



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la
vie
Département des sciences de la nature et de la vie
Filière : Sciences biologiques

Référence / 2021

MÉMOIRE DE MASTER

Spécialité : Biochimie Appliquée

Présenté et soutenu par :
ROUINA Mohamed, ZAHZAH Abdelhaq

Le: dimanche 4 juillet 2021

Qualité microbiologique et physicochimique de l'eau des sources et celle distribuée dans la région de Biskra

Jury :

Dr.	Fatma BENABDELLAH	MCA	Université Mohamed Khider	Président
Dr.	Fethi BENBELAID	MCB	Université Mohamed Khider	Rapporteur
Dr.	Asma MEDDOUR	MCA	Université Mohamed Khider	Examineur

Année universitaire : 2020 - 2021

Université Mohamed Khider de Biskra

Remerciements

L'accomplissement du présent travail n'a été possible qu'avec le soutien d'ALLAH le plus puissant ainsi que certaines personnes. En premier lieu, nous tenons à exprimer nos profondes reconnaissances à notre promoteur Dr. Fethi BENBELAID, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils.

Nous tenons également à remercier les membres du jury ayant laissé leurs multiples occupations pour examiner ce travail. Nous leur sommes infiniment reconnaissants pour leurs critiques et suggestions qui contribueront certainement à rehausser la valeur scientifique de notre travail.

Nous remercions, Le directeur de l'ADE de nous avoir accueillis dans leur service, ainsi qu'à tout l'ensemble du personnel du laboratoire pour leurs aide, leurs conseils ainsi que leurs complicités.

Enfin, nous remercions énormément tous les professeurs du département des sciences de la nature et de la vie.

Table des matières

Remerciements	
Table des matières.....	
Liste des Tableaux.....	I
Liste des Figures	II
Liste des abréviations.....	III
Introduction.....	1

Chapitre 01 : Généralités sur l'eau

1.1. Ressources hydriques	2
1.1.1. Eaux de surface	2
1.1.2. Eaux souterraines	2
1.2. Composition de l'eau	2
1.2.1. Matières minérales dissoutes.....	2
1.2.2. Matières solides en suspension	3
1.2.3. Matières en émulsion	3
1.2.4. Matières colloïdales.....	3
1.2.5. Matières organiques dissoutes.....	3

Chapitre 02 : Qualité de l'eau

2.1. Qualité organoleptique	4
2.1.1. Couleur	4
2.1.2. Odeur.....	4
2.1.3. Gout.....	4
2.2. Caractéristiques physico-chimiques.....	4
2.2.1. Propriétés physiques.....	4
2.2.2. Propriétés chimiques	5
2.3. Qualité Microbiologique	8
2.3.1. Les coliformes fécaux	8
2.3.2. Les Entérocoques (Streptocoques fécaux)	8
2.3.3. Les coliformes totaux	8

2.3.4. Recherche des germes Totaux pathogènes à 22 C° et 37 C°	8
--	---

Chapitre 3 Matériel et méthodes

3.1. Description et localisation des sites d'échantillonnage.....	10
3.2. Techniques de prélèvement.....	10
3.3. Analyses physicochimiques	11
3.3.1. Méthodes électrochimiques.....	11
3.3.2. Méthodes volumétrique.....	13
3.3.3. Méthodes spectrophotométriques.....	19
3.3.4. Autres méthodes.....	30
3.4. Analyses microbiologiques	32
3.4.1. Recherche et dénombrement des Coliformes.....	33
3.4.2. Recherche et dénombrement des Entérocoques	34
3.4.3. Recherche et dénombrement des Microorganismes Revivifiables à 22°C et à 37°C	35

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

4.1. Les paramètres physico-chimiques	37
4.2. Les paramètres organoleptiques	38
4.2.1. La couleur, le goût et l'odeur	38
4.3. Les résultats microbiologiques.....	38
4.4. Discussion	38
Conclusion.....	43
Annexes
Références bibliographiques
Résumés.....

Liste des Tableaux

Table 1. Préparation de la courbe d'étalonnage des Nitrates	21
Table 2. Préparation de la courbe d'étalonnage des Nitrites	23
Table 3. Préparation de la courbe d'étalonnage des Sulfates	24
Table 4. Préparation de la courbe d'étalonnage du Fer	26
Table 5. Préparation de la courbe d'étalonnage des Phosphates	28
Table 6. Préparation de la courbe d'étalonnage d'Ammonium	29
Table 7. Les résultats d'analyses physico-chimiques	37
Table 8. Bulletin des analyses bactériologiques	38
Table 9. La variation de la minéralisation de l'eau en fonction de la conductivité.....	39

Liste des Figures

Figure 1. Localisation des sources d'eau étudiées.	10
Figure 2. a :pH mètre, b :conductimètre.....	11
Figure 3. Le spectrophotomètre de flamme.....	19
Figure 4. Technique de filtration sur membrane	33
Figure 5. Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau du robinet de la région du Biskra.	48
Figure 6. Résultats des analyse-physico-chimiques des régions de Tlemcen et Tamanrasset.	49

Liste des abréviations

ADE : Algérienne des Eaux

pH : Potentiel d'hydrogène

O₂ : Gaz d'oxygène

Cl⁻ : Ions chlorures

SO₄²⁻ : Ions sulfates

TA : Titre alcalimétrique

CO₃²⁻ : Ions carbonates

OH⁻ : Ions hydroxydes

TAC : Titre alcalimétrique complet

HCO₃⁻ : Ions bicarbonates

TH : Dureté totale

Na⁺ : Ions sodium

K⁺ : Ions potassium

H⁺ : Ions hydrogène

Ca²⁺ : Ions calcium

Mg²⁺ : Ions magnésium

CaCO₃ : Carbonate de calcium/calcaire

DBO : Demande biochimique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

UFC : Unité formant colonie

C° : Degré Celsius

KCl : Chlorure de potassium

NF : Norme française

EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique.

