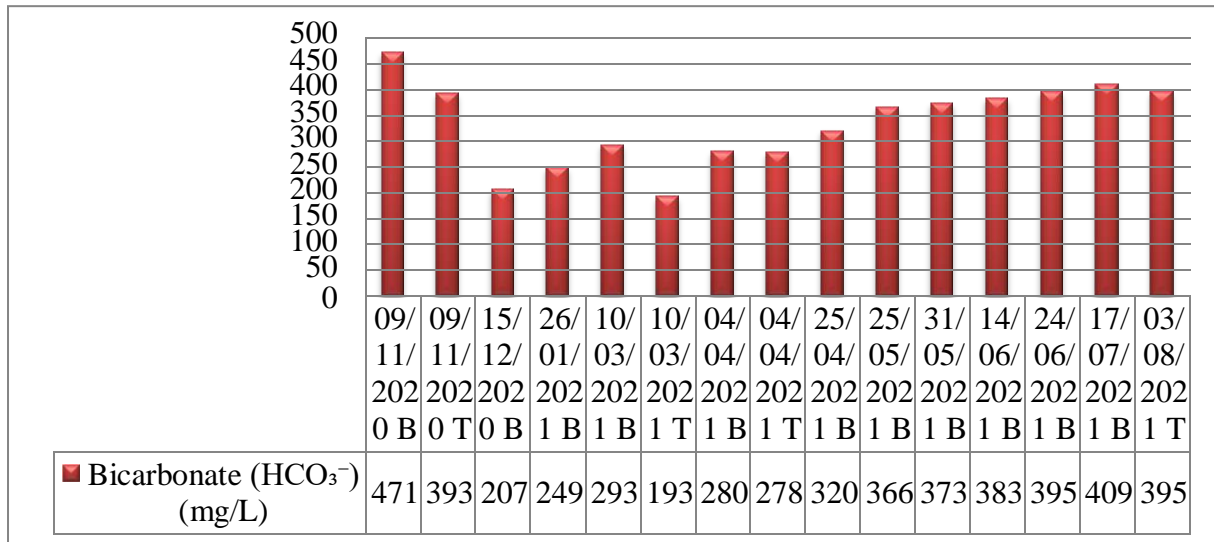


Figure 21: Histogramme des valeurs de bicarbonates.

Nous remarquons une teneur très élevée en bicarbonate surtout celle de l'eau brute du 09/11/2021. La teneur en bicarbonate est la principale cause de l'alcalinité d'une eau (Lefevre et *al.*, 2020). Cette teneur nous permet de confirmer son origine bicarbonatée. La teneur en bicarbonates des eaux souterraines non soumises aux influences anthropiques, varie entre 50 et 400 mg/l (Matthess, 1994). Nos résultats sont soutenus par ceux de Nouayti, (2015).

1.11 Sulfates

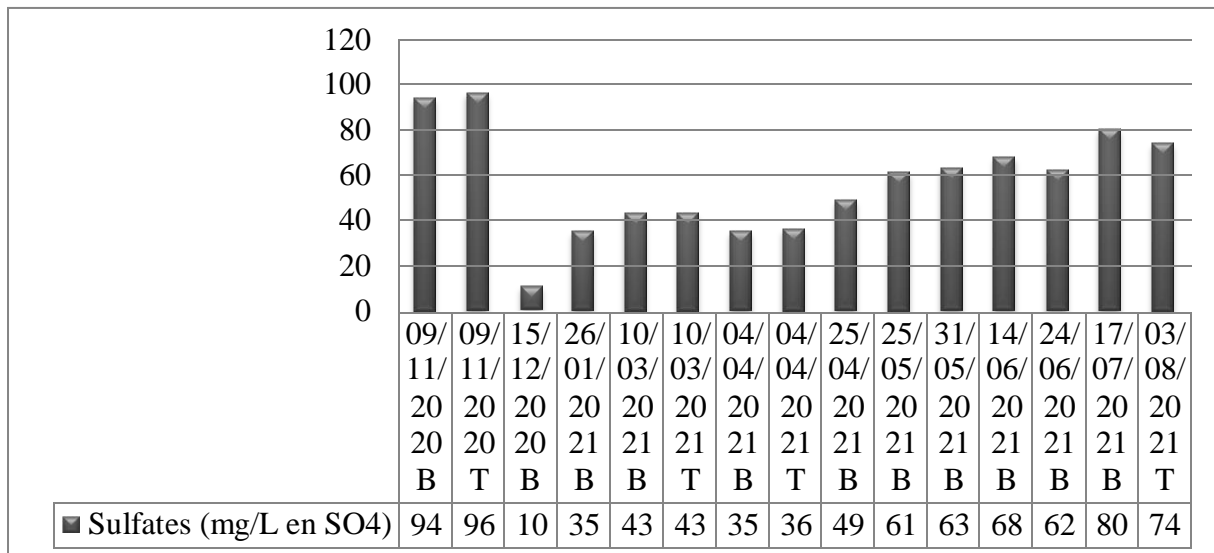


Figure 22: Histogramme des valeurs de sulfates.

Les valeurs des concentrations des sulfates sont vraiment inférieures à la norme qui est < 400 mg/L selon l'ADE. Nos résultats sont proches de ceux de Ghazali et *al.* (2013).

1.12 Nitrates et Nitrites

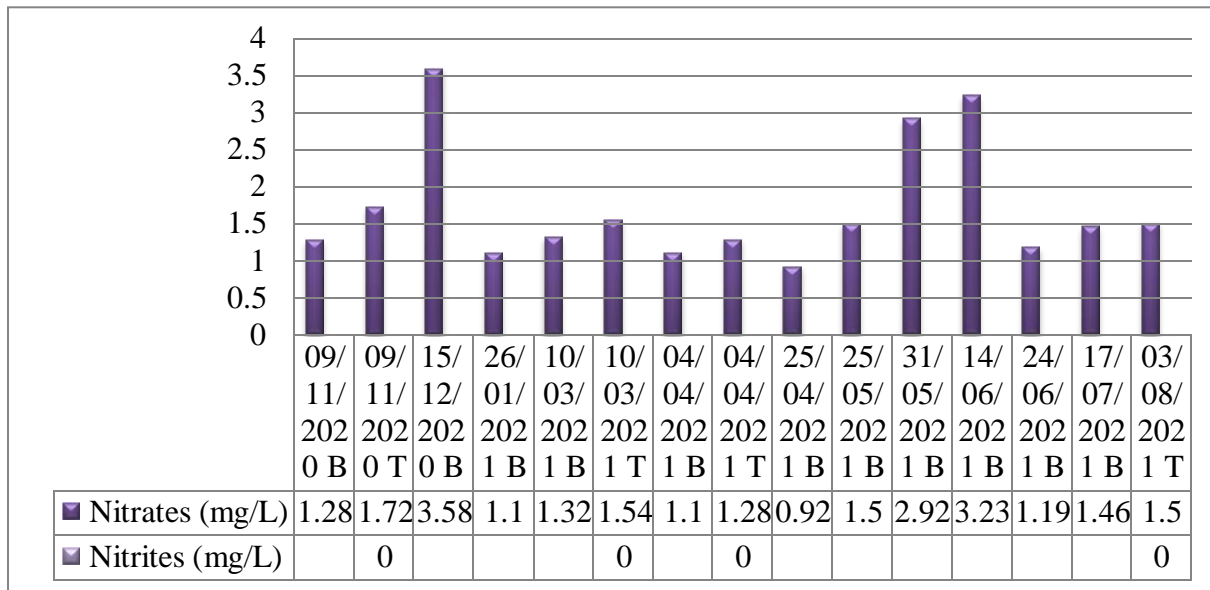


Figure 23: Histogramme des valeurs de nitrates et nitrites.