NET : Noir eriochrome T

HCl : Acide chlorhydrique

AgNO₃ : Nitrate d'argent

K₂CrO₄ : Chromate de potassium

NaCl : Chlorure de sodium

HNO₃ : L'acide nitrique

NaOH : L'hydroxyde de sodium

CaCO₃ : Le carbonate de calcium

NaHCO₃ : Le bicarbonate de sodium

NO₃⁻ : L'ion nitrate

H₂SO₄ : L'acide sulfurique

UV : Ultraviolet

NO₂⁻ : Nitrites

BaCl₂ : Chlorure de baryum

BaSO₄ : Sulfate de baryum

Na₂SO₄ : Sulfate de sodium

Qsp : Quantité suffisante pour

ρ : Masse volumique

Mn : Manganèse

Afnor : L'Association française de normalisation

ISO : L'Organisation internationale de normalisation

Introduction

L'eau est indispensable à la vie, ainsi l'homme doit disposer d'un approvisionnement suffisant en eau sûr et accessible. Un apport hydrique suffisant en eau potable peut se traduire par des bénéfices tangibles pour la santé. Tous les efforts doivent être consentis pour obtenir une eau de boisson aussi saine que possible. (OMS, 2004)

Notre thème consiste à étudier les qualités physicochimiques et bactériologiques de l'eau de quelques sources à travers la wilaya Biskra ainsi que l'eau provenant de la station de traitement de Tolga. Cette dernière fournit l'eau destinée au remplissage des citernes de distribution pour tous les habitants de la wilaya.

Pour être considérée comme potable, l'eau doit être exempte de toute substance jugée nocive pour la santé des êtres vivants à savoir les microorganismes pathogènes, les parasites, les substances chimiques toxiques, telles que les nitrates, les phosphates, les métaux lourds, les hydrocarbures et les pesticides. (OMS, 2004)

A l'inverse, certaines substances nécessaires pour le corps humain doivent être conservées dans l'eau potable notamment les sels minéraux, comme le calcium, le magnésium, le potassium, le chlore...et les oligo-éléments, comme le fluor, le cuivre, le fer, le silicium, le manganèse, le zinc... (OMS, 2004)

Les eaux de source, bien qu'elles soient appréciées par la population de la région, doivent faire l'objet d'un contrôle sévère de leurs qualités physico-chimiques et bactériologiques. Ainsi, le but de notre étude est de s'assurer que l'eau des sources suivantes : Sidi Khelil, Loutaya, Oued besbas ainsi que l'eau de la station de traitement de Tolga respecte les normes internationales pour être considérée comme une eau potable ; justifiant donc sa consommation répandue.

Chapitre 01 : Généralités sur l'eau

1.1. Ressources hydriques

1.1.1. Eaux de surface

Les eaux de surface sont toutes les eaux circulantes ou stagnantes à la surface des continents ayant généralement un accès facile pour les populations locales. Cependant, ces sources sont fortement exposées à la pollution à cause des activités humaines.

La qualité des eaux de surface dans les pays industrialisés a généralement été améliorée en ce qui concerne certains polluants au cours des vingt dernières années. Néanmoins, la contamination par les nouveaux produits chimiques est désormais un problème sérieux. (Assaad, 2014)

1.1.2. Eaux souterraines

On entend par « eau souterraine » l'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels les sables et les graviers. Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas canalisée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain. L'eau souterraine est une composante importante du cycle hydrologique ; l'eau provenant des précipitations s'infiltré dans le sol, circule verticalement jusqu'à la zone de saturation (nappe phréatique) et se déplace vers la zone naturelle de résurgence (les cours d'eau) située en aval. (FERLAND, 2013)

1.2. Composition de l'eau

Les substances présentes dans l'eau peuvent être classées, selon :

- Leur nature : organique, minérale, gaz ;
- Leur forme et leur origine.

C'est ce second type de classification que nous suivrons dans ce chapitre.

À chacun de ces états ou formes correspondent des dimensions de particules qui vont des plus grandes (algues, sables, etc.) aux plus petites (ions et gaz dissous).

1.2.1. Matières minérales dissoutes

Les matières minérales dissoutes proviennent généralement de la dissolution des roches par l'eau lors de son cheminement dans la nature.

Toutefois, la présence de certains éléments sous forme ionique (les ions chlorure ou nitrate, par exemple) peut provenir de l'activité humaine (pollutions industrielles ou agricoles). (Rejsek, 2002)

1.2.2. Matières solides en suspension

Généralement visibles à l'œil nu, les matières solides en suspension nuisent à la limpidité de l'eau. Souvent, les matières solides demeurent en suspension tant que l'eau est en mouvement. Lorsque la vitesse d'écoulement de l'eau diminue et tend vers zéro, les matières solides sédimentent pour former des dépôts (au fond des réservoirs et sur la génératrice inférieure des canalisations, par exemple). (Makhoukh, 2011)

1.2.3. Matières en émulsion

Ce sont des matières insolubles qui, réparties uniformément dans l'eau, lui confèrent un aspect laiteux. Les émulsions sont plus ou moins stables. (Rejsek, 2002)

1.2.4. Matières colloïdales

Ce sont de très fines particules d'origine minérale ou organique, invisibles à l'œil nu. Elles sont dotées à leur surface de charges électriques partielles qui se repoussent mutuellement, créant ainsi un mouvement permanent qui les maintient en suspension même si le liquide est au repos. En l'absence d'une neutralisation de ces charges, les matières colloïdales ne décantent pas et ne peuvent être retenues que par des filtres très fins (membranes). (Rejsek, 2002)

1.2.5. Matières organiques dissoutes

Elles proviennent de la dissolution par l'eau de pluie des végétaux et animaux décomposés, des rejets urbains, industriels et agricoles (épandage des lisiers, pesticides, fongicides, herbicides, etc.). Ces matières sont très souvent à l'origine de couleurs, d'odeurs ou de saveurs désagréables. Elles peuvent aussi présenter une certaine toxicité. (Rejsek, 2002)

Chapitre 02 : Qualité de l'eau

2.1. Qualité organoleptique

La qualité organoleptique de l'eau potable est importante car le goût, l'odeur, la couleur et la turbidité sont directement et constamment évalués par le consommateur en déterminant l'acceptation ou le refus du produit. Les problèmes du goût et de l'odeur des eaux sont courants à travers le monde ayant pour origine la diversité de sources. (Couillard, 1992)

2.1.1. Couleur

C'est la propriété optique qui consiste à modifier la composition spectrale de la lumière transmise. La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes, c'est-à-dire passant à travers un filtre de porosité égale à 0,45 µm. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelle et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité. (Rodier J. L., 2009)

2.1.2. Odeur

L'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles. Une eau destinée à la consommation doit être inodore. En effet, toute odeur perçue dans une eau est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire. Le sens olfactif peut seul, parfois, les déceler. (Rodier J. L., 2009)

2.1.3. Gout

L'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche. La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation, par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs. Tandis que la flaveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif, les bourgeons gustatifs et la cavité buccale auxquelles peuvent s'ajouter des sensations thermiques, tactiles, chimiques, kinésiques, douloureuses, etc. (Rodier J. L., 2009)

2.2. Qualités physico-chimiques

L'ensemble de ces paramètres constitue la majeure partie des analyses qui sont effectuées sur l'eau.

2.2.1. Qualités physiques

2.2.1.1. Température

La température de l'eau est un facteur important dans la production biologique. Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de l'eau en particulier sa densité, sa viscosité, la

solubilité des gaz (notamment l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques. (Ferdaous, 2015)

2.2.1.2. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH dépend de plusieurs paramètres notamment l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie aquatique un développement favorable. Dans la plupart des eaux douces, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 alors que dans les eaux tièdes, celui-ci peut être compris entre 5 et 9. (Belghiti, 2013)

2.2.1.3. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1 cm² de surface et séparée l'une de l'autre de 1 cm. La conductivité donne une idée sur la minéralisation d'une eau ce qui représente un bon marqueur de l'Origine d'une eau. En effet, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation. (Makhoukh, 2011)

2.2.1.4. Turbidité

On la définit comme l'inverse de la limpidité ou de la transparence. Une eau turbide est donc plus ou moins trouble. (Rodier J. L., 2009)

2.2.1.5. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous (O₂) est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des microorganismes aquatiques. Il joue un rôle primordial dans le maintien de la vie aquatique et dans l'autoépuration. Sa présence dans les eaux naturelles est déterminée principalement par la respiration des organismes, par l'activité photosynthétique de la flore, par l'oxydation et la dégradation des polluants et enfin par les échanges air-eau. (Gbohaida, 2016)

2.2.1.6. Résidu sec (RS)

La détermination du résidu dans l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau, c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée préalablement à la mesure, le résidu correspond alors aux matières dissoutes Le résultat obtenu est influencé par la température et la durée de la dessiccation. (Rodier J. L., 2009)

2.2.2. Qualités chimiques

Durant les analyses d'eau, la présence de certaines substances est considérée comme indésirable, mais tant que leur concentration reste inférieure à un certain seuil elles peuvent être tolérées (fluor,

nitrate, etc.). Par contre, les substances toxiques comme l'arsenic, le mercure, le plomb, le chrome, le nickel, l'antimoine, le cyanure et le sélénium, ainsi que certains hydrocarbures sont censés d'être absents dans l'eau potable. En cas échéant, leur concentration doit être très basse de l'ordre du millionième de gramme par litre, ce qui exige des analyses extrêmement fines. (website1)

2.2.2.1. Les chlorures

Les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^{2-}) font généralement l'objet d'un suivi particulier. Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution par des eaux usées domestiques (sels régénérants utilisés dans les lave-vaisselles) ou par certaines eaux usées industrielles. Les pics de concentration en chlorures s'observent le plus souvent en période de gel (sels de déneigement). Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates. Ce sont surtout les changements brusques et importants des teneurs en chlorures et sulfates qui se révèlent néfastes. (Ferdaous, 2015)

2.2.2.2. Titre alcalimétrique (TA)

Le TA correspond donc à la somme des concentrations des ions carbonates (CO_3^{2-}) et des ions hydroxydes (OH^-)

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}]. \text{ (Rodier J. L., 2009)}$$

2.2.2.3. Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le TAC mesure les espèces basiques dans l'eau (ions hydroxydes OH^- , ions carbonates CO_3^{2-} et ions hydrogénocarbonates (ou bicarbonate HCO_3^-))

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]. \text{ (Rodier J. L., 2009)}$$

2.2.2.4. La dureté totale (TH)

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{++} et Mg^{++} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO_3 par litre. (De Villers, 2005)

2.2.2.5. Magnésium (Mg^{++})

C'est l'ensemble des ions magnésium présents dans une eau, c'est la différence entre la dureté totale et la dureté calcique. (Rodier J. L., 2009)

2.2.2.6. Calcium (Ca^{++})

Le calcium est un métal alcalinoterreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. La concentration maximale admise est de 100 mg/l. Il existe principalement à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre sous forme sulfate, chlorure...etc.

Le calcium ne pose pas des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. (Gbohaida, 2016)

2.2.2.7. Demande biochimique en oxygène (DBO5)

Deux méthodes permettant d'évaluer la quantité en matière organique présente dans l'eau sont généralement utilisées : la demande biochimique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO). Ces deux méthodes se basent sur la différence entre la teneur en oxygène dissous initiale et la teneur en oxygène dissous finale après oxydation de la matière organique présente dans un échantillon d'eau. (Makhoukh, 2011)

2.2.2.8. Fer total

Le fer est le quatrième élément de la croûte terrestre. Le fer se trouve essentiellement dans les eaux privées d'oxygène. Ses origines sont diverses mais, en général, le fer dans l'eau provient principalement de sources naturelles par dissolution de roches dans le cas d'eaux souterraines ou de sédiments pour les eaux de fond de retenues. Parfois, il peut provenir de rejets industriels ou de la corrosion de canalisations métalliques. Enfin, l'utilisation de sels de fer comme agents de coagulation pour la production d'eau potable peut également apporter du fer. La présence de fer a des conséquences organoleptiques et, sous certaines conditions, peut engendrer des problèmes au niveau de l'exploitation des réseaux. A une teneur supérieure à 0,1 mg/l, le fer donne un goût désagréable à l'eau, peut lui donner une coloration noirâtre et peut également tâcher le linge. (Rodier J. L., 2009)