Les nitrites proviennent d’une oxydation incomplète des matières organiques. Nous voyons que les résultats trouvés dans les eaux traitées sont nuls, ce qui correspond à ceux de Ghazali et *al.* (2013). Ces résultats sont donc conformes à la norme < 0.2 mg/L selon l’ADE. Les concentrations des nitrates sont vraiment inférieures à la norme, qui est < 50 mg/L selon l’ADE. Nos résultats sont également inférieurs à ceux de Ghazali et *al.* (2013), et sont égale à ceux de Nouayti, (2015). Ce qui confirme que notre eau n’est pas sujette à un risque de pollution par les nitrates.

1.13 Résidus secs

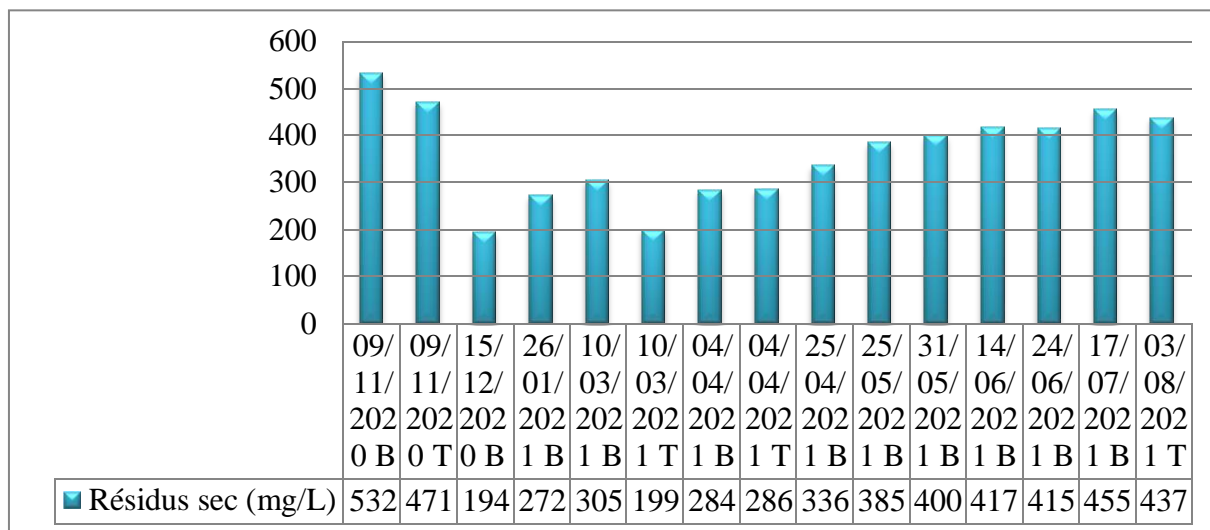


Figure 24: Histogramme des valeurs des résidus secs

Les résidus secs sont la teneur de l'eau en minéraux, l'évaluation de la teneur en matières dissoutes et en suspension. Nous remarquons que les concentrations des résidus secs sont conformes à la norme qui est < 1500 mg/L selon l'ADE. L'eau est bonne selon Rodier, (2005). La moyenne est de 500 mg/L confirmée par l'algérienne des eaux (ADE, 2021).

1.14 Fer

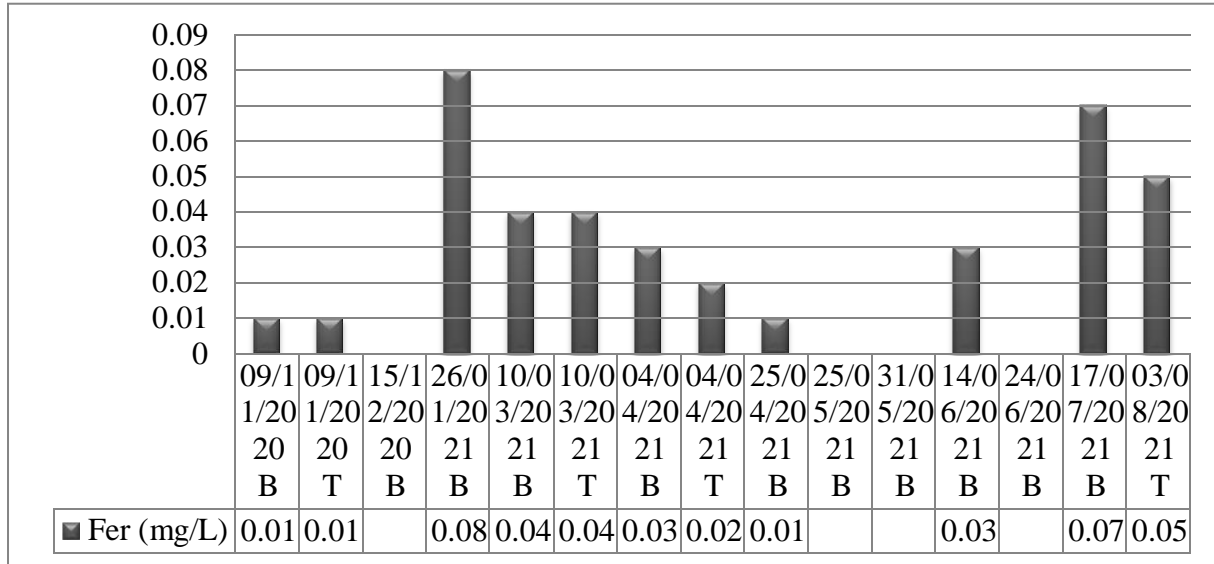


Figure 25: Histogramme des valeurs de fer.

L'analyse du fer ne s'est pas faite sur tous les échantillons d'eau de source, mais elle a été réalisée pour la totalité des eaux traitées. On remarque que toutes les concentrations sont inférieures et conformes à la norme qui est < 0.30 mg/L confirmées par l'algérienne des eaux (ADE, 2021).