2.2.2.9. Sulfates

Les sulfates présents naturellement dans les eaux (concentration inférieure à 1 g/L) peuvent se lier avec de nombreux cations (calcium, magnésium, sodium, plomb, baryum, strontium, aluminium...). L'origine de ces sulfates peut également être humaine : pollution d'industries papetières, textiles, minières ou traitement pour la potabilisation de l'eau (sulfates d'aluminium et de fer utilisés pour la floculation). (Rodier J. L., 2009)

2.2.2.10. Nitrates

Les nitrates se trouvent naturellement en concentration faible dans les eaux. Mais ils peuvent aussi avoir une origine artificielle due à leur utilisation en tant que fertilisants pour les cultures (engrais minéraux et organiques, déjections animales...). Les excès non absorbés par les plantes sont lessivés par les pluies et rejoignent les eaux souterraines et les eaux superficielles. (Makhoukh, 2011)

2.2.2.11. Nitrites

Une eau contenant des nitrites est suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de la qualité microbiologique. Les nitrites peuvent se former à partir d'une réduction des nitrates ou à partir d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque. (Rejsek, 2002)

2.3. Qualité Microbiologique

La qualité microbiologique de l'eau est évaluée en mesurant la présence de bactéries indicatrices de contamination fécale (Entérocoques, *E. Coli*, coliformes). Dans les eaux de surface, Ces bactéries sont naturellement plus abondantes que dans les eaux souterraines.

2.3.1. Les coliformes fécaux

Ce sont des bactéries à Gram négatif, notamment l'espèce *E. coli* (*Escherichia coli*, provenant des intestins et des excréments des humains et des animaux à sang chaud. La présence de ces bactéries dites pathogènes dans l'eau est dangereuse pour la santé des consommateurs ainsi que les batailles. La consommation d'une eau infectée par des coliformes fécaux peut entraîner des maladies très graves et, dans certains cas, peut causer la mort. Les premiers symptômes liés à la contamination par les coliformes fécaux sont généralement de nature gastro-intestinale (nausées, vomissements et diarrhée). Il est à noter que la concentration maximale acceptable de la bactérie *E. coli* dans les systèmes d'approvisionnement en eau potable publics et privés est de zéro (0) UFC/100mL. (Bakatubala, 2021)

2.3.2. Les Entérocoques (Streptocoques fécaux)

Ce sont des bactéries pathogènes à Gram positif presque toujours liées à la contamination fécale, notamment l'espèce *Enterococcus faecalis*. Les Entérocoques résistent naturellement aux substances aseptiques qui devraient empêcher leur croissance. Certains entérocoques peuvent se transformer en germes initiateurs de plusieurs maladies telles que les angines, les otites, les méningites et d'autres toutes aussi sérieuses. (Bakatubala, 2021)

2.3.3. Les coliformes totaux

Concernent le décompte total des bactéries de type coliformes. Bien que la plupart dérivent de la flore liée aux végétaux, certains coliformes totaux peuvent être d'origine fécale (de 10 à 15%). Ces bactéries servent d'indicateurs de pollution ou de contamination microbiologique. Dans le cas d'un puits cela peut révéler la présence d'une infiltration de l'eau de surface. Si l'analyse d'eau détecte la présence de coliformes totaux dans une concentration de plus de 10 UFC/100ml, il faut désinfecter le puit. On suggère aussi de faire un nouvel échantillonnage de l'eau potable dans les 30 jours qui suivent. (Bakatubala, 2021)

2.3.4. Recherche des germes Totaux pathogènes à 22 C° et 37 C°

Ils n'ont pas d'effets directs sur la santé, mais sous certaines conditions ils peuvent générer des problèmes dans les systèmes de dialyse. Une faible valeur des germes totaux est le témoin de l'efficacité

du traitement et de l'intégrité du système de distribution (pas de stagnation de l'eau, entretien efficace...). Leur très grande sensibilité en fait un signal d'alarme, avant apparition des bactéries sulfite-réductrices et des coliformes. Leur présence en grand nombre est le signe d'une dégradation de la qualité de l'eau, soit à la ressource, soit dans le réseau. Les bactéries d'origine résiduaire (environnementale) sont dénombrées à 22°C sur une période de 72 heures d'incubation, et les bactéries d'origine intestinale (humaine ou animale) à 37°C sur une période d'incubation de 24 heures. (website1)

Chapitre 3 Matériel et méthodes

3.1. Description et localisation des sites d'échantillonnage

Les eaux étudiées ont été prélevées à partir de trois sources dispersées à travers la wilaya de Biskra. Il s'agit de la source de Loutaya située dans le nord de la wilaya, la source de Sidi Khelil située dans l'est et finalement la source d'Oued besbas située dans l'ouest de la wilaya, (Tolga) (Figure. 1). Tandis que la quatrième source étudiée est celle de la station de traitement de l'eau de la nappe phréatique localisée à Tolga. Cette dernière fournit de l'eau largement distribuée pour la population de la région de Biskra et ses environnants dans des citernes mobiles.



Figure 1. Localisation des sources d'eau étudiées.

3.2. Techniques de prélèvement

L'étape d'échantillonnage influence directement sur les résultats analytiques obtenus. Des précautions élémentaires doivent être prises en considération pour obtenir un échantillon représentatif afin de minimiser les risques associés à la contamination de l'échantillon.

Des bouteilles stériles de 1 litre en plastique ont été remplies après les avoir rincées avec l'eau à étudier. Puis, les bouteilles ont été transportées dans des glacières isothermiques pour garder la température de l'eau étudiée constante jusqu'à leur acheminement au laboratoire.

3.3. Analyses physicochimiques

Toutes les méthodes citées dans cette partie sont celle adoptées par l'ADE

3.3.1. Méthodes électrochimiques

Ces méthodes sont utilisées pour la mesure de pH à l'aide d'un pH mètre et celle de la conductivité avec un conductimètre.