1.15 Potassium, Sodium et Phosphore

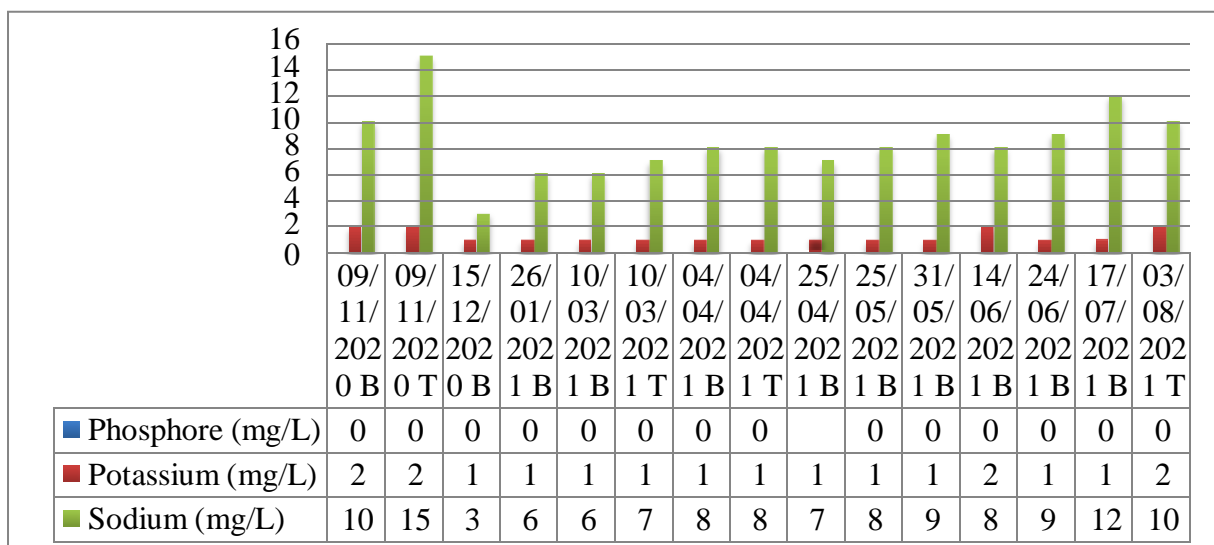


Figure 26: Histogramme des valeurs de potassium, sodium et phosphore.

Nous remarquons que les concentrations du phosphore sont négatives. Cette analyse n'a pas été faite le 25/04/2021. En ce qui concerne le potassium, nous remarquons des concentrations faibles et stables qui ne dépassent pas les 2 mg/L avec une norme < 12 mg/L. Pour le sodium, nous remarquons des concentrations très faibles comparées à la norme qui est de 200 mg/L (ADE, 2021).

2. Analyses bactériologiques

L'analyse bactériologique nous permet de voir s'il y a une contamination de notre eau par des microorganismes. Elle nous permet de mettre en évidence la contamination fécale de l'eau. Les bactéries recherchées lors de l'analyse bactériologiques sont les coliformes totaux et fécaux, les entérocoques totaux et *Escherichia coli*.

2.1 Coliformes, Entérocoques et *Escherichia coli*

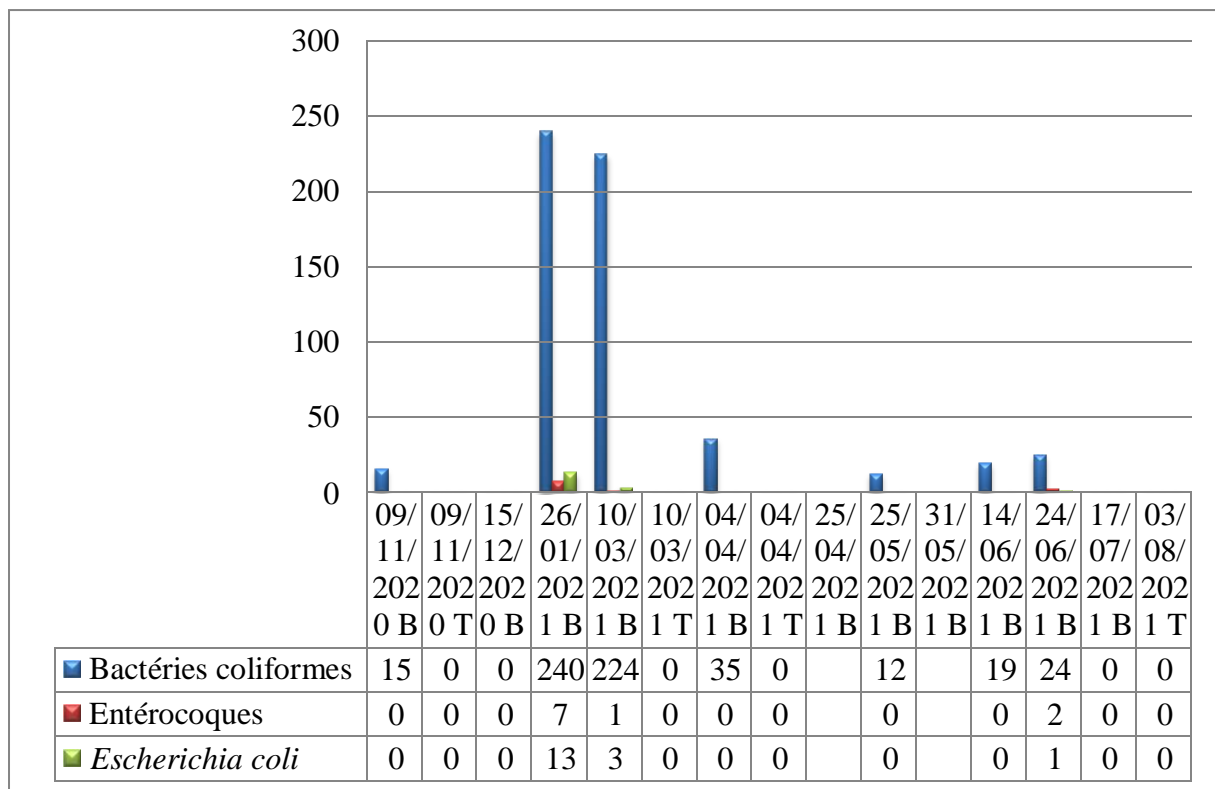


Figure 27: Histogramme des valeurs de Coliformes, Entérocoques et *Escherichia coli*.

- Pour les eaux brutes:

Nous avons constaté la présence de coliformes, entérocoques et *Escherichia coli* lors de l'analyse des eaux brutes du 26/01/2021 et du 10/03/2021. Pour les coliformes, elles sont au-dessus de la norme qui est < 50 n/100 mL. L'eau est donc non conforme. L'eau traitée ne doit contenir aucun microorganisme grâce à la désinfection au chlore.

- Pour les eaux traitées:

Aucune présence de bactéries n'est tolérée. Une présence de bactérie dans l'eau traitée indique une contamination des conduites ou un dysfonctionnement du système de désinfection de l'eau. On peut dire que la norme des bactéries est nul (0 n/100 mL). Nos résultats sont donc soutenus par ceux de Ghazali et *al.* (2013).

3. Analyses calcocarboniques

3.1 Indice de saturation

Les résultats de l'indice de saturation sont représentés dans le tableau XIII pour les eaux brutes et traitées.

Tableau XIII: Suivi et résultat de l'indice de saturation de l'eau.

Nature d'eau	Date/code	pH/T°	Ca ²⁺ (mg/L)	TAC (mg/L)	TH (mg/L)	R.sec	pHs	IS
Eau brute	9.11.20 2443	7,71/14,7	120	386	512	532	7.04	0.67 Incrustante
Eau traité	9.11.20 12450	7,79/16,6	99	322	420	471	7.16	0.63 Incrustante
Eau brute	15.12.20 113503	7,65/11,3	48	170	188	194	7.82	-0.17 Agressive
Eau brute	26.01.21 101691	7,66/11,6	59	204	260	272	7.67	-0.01 Agressive
Eau brute	10.03.21 104364	7,85/12,5	76	240	276	305	7.49	0.36 Incrustante
Eau traité	10.03.21 104515	7,86/12,7	73	238	274	308	7.51	0.35 Incrustante
Eau brute	4.04.21 105914	7,62/14,9	68	230	250	284	7.49	0.13 Incrustante
Eau traité	04.04.21 105915	7,73/14,4	70	228	254	286	7.49	0.24 Incrustante
Eau brute	25.04.21 106988	7,69/13,6	84	262	302	336	7.43	0.26 Incrustante
Eau brute	25.05.21 108740	7,82/16,1	92	300	346	385	7.23	0.59 Incrustante
Eau brute	31.05.21 109201	7,92/20	95	306	358	400	7.11	0.81 Incrustante
Eau brute	14.06.21 110040	7,90/18,4	104	314	378	417	7.11	0.79 Incrustante
Eau brute	24.06.21 110442	7,84/18,7	99	324	328	415	7.11	0.73 Incrustante
Eau brute	17.07.21 5844	7,70/22	111	336	408	455	7.00	0.70 Incrustante
Eau traité	03.08.21 6125	7,70/22,9	105	324	402	437	7.04	0.66 Incrustante

Les résultats de ce tableau sont représentés par un histogramme (figure 28).

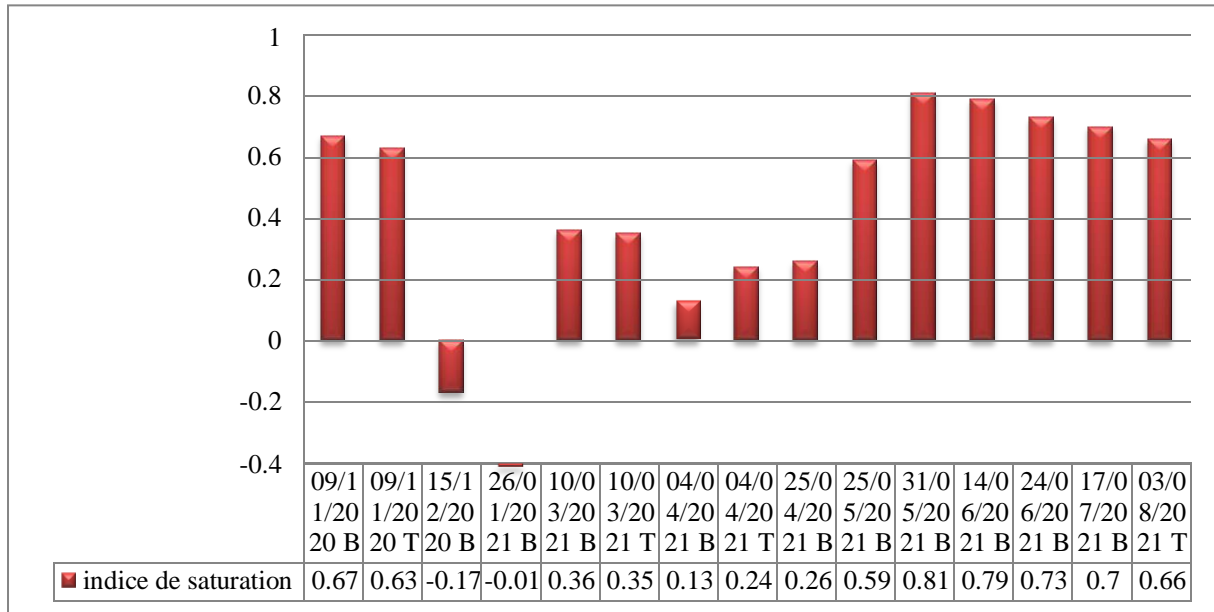


Figure 28: Histogramme des valeurs de l'indice de saturation.

Nous remarquons que tout au long de l'année notre eau est incrustante, à cause de son alcalinité élevée et à sa teneur en bicarbonate, ce qui peut provoquer l'entartrage des conduites qui peut causer un bouchon dans les conduites de distribution. Nous remarquons aussi pour la date du 15/12/2020 et 26/01/2021, que l'indice de saturation est négatif, ce qui signifie que l'eau est agressive. Elle peut donc s'attaquer aux conduites de distribution et provoquer des corrosions des conduites. Nos résultats sont totalement confirmés par ceux de Lefevre et *al.* (2020).

3.2 Correction du pHs avec de l'acide sulfurique

La correction du pHs avec de l'acide sulfurique nous permet d'obtenir une eau neutre qui ne provoque ni d'entartrage ou de corrosion des conduites. Les corrections du pHs grâce à l'acide sulfurique sont représenté dans l'histogramme de la figure 29.

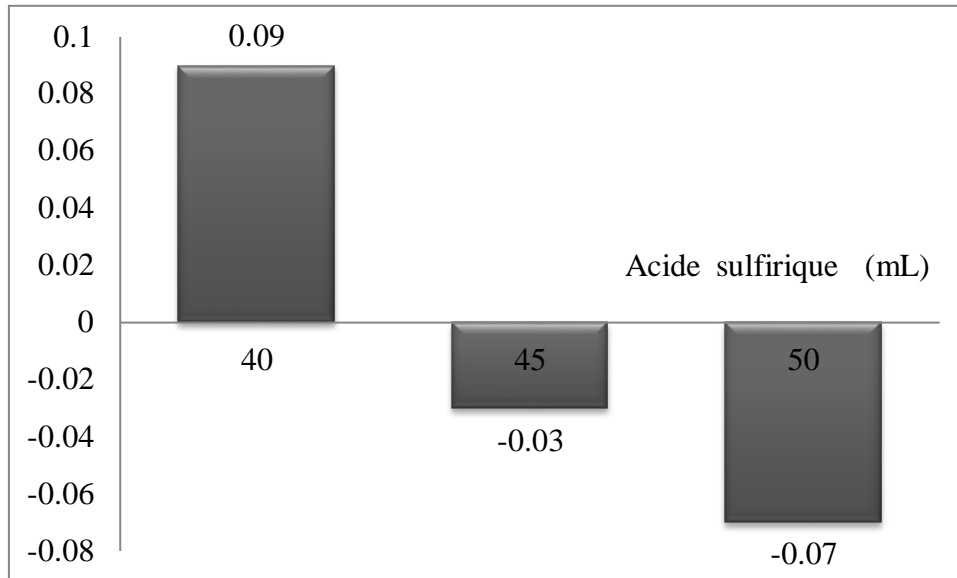


Figure 29: Histogramme des valeurs de l'indice de saturation du 24/06/2021 après addition d'acide sulfurique.

Nous remarquons que l'addition de quelques millilitres d'acide sulfurique dans l'eau a provoqué un changement d'une eau incrustante vers une eau agressive, mais la problématique qui se pose, c'est de trouver la quantité d'acide à ajouter pour obtenir une eau neutre et qui dépend de plusieurs paramètres (tableau XIV).

Tableau XIV: Essai au niveau du laboratoire, avec une solution d'acide sulfurique sur l'eau brute d'Iferhounene le 24/06/2021 (ADE, 2021).