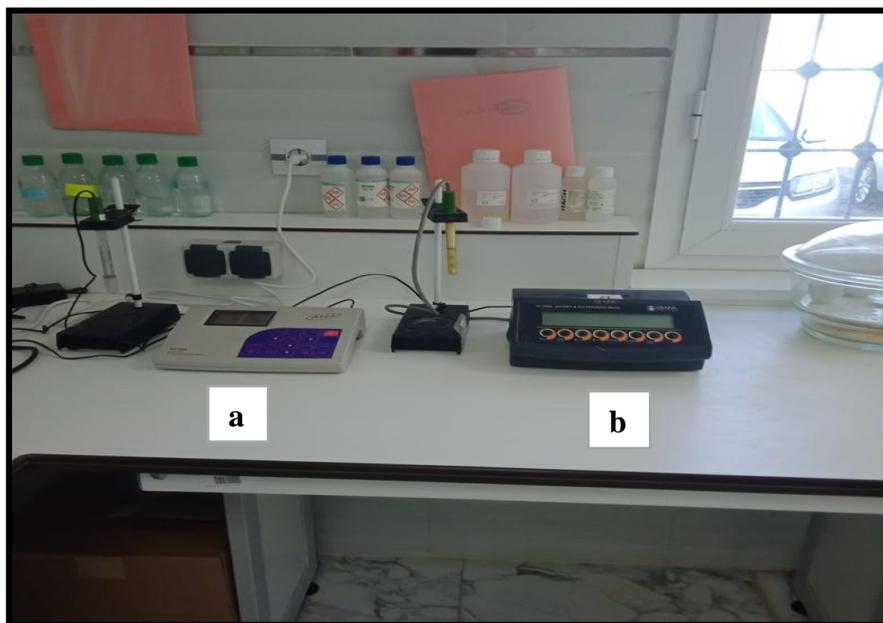


Figure 2. a :pH mètre, b :conductimètre

3.3.1.1. Détermination du potentiel hydrogène (pH)

a. Principe

La détermination électrométrique du pH s'effectue par mesure de la différence de potentiel entre une électrode en verre et une électrode de référence (calomel-KCl saturé) plongeant dans une même solution.

b. Matériel

- pH-mètre.
- Electrode.
- Agitateur magnétique, barreaux magnétiques.
- Bécher de 50 ml.

c. Mode opératoire**➤ Etalonnage du pH mètre**

Pour étalonner le pH mètre on l'émerge dans une solution étalon de pH = 7, il affiche la valeur 7, on l'émerge ensuite dans une solution de pH = 4 il affiche la valeur 4. On passe ensuite à la mesure de pH de nos échantillons.

➤ Mesure et calcul du résultat

- Rincer l'électrode avec l'eau distillée puis plusieurs fois avec l'échantillon.
- Prolonger l'électrode dans l'eau à analyser.
- Laisser l'électrode se stabiliser pendant quelques secondes.
- Noter la valeur affichée.

3.3.1.2. Détermination de la conductivité**a. Principe**

La conductivité électrique d'une eau est une mesure du courant électrique conduit par les ions présents dans l'eau. Elle dépend de la concentration, nature des ions, de la température et la viscosité de la solution. La conductivité d'une solution est définie comme la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de la conductivité électrique est le siemens par mètre (S/m) mais est généralement exprimée en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

b. Réactifs

- Standard de conductivité à 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0.01 M de KCl).

c. Matériel

- Conductimètre HACH senSion 7.
- Electrode de conductivité.
- Becher de 50 ml.
- Agitateur magnétique, barreaux magnétiques.

d. Mode opératoire

➤ **Etalonnage de l'équipement**

On émerge l'électrode dans la solution de standard de conductivité (0.01 M de KCl) l'appareil doit afficher la valeur 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

➤ **Mesure et calcul du résultat**

- Placer la cellule au centre de la bouteille qui contient l'eau à analyser, dans le cas contraire les parois de la bouteille peuvent perturber les lignes de courant et la précision de la mesure
- Noter la valeur affichée sur le conductimètre en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.3.2. Méthode volumétrique

La titrimétrie ou titrage est une technique de dosage utilisée en chimie analytique afin de déterminer la concentration d'une espèce chimique en solution (ou titre d'une solution).

La méthode de titrage la plus utilisée est la volumétrie ou titrage volumétrique. Elle consiste à utiliser une solution de concentration connue (titrant) afin de neutraliser une espèce contenue dans la solution inconnue (espèce titrée)

3.3.2.1. Détermination de la dureté totale ou titre hydrométrique (TH)

La détermination de dureté totale se fait selon la norme : NF T 90-9003 Aout 1984.

a. Principe

Titration par complexométrie des ions calcium et magnésium avec une solution aqueuse de sel disodique d'acide éthylène-diamine tétraacétique (EDTA) à un pH de 10. L'indicateur utilisé est le noir ériochrome, qui donne une couleur rose en présence des ions calcium et magnésium. Lors du titrage avec l'EDTA la solution vire au bleu.

b. Matériel

- Burette de 25 à 50 ml utilisée pour l'EDTA.
- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, béchers...
- pH-mètre.

c. Réactifs

- Calcium, solution étalon de référence à 0,01 mol/l.
- EDTA, solution titrée à 0,01 mol/l.
- Solution tampon pH 10.

- Mordant noir 11, indicateur.

d. Mode opératoire

➤ Calcul de facteur de correction (Fc)

Prendre 50 ml de la solution de référence calcium à 100 mg/l. S'en servir pour titrer la solution d'EDTA en versant lentement l'EDTA jusqu'au virage au violet. Lorsque la coloration violette est obtenue, noter le volume d'EDTA versé.

Le facteur de correction Fc est égal à :

$$F_c = \frac{\text{Volume versé}}{\text{Volume théorique (12.5 ml)}}$$

Si : $0,96 \leq F_c \leq 1,04$, alors la solution d'EDTA est utilisable pour le dosage.

➤ Dosage

Prélever une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon, ajouter 4 ml de la solution tampon et une pincée d'indicateur NET. Bien mélanger, la solution doit se colorer en rose. Titrer immédiatement avec la solution d'EDTA, en versant lentement jusqu'au virage au bleu. La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

➤ Mesures et calcul du résultat

La concentration totale en ions calcium et magnésium ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$), exprimée en °F, est donnée par la formule : $\text{TH} = V_2 \times 2 \times F \times F_c$

Où

- **TH** : dureté exprimée en °F.
- **V2** : est le volume, en millilitres, d'échantillon dosé.
- **Fc** : facteur de correction.
- **F** : facteur de dilution.