Essai	pH	T°	TA	TAC	TH	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	R.sec	pHs	IS
Eau brut SR1 Iferhounene	7.84	18,7	00	324	388	99	11	62	1,19	09	01	415	7.11	0,73 Incrustante
Essai 01 40 mL	7.21	19,5	00	282	372	99	11	90	1,99	09	01	415	7.12	0,09 Incrustante
Essai 02 45 mL	7.16	18,9	00	272	362	99	11	94	2,34	09	01	411	7.19	-0,03 Agressive
Essai 03 50 mL	7.14	18,8	00	281	366	92	11	100	2,47	09	01	420	7.21	-0,07 Agressive

Conclusion et perspectives

Mon stage effectué au niveau du laboratoire de l'ADE de la wilaya de Tizi-Ouzou, avait pour objectif le contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, mais aussi l'essai de neutralisation de l'eau de consommation de la source de la région Iferhounene. Ce travail, a permis dans un premier temps de connaître les techniques d'analyses physico-chimiques et bactériologiques adoptées par le laboratoire de l'ADE. En second lieu, il a permis le suivi et le contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques tout au long de l'année, afin de déterminer l'influence des facteurs climatiques sur cette eau. Enfin, ce travail a permis de vérifier si la qualité de cette eau répond aux normes imposées par l'ADE pour les eaux de consommation humaine.

Les résultats de l'analyse physico-chimique et bactériologique de notre eau de source Iferhounene réalisés au sein du laboratoire de Boukhalifa (Tizi-Ouzou), indiquent que cette eau est de bonne qualité et en conformité parfaite avec les normes Algériennes. Elle est donc propre à la consommation humaine. La difficulté rencontrée pendant mon stage, concerne la neutralité de cette eau qui change selon les facteurs climatiques. Cependant, les résultats obtenus après les essais à l'acide sulfurique semblent donner de très bons résultats. Par ailleurs, le laboratoire essaie de trouver des solutions pour la neutralité de cette eau de source, qui est incrustante et qui provoque l'entartrage des conduites. Parmi les solutions proposées, l'utilisation de l'acide sulfurique donne des résultats positifs et veille sur la sécurité des consommateurs.

En outre, l'ADE doit prendre soin des ressources en eaux et en assurer une meilleure exploitation. Elle doit permettre à toute la wilaya d'avoir accès à l'eau sans coupures sur tout le territoire. Pour cela, il doit y avoir une canalisation des sites de captages vers chaque château d'eau jusqu'aux conduites des habitants. Le contrôle qualité de l'eau est excellent, mais il doit y avoir également un contrôle et un suivi sur la canalisation qui peut être fissuré ou bouchée.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Abdelly, C. (2007). Bioremédiation/Phytoremédiation. Institut supérieur de l'éducation et de la formation continue [en ligne] (page consultée le 20/09/2022).
https://www.researchgate.net/publication/277226840_Bioremediation_Phytoremediation

Abdeselem, A. (1999). Suive de la qualité microbiologique et physicochimique de trois serres alimentant de la région de Tlemcen, Mémoire d'ingénieur en hydraulique. Faculté des sciences de l'ingénieur. Université de Tlemcen, p 2-18.

Allou, S., Medjkoune, L., Bouariche, Z. (2019). Analyse physico-chimique et microbiologique de l'eau minérale naturelle embouteillée (IFRI) et sa comparaison avec l'eau de robinet alimenté par le barrage Tichihaff. Mémoire de master en génie alimentaire. Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 122 p.

Alvarez, G. (2008). Propriétés interfaciales des composés amphiphiles d'un brut lourd. Thèse de doctorat en physique. Faculté des Science d'Orsay. Université de Paris-Sud, 140 p.

Anses. (2019). *Clostridium botulinum* et *Clostridium* neurotoxino-gènes. Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments [en ligne], n°2016-SA-0074. (Page consultée le 20/09/2021).
<https://www.anses.fr/fr/system/files/BIORISK2016SA0074Fi.pdf>.

Association française de normalisation (1994). Qualité de l'eau : Recueil de normes françaises 1994. Paris: AFNOR, 862 p.

Atallah, A. (2014). Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de Honaine - teneurs: cations, anions et métaux lourds. Mémoire de Master en Alimentation et Nutrition, Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen, 99 p.

Aubry, P., Gauzere, D.B.A. (2012). Les maladies liées à l'eau Actualités, Médecine Tropicale, 7 p.

Ayad, W. (2017). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines: Cas des puits de la région, d'El-harrouch (Wilaya de Skikda). Thèse de doctorat en Microbiologie. Université Bedji-Moukhtar-Annaba, 116 p.

Başağaoğlu, H., Chung, E. E., Gandhi, D., Scow, K. M., McCoy, B. J., Ginn, T. R. (2003). Rate parameters for methyl tert-butyl ether biodegradation via a radial diffusion model. Journal of Environmental Engineering, 129(6), 565-570.

Bassompierre, C. (2007). Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers: de la conception d'un pilote à la validation de modèles. Thèse de doctorat en automatique. Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, 231 p.

Références bibliographiques

- Bazine, N., Bourenane, A. (2011).** Evaluation de la qualité bactériologique des eaux de l'Oued Messida. Mémoire de Master en biologie moléculaire des procaryotes. Université, 08 Mai 1945 Guelma, 140 p.
- Baziz, N. (2008).** Etude sur la qualité de l'eau potable et risques potentiels sur la santé cas de la ville de Batna. Thèse de doctorat en science de la terre. Faculté des Sciences. Université El Hadj Lakhdar, Batna, 144 p.
- Beniston, M. (2009).** Changements climatiques et impact, Lausanne: presses universitaires romandes: de l'échelle globale à l'échelle locale. Romandes: Presses polytechniques et universitaires romandes, 247 p.
- Bourgeois, C. M., Mescle, J. F., Zucca, J. (1996).** Microbiologie alimentaire: tome 1-Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. tome 2-Aliments fermentés et fermentations alimentaires. Paris Londres New York: Tec & Doc Lavoisier. 672 p.
- Boutin, C., Caquel, O., Dimastromatteo, N., Durot, M. A., Fernandes, G., Parotin, S., Tschertter, C. (2016).** Ouvrages de traitement par disques biologiques: guide d'exploitation. France: Atelier thématique EPNAC. 36 p.
- Bouziyani, M. (2000).** L'eau de la pénurie aux maladies. Tlemcen: Ed. Ibn-Khaldoun, Impr. 2000. 1, 247 p.
- C.I.E. (2005).** Centre d'Information sur l'Eau disponible sur internet www.Cieau.com
- Chelli, L., Djouhri, N. (2013).** Analyses des eaux de réseau de la ville de Béjaia et évaluation de leur pouvoir entartrant. Mémoire de master en génie chimique. Université Abderrahmane Mira-Bejaia, Faculté de Technologie, 102 p.
- Chocat, (1997).** Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Ed. Tec & Doc. BONTOUX. J. 1993. Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson. Ed Cebedoc ; Lavoisier, 169 .P.
- Cologgi, D. L., Lampa-Pastirk, S., Speers, A. M., Kelly, S. D., Reguera, G. (2011).** Extracellular reduction of uranium via Geobacter conductive pili as a protective cellular mechanism. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(37), 15248-15252.
- Degremont, S. (2005).** Mémento technique de l'eau tomes 1 ET 2: 10ème édition: Degremont. 1718 p.
- Degremont, G. (2005).** Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10ème édition, Edit. Tec et doc, PP: 3 -38.