3.3.2.2. Détermination de la dureté calcique (TH Ca^{++})

La détermination de dureté calcique se fait selon la norme :NF EN ISO 6058-1984.

a. Principe

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un pH compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est le murexide, qui forme un complexe rose avec le calcium. Lors du

titrage, l'EDTA réagit avec les ions calcium, l'indicateur vire alors de la couleur rose à la couleur violet.

b. Réactifs

- Hydroxyde de sodium, solution 2 N.
- Calcium, solution de référence à 100 mg/l.
- EDTA, solution titrée 0,01 mol/l.
- Murexide (indicateur).

c. Mode opératoire

➤ **Calcul du coefficient de correction (Fc)**

Prendre 50 ml de la solution de référence calcium à 100 mg/l. S'en servir pour titrer la solution d'EDTA en versant lentement l'EDTA jusqu'au virage au violet. Lorsque la coloration violette est obtenue, noter le volume d'EDTA versé.

Le facteur de correction Fc est égal à :

$$F_c = \frac{\text{Volume versé}}{\text{Volume théorique (12.5 ml)}}$$

Si : $0,96 \leq F_c \leq 1,04$, alors la solution d'EDTA est utilisable pour le dosage.

➤ **Dosage**

Prélever une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon, ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde 2 N et une pincée d'indicateur (Murexide). Bien mélanger le tout. Titrer avec la solution d'EDTA, en versant lentement. Le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement violette. La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

➤ **Mesures et calcul du résultat**

La teneur en calcium, exprimée en mg/l, est donnée par l'équation :

Où :

- **C1** : concentration, exprimée en mole par litre, de la solution EDTA, soit 0,01.
- **V0** : est le volume, en millilitres, de la prise d'essai, soit 50 ml.
- **V1** : est le volume, en millilitres, de la solution d'EDTA, utilisé pour le dosage.
- **A** : est la masse atomique du calcium (40,08 g).

- **F_c** : facteur de correction du titre.
- **F** : facteur de dilution.

3.3.2.3. Détermination de titre alcalimétrique complet (TAC)

La détermination de TAC totale se fait selon la norme :NF ISO 9963-1février 1996.

a. Principe

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaires pour neutraliser, aux niveaux de pH 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. la première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), La seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

b. Réactifs

- Acide chlorhydrique (HCl) concentré à 37 %.
- Solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 0.01 N.

c. Matériel

- pH-mètre.
- Electrode.
- Burette manuelle ou burette automatique.
- Agitateur magnétique, barreaux magnétiques.
- Bécher de 50 ml.

d. Mode opératoire

Comme pour toute méthode instrumentale, la méthode d'essai est très étroitement liée au matériel dont on dispose ; se reporter à la notice de l'appareil.

Amener 100 ml d'eau à analyser au pH 4.3 ; Soit V₂ le volume total d'acide employé.

Si le pH est supérieur à 8.3 verser lentement l'acide chlorhydrique pour obtenir cette valeur.

Noter le volume V₁ lu au dosimat.

➤ Mesures et calcul du résultat

Le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC), exprimés en mg/l par litre sont donnés respectivement par les expressions :

$$TA = (V_1 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des carbonates} / V$$

$$TAC = (V_2 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des bicarbonates} / V$$

Masse molaire des bicarbonates = 61mg

Masse molaire des carbonates = 60mg

Si l'eau contient des bicarbonates seulement donc :

$$TA = 0$$

Et

$$TAC = (\text{HCO}_3^-) \text{ mg/l} = V1 * 61.$$

Si l'eau contient des carbonates et des bicarbonates donc :

$$TA = (\text{CO}_3^{2-}) \text{ mg/l} / 2.$$

Et

$$TAC = (\text{HCO}_3^-) \text{ mg/l} + 2TA.$$

Où ;

- **V** est le volume en millilitres, de la prise d'essai (100) ml.
- **V1** est le volume de la solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 0,01 N versé de la burette.
- **V2** est le volume d'acide chlorhydrique en millilitres.
- **N** est la normalité de la solution d'acide chlorhydrique = 0.01N.

3.3.2.4. Détermination des chlorures

La détermination des chlorures se fait selon la norme :NF ISO 9297 Février 2000.

a. Principe

Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation.

b. Réactifs

- Solution de nitrate d'argent (AgNO_3) à 0,02 mol/l.
- Solution d'indicateur de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 100 g/l.
- Solution étalon de chlorure de sodium (Na Cl) à 0.02 mol/l.

- Solution d'acide nitrique (HNO₃) à 0.1 mol/l.
- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0.1 mol/l.
- Carbonate de calcium (CaCO₃) ou mono hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO₃) en poudre.

c. Matériel

- Burette.
- Capsules en porcelaine de 100 ml.
- Pipettes.
- Fioles.
- Bécher.

d. Mode opératoire

➤ **Dosage**

Introduire 100 ml de l'échantillon dans une capsule en porcelaine blanche ou dans une fiole ou dans un bêche conique, placé sur un fond blanc.

Ajouter 1 ml d'indicateur de chromate de potassium et titrer la solution par addition goutte à goutte de solution de nitrate d'Argent jusqu'à ce que la solution prenne une couleur rougeâtre. Après addition d'une goutte de solution de Chlorure de Sodium cette coloration doit disparaître.

➤ **Essai à blanc**

Titre une solution à blanc en utilisant 100 ml d'eau distillée à la place de l'échantillon pour essai. La valeur de l'essai à blanc ne devrait pas dépasser 0.2 ml de Nitrate d'Argent (a), dans le cas contraire, vérifier la pureté de l'eau.

➤ **Expression des résultats**

La concentration en chlorure PCl exprimée en milligrammes par litre, est donnée par formule

$$P_{Cl} = \frac{(V_s - V_b)}{V_a} C * f$$

Où

- **PCl** : est la concentration en milligramme par litre de chlorure.

- **V_a** : est le volume, en millilitres de l'échantillon pour essai (maximum 100 ml ; les dilutions doivent être prises en compte).
- **V_b**: est le volume, en millilitres de solution de Nitrates d'Argent utilisée pour le titrage de du blanc.
- **V_s** : est le volume, en millilitres de solution de Nitrates d'Argent utilisée pour le titrage de l'échantillon.
- **C** : est la concentration réelle exprimée en moles d'AgNO₃ par litre, de la solution de Nitrate d'Argent.
- **f** : est le facteur de conversion $f=35453$ mg/mol.

3.3.3. Méthodes spectrophotométriques

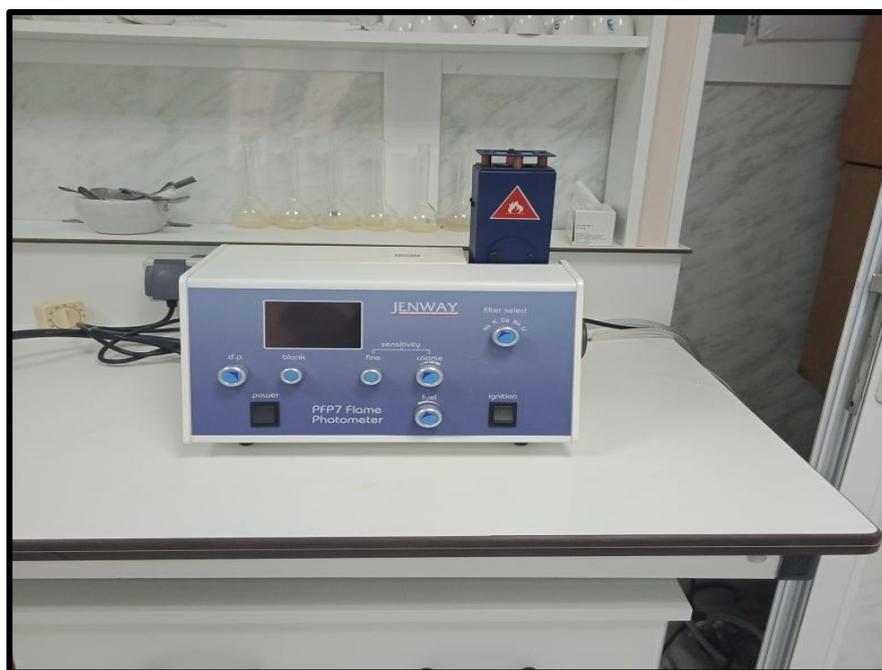


Figure 3. Le spectrophotomètre de flamme

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée, généralement en solution.

La densité optique d'une solution est déterminée par spectrophotomètre préalablement étalonné sur la longueur d'onde d'absorption de la substance à étudier. Tous les dosages qu'on va pratiquer, leur lecture se fait avec spectrophotomètre.

Afin d'effectuer ce dosage une courbe d'étalonnage doit être réalisée en préparant des solutions de concentrations connues et en faisant la lecture de la densité optique de ces solutions.

Dans le spectrophotomètre utilisé, la courbe d'étalonnage est réalisée automatiquement et les résultats sont obtenus directement.

3.3.3.1. Dosage des nitrates NO_3^-

Le dosage des nitrates se fait selon la norme Afnor T90-012.

a. Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitro-salicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

b. Réactifs

- Solution de Salicylate de Sodium à 0.5%
- Solution d'hydroxyde de Sodium à 30%.
- Solution de tartrate double de sodium et de potassium.
- Acide sulfurique (H_2SO_4) concentré.
- Solution mère de nitrate à 1000 mg/l
- Solution fille étalon de nitrate 10 mg/l

c. Matériel

- Balance analytique de laboratoire précision 0.1 μg ;
- Capsules de 100 ml ;
- Pipettes 10ml, 5ml, 2ml, 1ml ;
- Paires à pipeter ;
- Etuve pour séchage ;
- Spectrophotomètre UV-Visible.

d. Mode opératoire

➤ Etablissement de la courbe d'étalonnage

Le tableau ci-dessous présente les étapes de préparation de la gamme d'étalonnage.

Table 1. Préparation de la courbe d'étalonnage des Nitrates

N° des capsules	T	1	2	3	4	5	6
Solution fille de NO ₃ ⁻ à 10mg/l (ml)	0	1	2	4	6	8	10
Eau distillée (ml)	10	9	8	6	4	2	0
Correspondance en mg/l de nitrates	0	1	2	4	6	8	10
NaOH 30%	3 gouttes						
Solution de Salicylate de Na (ml)	1	1	1	1	1	1	1
Evaporation à sec à 80°C							
H ₂ SO ₄ concentré (ml)	2	2	2	2	2	2	2
Laisser reposer 10 min							
Tartrate double de Na et K (ml)	15	15	15	15	15	15	15

Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415nm, construire la courbe d'étalonnage.

➤ **Dosage**

- Introduire 10ml d'eau à analyser
- Ajouter 3 gouttes de la solution d'hydroxyde de Sodium à 30%.
- Ajouter 1 ml de solution de Salicylate de sodium à 0.5 %.
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88°C.
- Prendre le résidu avec 2 ml d'acide sulfurique concentré.
- Laisser reposer 10 minutes.

- Ajouter 15 ml d'eau distillée.
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium.
- Faire la lecture au spectromètre UV-Visible à la longueur d'onde de 415 nm.

➤ **Mesures et calcul du résultat :**

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre UV-Visible en mg/l des Nitrates.

3.3.3.2. Dosage des nitrites NO_2^-

Le dosage des nitrites se fait selon les normes ISO 6777 NA 1657/ISO 5667.

a. Principe

Réaction des ions nitrites présents dans une prise d'essai, à pH 1,9 avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide en présence d'aide ortho phosphorique pour former un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose avec le dichlor-hydrate de N-(naphtyl-1)diamino- 1,2 éthane (ajouter avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide) mesurage de l'absorbance à 540 nm.