Références bibliographiques

- Delmont, J. (2016).** Les enjeux de santé liés à la qualité de l'eau de boisson dans les pays en développement: Atelier d'information sur la qualité de l'eau dans les projets de développement des services d'eau potable. Faculté de Médecine de Marseille Philippe Mouton. 31 p.
- Desjardins, R. (1997).** Le traitement des eaux: Montréal: Presses Internationales Polytechniques. 304 p.
- Diagne, I., Ndiaye, M., Ndiaye, B., Dione, C. T., Cisse, D., Hane, M., Diop, A. (2017).** Répartition des paramètres physico-chimiques et métalliques des eaux usées de Hann (Dakar) avec le milieu marin. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 11(6):3100-3109.
- Djelal, H., Rigail, M., Boyer, L. (2008).** Les effluents industriels et leur traitement. Management Avenir, (6), 275-288.
- Dugniolle. (1980).** L'assainissement des eaux résiduaires domestiques, CSTC - revue n° 3-septembre, pp. 44-52.
- Dupeyron, C. (2005).** Eau potable. Développement et santé [en ligne], n°177 (page consultée le 20/09/2021) <https://devsante.org/articles/l-eau-potable>
- Edberg, S. C. L., Rice, E. W., Karlin, R. J., Allen, M. J. (2000).** *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. Journal of applied microbiology, 88(S1):106S-116S.
- Elmund, G. K., Allen, M. J., Rice, E. W. (1999).** Comparison of *Escherichia coli*, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency. Water Environment Research, 71(3):332-339.
- Essayagh, M., EL Rhaffouli, A., Essayagh, S., Essayagh, T. (2020).** Profil épidémiologique de la fièvre typhoïde, Meknès, 2013–2016. Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique, 68(1), 45-49.
- Fondation Nationale de Santé. (2013).** Manuel pratique d'analyse de l'eau. 4ème édition. Brésil: Coordination de la Communication Sociale, 150p.
- Gasperi, J., Rocher, V., Azimi, S. (2009).** Abattements des substances prioritaires par décantation et par biofiltration. LEESU, Conférence, 2009, Nancy, France.
- Gaujous, D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques: Aide-mémoire: 2^{ème} édition. France: Tec & Doc Lavoisier. 220 p.

Références bibliographiques

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

Ghazali, D., Zaid, A. (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (Région de Meknès-Maroc). Larhyss Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (12).

Glanic, R., Benneton, J-P. (1989). Caractérisation d'effluents d'assainissement individuel et essais de matériels d'assainissement autonome - TSM - L'eau -84 année - N 11pp. 573-584.

Harris, J. B., Larocque, R. C., Qadri, F., Ryan E. T., Calderwood, S. B. (2012). Cholera. The lancet [en ligne], 379., Issue 9835, 2466-2476. (page consultée le 20/09/2021). <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S0140-6736%2812%2960436-X>

Himmi, N., Fekhaoui, M., Foutlane, A., Bourchic, H., El Mmaroufy, M., Benazzout, T., Hasnaoui, M. (2003). Relazione plankton-parametri fisici chimici in un bacino dimaturazione (laguna mista Beni Slimane–Morocco. Rivista di idrobiologia. Università degli studi di Perugia, dipartimento di biologia animale ed ecologia laboratorio di idrobiologia “GB Grassi.

Hissel, J., Salengros, P. (2002). New graphical method for the representation of calcium-carbonate equilibria. Application to the water treatment. Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science, 15(2):435-458.

Hoover, C. P., Langelier, W. F. (1938). Practical application of the langelier method [with Discussion]. (American Water Works Association), 30(11):1802-1807.

Kreisel, W. (1991). Water quality and health: Water Sci Technol. 23 (1-3): 201–209.

Laribi, R., Chekaoui, W. (2021). Suivi des paramètres de l'évolution de la qualité physicochimique des eaux de source selon la méthode de stockage et de traitement. Mémoire de master en Microbiologie Appliquée. Université l'Arbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, 92 p.

Larson, T. E., Buswell, A. M., Ludwig, H. F., Langelier, W. F. (1942). Calcium carbonate saturation index and alkalinity interpretations [with discussion]. (American Water Works Association). Wiley, 34(11):1667-1684.

Lefevre, S., Genin-Lomier, S., Orlandini, P., Cabre, O. (2020). Maîtrise de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine à bord des bâtiments de la Marine: enjeu des paramètres chimiques et organoleptiques. Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France, 173(1), 220-230.

Lepeltier S., (2012). Améliorer le bon état écologique des cours d'eau. L'eau magazine, (19), 80p.

Références bibliographiques

- M, Grerard. (2003).** Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques: la qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Paris: Rapport de l'OPECST, (215). 195 p.
- Martin, A. (2001).** The "apports nutritionnels conseillés (ANC)" for the French population. *Reproduction Nutrition Development*, 41(2):119-128.
- Meghzili, B. (2003).** Suivi de la qualité des eaux de la station de traitement Hamadi-Krouma (Skikda). Essai d'optimisation de la clarification. Magistère en Hydraulique, Université de Biskra-Mohamed Khider, 93 p.
- Mellah, A. (2019).** Adoucissement par précipitation a la chaux et le carbonate de sodium des eaux de l'albien Ain Sahara (Touggourt–Algérie). *Journal Algérien des Régions Arides*, 13(2), 69-83
- Memento degremont® de Suez. (2021).** Les eaux de surfaces. [En ligne] (Page consultée le 20/09/2021). <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/quelles-eaux-a-traiter-pourquoi/les-eaux-naturelles/les-eaux-de-surface>
- Metahri, M. S. (2012).** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes: cas de la STEP est de la ville de Tizi Ouzou. Thèse de doctorat en Agronomie. Université Mouloud Mammeri. Tizi Ouzou, 94 p.
- Mokeddem, K., Ouddane, S. (2005).** Qualité Physico-chimique Et Bactériologique De L'eau De Source Sidi Yaakoub (Mostaganem). Mémoire d'ingénieur: Institut de biologie Mascara, pp 18-22.
- Monique, H. (1991).** Les eaux naturelles et les eaux de consommation saint Laurent. Institut national de la recherche scientifique, Université du Québec. Canada.
- Monjour, L., Helmer, R. (1997).** Les pathologies d'origine hydrique et la potabilité de l'eau, Faculté de médecine Pitié-Salpêtrière-Paris. *Les cahiers du Murs* (33), 11-26.
- Morlett-Chavez, J. A., Ascacio-Martinez, J. Á., Rivas-Estilla, A. M., Velazquez-Vadillo, J. F., Haskins, W. E., Barrera-Saldaña, H. A., Acuña-Askar, K. (2010).** Kinetics of Btex biodegradation by a microbial consortium acclimatized to unleaded gasoline and bacterial strains isolated from it. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64(7), 581-587.
- Musy, A., Higy, C. (2004).** Hydrologie: Une science de la nature. Presses polytechniques et universitaires romandes, (21), 314 p.
- Nouayti, N., Khattach, D., & Hilali, M. (2015).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc)[Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz (Central High Atlas, Morocco)]. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(4), 1068-1081.

Références bibliographiques

Papa, M., (2005). Les eaux à usage industriel, Edition (5), p 17.

Pateron, D., Raphaël, M., Trinh-Duc, A. (2019). Diarrhée aiguë. Mega-Guide Pratique des Urgences. France: Elsevier masson, 984 p.

Potelon, J. L., Zysman, K. (1998). Guide des analyses de l'eau potable. Editions de " La Lettre du Cadre Territorial" (BP 215-38506 Voiron Cedex). Revue de presse thématique n° 27 (2003). Les maladies hydriques, Recherche et Gestion des savoirs RGS/AGC/SS Mars 2003.

Rocher, V., C. Paffoni, A. Goncalves, V. Legaigneur, A. Dutot, M. Gonsailles. (2006). Le traitement des eaux usées par biofiltration: Cas de la station Seine Centre, Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP). Techniques Sciences Méthodes 10:115- 125.

Rodier, J. (2005). L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer 8^{ème} édition. Paris: Dunod, 1383 p.

Rodier, J. R. J., Legube, B. (2009). L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer 9^{ème} édition. Paris: Dunod, 1600 p.

Ryznar, J. W. (1944). A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by a water. Journal-American Water Works Association, 36(4):472-483.

Sahni, S., Mangano, K. M., Mclean, R. R., Hannan, M. T., Kiel, D. P. (2015). Dietary approaches for bone health: lessons from the Framingham Osteoporosis Study. Current osteoporosis reports, 13(4):245-255.

Savary, P. (2010). Guide des analyses de la qualité de l'eau: Territorial éditions. 266 p.

Schaechter, M., Medoff, G., Eisenstein, B.L. (1999). Microbiologie et pathologie infectieuse, Bruxelles ; Paris: De Boeck université. 973 p.

Slimani, R. (2003). Contribution à l'étude hygiénique des caractères physico-chimique des eaux usées de la cuvette d'Ouargla et leur impact sur la nappe phréatique. Mémoire d'ingénierie en écologie et environnement. Ecosystème steppique et saharien. Université d'Ouargla. 85 p.

Sonune, A., Ghate, R. (2004). Developments in Wastewater Treatment Methods. Desalination 167: 55–63.

Speight, J. G., Arjoon, K. K. (2012). Bioremediation of petroleum and petroleum products. Amérique: John Wiley & Sons, 567 p.

Références bibliographiques

Sutra, L., Federighi, M., Jouve, J. L. (1998). Manuel de bactériologie alimentaire. Paris: polytechnica, 308 p.

Tarayre, C., Bauwens, J., Matteotti, C., Brasseur, C., Destain, J., Vandebol, M., Thonart, P. (2012). Selection and cultivation of hydrolytic microorganisms extracted from the digestive tract of the termite *Reticulitermes santonensis* (3DV. 1.55).

Touhari, F. (2015). Etude de la qualité des eaux de la vallée du Haut Cheliff. Thèse de doctorat en aménagement et ouvrages hydrauliques: Ecole nationale supérieure d'hydraulique-Arbaoui Abdellah. Blida, 179 p.

Union française des professionnelles. (2013). Traitement de l'eau Différences entre pH, TH et TAC [en ligne], 3 (consulté le 25/09/2021). https://uae.fr/wp-content/uploads/2016/08/18/DIFFERENCE_ENTRE_pH_TH_ET_TAC_V3_OCT_13.pdf

Vandecasteele, J. P., Ourisson, G. (2005). Microbiologie pétrolière: Concepts, implications environnementales, applications industrielles. Paris: Editions Technip, 795 p.

Vavasseur, A. (2014). Bioremédiation des sols et des eaux: application aux pollutions chimique et nucléaire Bioremediation of soil and water: application to chemical and nuclear. Pollution atmosphérique, 80.

Vilagines, R. (2003). Eau, environnement et santé publique, Introduction à l'hydrologie. Paris: Lavoisier, 198 p.

Wm, G. M., Mandja, B. M., Ilunga, B. K. (2021). Dynamique spatio-temporelle des épidémies de dysenterie bacillaire en République Démocratique du Congo, 1999–2013. Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique 69, 1-6 p.

Yapo, B. O., Mambo, V., Seka, A., Yapi, A. D., & Houenou, P. (2009). Caractérisation par fractionnement gravimétrique de la matière organique contenue dans les eaux usées: application à l'étude de la biodégradabilité. Journal de la Société ouest-africaine de chimie, 27, 21-37.

Oms (W.H.O.): World Health Organisation. (2006). Guidelines for Drinking water Quality, first addendum to third edition, Volume 1 Recommendations.

Oms: Organisation Mondiale de la Santé. (2000). « Aide-mémoire », N°256.

Santé Canada (2013). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada: document technique -- L'ammoniac. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario). (Numéro de catalogue H144-13/5-2013F-PDF). Disponible à: www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/index-fra.php#doc_tech

Références bibliographiques

W.H.O. (1987). Global pollution and health results of related environmental monitoring. Global Environment Monitoring system, WHO, UNEP.

Annexes

Annexes 1

Matériels d'analyses utilisés

Matériels d'analyses physico-chimiques

- pH mètre
- Conductimètre
- Turbidimètre spectrophotomètre
- Spectrophotomètre d'émission de flamme

a) Verrerie et autres matériels

- Burette
- Thermomètre
- Bêchers
- Pissettes
- Agitateurs
- Erlenmeyer
- Fioles
- Flacons

Matériels d'analyses bactériologiques

- Rampe de filtration en acier inoxydable.
- Pompe à vide
- Membranes de filtration stériles de 0.45 µm et 0.20 µm
- Etuve 37, 22 et 44 C°
- Autoclave
- Bain marie

a) Verrerie et autre matériel

- Tubes à essais
- Pipettes graduées stériles
- Boîtes de petri
- Pincettes
- Anse à boucle et anse à fil droit
- Bec bunsen
- Cloche de Durham

Outils d'échantillonnage

- Comparateur et DPD

- Ciseaux ou pince
- Coton
- Alcool
- Ruban adhésive
- Flacon de 1000 mL pour test physico-chimique et flacon de 500 mL pour test bactériologique
- Fiche technique (à remplir)
- Compareteur de température (surtout en été pour indiquer la T°)

a) Alcalinité

Réactif: Solution alcoolique de phénophtaléine à 0,5% (Phénophtaléine 5 g, Alcool éthylique 500 mL, Eau distillée 500 mL); Solution de méthylorange à 0,5% (Méthylorange 0,5 g, Eau distillée 500 mL).

b) TH

Réactifs: Solution tampon ammoniacal; EDTA (Titration); Mordant noir 11 (Indicateur coloré).

c) Calcium

Réactifs: Hydroxyde de sodium NaOH, (solution 2N); EDTA, (solution titrée 0.01 mol/L); Indicateur HSN.

d) Chlorures

Réactifs: Solution de nitrate d'argent; Solution de chlorures; Indicateur coloré.

e) Ammonium

Réactifs colorés: Salicylate de sodium 13 g; Citrate trisadique di-hydraté 13 g; Sodium nitrosopenta cyanoferrate (III) di-hydraté 0,097 g; Eau distillée 100 mL.

Réactifs: Di-chloroisocyanurate de sodium (Hydroxyde de sodium 3,2 g; Di-chloroisocyanurate di-hydraté 0,2 g; Eau distillée 100 mL).

f) Nitrites

Réactifs: Sulfamide 20g; Acide phosphorique 50mL; N-éthylène-di-amine-dichlorohydraté 1g; Eau distillée 750 mL.

g) Phosphate

Réactifs mélange: **A** (13 g d'heptamolybdate d'ammonium qsp 100 mL eau distillée) **B** (0,35 g de tartrate d'antimoine qsp 100 mL eau distillée) **C** (150 ml d'acide sulfuriques concentré qsp 300 mL eau distillée). Nous mélangeons (A + C) + B = 500 ml (Réactifs stable pendant 02 mois).

Réactif: 10 g d'acide ascorbique qsp 100 mL eau distillée.

h) Sulfates

Réactifs: Solution stabilisante; Chlorure de baryum

i) Nitrates

Réactifs mélanges acides: **A** (Acide sulfurique 500 mL (+ ou – 5 mL)); **B** (Acide ortho-phosphorique 500 mL (+ ou – 5 mL)); **C** (Acide amidosulfonique 0.040 g).

Nous mélangeons (A+B) dans un bêcher en verre de 02 litres, puis on ajoute C (Réactif stable).

Réactif: Solution de diméthyle-2.6 phénol.

j) Fer

Réactifs: Chlorhydrate d'hydroxylamine; Tampon d'acétate; Solution de phénanthroline

k) Aluminium

Réactifs: Thiosulfate; Acide ascorbique; Acide sulfurique; Solution tampon pH= 6,2; Eriochrome cyanine (solution fille, indicateur coloré).

La solution fille est préparée avec 1 ml de la solution eriochrome cyanine dans 100 mL d'eau.

l) Potassium

Réactif: Solution étalon de potassium 10 mg/L.

m) Sodium

Réactif: Solution étalon de sodium 10 mg/L.

n) Matières organiques

Réactifs: Acide sulfurique; Solution de permanganate de potassium (KMnO_4); Solution d'oxalate de sodium

Annexes 2



Figure 01: Rampe de filtration sur membrane (ADE, 2021).

2 tubes par dilution		3 tubes par dilution					
Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules
000	0.0	000	0.0	201	1.4	302	6.5
001	0.5	001	0.3	202	2.0	310	4.5
010	0.5	010	0.3	210	1.5	311	7.5
011	0.9	011	0.6	211	2.0	312	11.5
020	0.9	020	0.6	212	3.0	313	16.0
100	0.6	100	0.4	220	2.0	320	9.5
101	1.2	101	0.7	221	3.0	321	15.0
110	1.3	102	1.1	222	3.5	322	20.0
111	2.0	110	0.7	223	4.0	323	30.0
120	2.0	111	1.1	230	3.0	330	25.0
121	3.0	120	1.1	231	3.5	331	45.0
200	2.5	121	1.5	232	4.0	332	110.0
201	5.0	130	1.6	300	2.5	333	140.0
210	6.0	200	0.9	301	4.0		
211	13.0						
212	20.0						
220	25.0						
221	70.0						
222	110.0						

5 tubes par dilution							
Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules
000	0.0	203	1.2	400	1.3	513	8.5
001	0.2	210	0.7	401	1.7	520	5.0
002	0.4	211	0.9	402	2.0	521	7.0
010	0.2	212	1.2	403	2.5	522	9.5
011	0.4	220	0.9	410	1.7	523	12.0
012	0.6	221	1.2	411	2.0	524	15.0
020	0.4	222	1.4	412	2.5	525	17.5
021	0.6	230	1.2	420	2.0	530	8.0
030	0.6	231	1.4	421	2.5	531	11.0
100	0.2	240	1.4	422	3.0	532	14.0
101	0.4	300	0.8	430	2.5	533	17.5
102	0.6	301	1.1	431	3.0	534	20.0
103	0.8	302	1.4	432	4.0	535	25.0
110	0.4	310	1.1	440	3.5	540	13.0
111	0.6	311	1.4	441	4.0	541	17.0
112	0.8	312	1.7	450	4.0	542	25.0
120	0.6	313	2.0	451	5.0	543	30.0
121	0.8	320	1.4	500	2.5	544	35.0
122	1.0	321	1.7	501	3.0	545	45.0
130	0.8	322	2.0	502	4.0	550	25.0
131	1.0	330	1.7	503	6.0	551	35.0
140	1.1	331	2.0	504	7.5	552	60.0
200	0.5	340	2.0	510	3.5	553	90.0
201	0.7	341	2.5	511	4.5	554	160.0
202	0.9	350	2.5	512	6.0	555	180.0

Figure 02: La table de Mac Grady pour 02, 03 et 05 tubes.

Résumé

L'eau, molécule simple, est indispensable pour la continuité de toute sorte de vie ainsi qu'au développement des populations une ressource naturelle précieuse et essentielle pour de multiples usages. Son utilisation à des fins alimentaires ou d'hygiène nécessite une excellente qualité physicochimique et microbiologique. La mise à disposition d'une eau potable de bonne qualité sanitaire constitue une préoccupation permanente des autorités. L'aspect consommation et qualité de l'eau potable mérite une attention particulière en terme d'équilibre minéral. Cette étude a pour but la caractérisation et la valorisation de l'eau de source d'Iferhounene située dans la région de Michelet. Pour arriver à terme de cette caractérisation des prélèvements de l'eau brute et traitée sont faits pendant toutes l'année, des analyses physico-chimiques et bactériologiques ont ensuite été réalisées au niveau du laboratoire d'analyse d'eau situé à Boukhalfa, suivie d'une étude sur l'agressivité et l'incrustation de cette eau de source influencé par les facteurs climatiques. Les résultats des analyses effectuées pendant l'année montrent que notre eau de source correspond tout à fait aux normes de l'ADE. L'eau de source d'Iferhounene est une eau de bonne qualité physico-chimique et bactériologique.

Mots-clés

Eau de source Iferhounene, analyses physico-chimiques, analyses bactériologiques, équilibre calcocarbonique.

Abstract

Water, a simple molecule, is essential for the continuity of all kinds of life as well as for the development of populations, a precious and essential natural resource for multiple uses. Its use for food or hygiene purposes requires excellent physicochemical and microbiological quality. The provision of drinking water of good sanitary quality is a permanent concern of the authorities. The consumption and quality aspect of drinking water deserves special attention in terms of mineral balance. The purpose of this study is to characterize and enhance the value of the Iferhounene spring water located in the Michelet region. To complete this characterization, samples of raw and treated water are taken throughout the year, physicochemical and bacteriological analyzes were then carried out at the water analysis laboratory located in Boukhalfa, followed of a study on the aggressiveness and encrustation of this spring water influenced by climatic factors. The results of analyzes carried out during the year show that our spring water fully meets ADE standards. Iferhounene spring water has good physicochemical and bacteriological quality.

Keywords

Iferhounene spring water, physic-chemical analyzes, bacteriological analyzes, calcocarbonic balance.