La minéralisation de la matière organique présente dans le sol est réalisée par des micro-organismes. L'azote minéral ainsi produit est ensuite transformée par des bactéries aérobies en nitrates. Cette transformation, appelée nitrification, comporte deux étapes : la nitrification qui produit des nitrites (NO_2^-) et la nitrification qui transforme les nitrites en nitrates. Si les conditions de milieu le permettent, les nitrates seront utilisés par des bactéries anaérobies comme source d'énergie et transformés en azote gazeux. Notons que les nitrates peuvent également s'adsorber et se fixer sur les argiles et humus. Les nitrites sont les sels de l'acide nitreux.

b. Réactifs

- Réactif mixte
- Solution étalon mère de nitrites 100 mg/l
- Solution étalon fille de nitrites 1 mg/l

c. Matériel

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles et pipettes...)
- Spectrophotomètre UV -Visible permettant des mesurages à une longueur d'onde de 540 nm, équipé de cuves de 10 mm d'épaisseurs.

d. Mode opératoire

➤ **Nettoyage de la verrerie**

La verrerie doit être lavée avec une solution d'acide chlorhydrique à environ 2mol/l et rincée abondamment à l'eau avant l'emploi.

➤ **Calibration**

Dans une série de fioles jaugées de 50 ml, introduire à l'aide d'une pipette, les volumes de la solution étalon fille de nitrites 1 mg/l, indiqués dans le tableau ci-dessous, ajouter de l'eau distillée au contenu de chaque fiole, ajouter ensuite 1 ml du réactif mixte et attendre au moins 20 mn. L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- . Enfin, mesurer l'absorbance de chaque étalon à la longueur d'onde (environ 540 nm).

Table 2. Préparation de la courbe d'étalonnage des Nitrites

Solution fille 1 mg/l	0	1	2	5	20	40
Eau distillée (ml)	50	49	48	45	30	10
Réactif Mixte (ml)	1	1	1	1	1	1
Attendre 20 mn						
$[\text{NO}_2^-]$ en mg/l	0	0.02	0.04	0.1	0.4	0.8

➤ **Dosage**

Introduire 50 ml d'échantillon, ajouter 1 ml du réactif mixte et attendre au moins 20 mn. L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- . Enfin, mesurer l'absorbance de chaque étalon à la longueur d'onde (environ 540nm).

Effectuer parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités des réactifs mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai.

➤ **Mesures et calcul du résultat**

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l des nitrites.

3.3.3.3. Dosage des sulfates

Le dosage des sulfates se fait selon la norme ISO 5667

a. Principe

Les ions sulfates sont précipités et dosés à l'état de sulfate de baryum suivant la réaction :



b. Réactifs

- Solution stabilisante
- Solution de chlorure de baryum (BaCl_2) à 0.01N
- Solution mère de sulfates à 1 g/l à partir de sulfate de sodium (Na_2SO_4)

c. Matériel

- Matériel courant de laboratoire (fioles, pipettes, béchers ...)
- Spectrophotomètre UV/Visible
- Agitateur magnétique

d. Mode opératoire

➤ Calibration

Le tableau ci-dessous présente les étapes de préparation de la gamme d'étalonnage

Table 3. Préparation de la courbe d'étalonnage des Sulfates

N° Fiole	0	1	2	3	4	5	6	7
Solution mère à 1 g/l (mL)	0	1	2	3	4	5	6	7
qsp eau distillée (mL)	100	99	98	97	96	95	94	93
Solution stabilisante (mL)	5	5	5	5	5	5	5	5
Agiter énergiquement pendant 1 mn.								
Solution BaCl_2 (mL)	2	2	2	2	2	2	2	2

Agiter énergiquement pendant 1 mn.								
Concentration. Finale en SO_4^{2-} en mg/L	0	10	20	30	40	50	60	70

Enregistrer la gamme dans le spectrophotomètre à la longueur d'onde 420 nm.

➤ **Dosage**

Procéder comme décrit à la calibration en effectuant un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités de réactif mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai.

➤ **Mesures et calcul du résultat**

Les résultats sont exprimés en SO_4^{2-} mg/L.

3.3.3.4. Dosage de Fer

Le dosage de fer se fait selon les norme ISO 6332/ISO 5667-1.

a. Principe

Addition d'une solution de phénantroline-1.10 a une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe rouge- orange à une longueur d'onde de 510 nm. Le complexe fer II- phénantroline-1.10 est stable dans l'intervalle de pH de 2.5 à 9 et l'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité du fer.

b. Réactifs

Tous les réactifs seront préparés à partir d'eau distillée exempte de toutes traces de fer.

- Solution d'acide chlorhydrique à 10%
- Solution de Peroxodisulfate de potassium à 40 g/l
- Solution de chlorhydrate d'hydroxylamine à 100 g/l
- Solution de phénantroline-1,10
- Solution tampon acétate
- Solution mère de fer correspondant à 1 g/l
- Solution intermédiaire (fille) de fer correspondant à 10 mg/l

c. Matériel

Toute la verrerie et flacons de prélèvement doivent-êtré lavés à l'acide chlorhydrique (HCl) à 1.12 g/ml.

- Spectrophotomètre UV-Visible convenant pour effectuer des mesurages à 510nm ;
- Cuve photométrique, de parcours optique d'au moins 10 mm et convenant pour l'absorbance prévue de la solution d'essai ;
- Balance analytique de laboratoire ;
- Fioles ;
- Pipettes.

d. Mode opératoire

➤ Calibration

Le tableau ci-dessous présente les étapes de préparation de la gamme d'étalonnage.

Table 4 . Préparation de la courbe d'étalonnage de Fer

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Solution fille à 10 mg/l (ml)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Volume d'eau distillée (ml)	100	98	96	94	92	90	88	86	84	82
Concentration Obtenue (mg/l)	0.00	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8

➤ Dosage

- Prendre comme prise d'essai, 50 ml.
- Transvaser la solution dans une fiole de 100 ml, ajouter 1 ml de la solution chlorhydrate hydroxylamine et mélanger soigneusement
- Ajouter 2.0 ml de tampon acétate pour obtenir un pH entre 3.5 et 5.5 de préférence 4.5.
- Ajouter 2.0 ml de la solution phénantroline et conserver pendant 15 min à l'obscurité.

- Mesurer l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre UV VIS à 510 nm en utilisant une cuve de 10 mm²
- Établir une courbe d'étalonnage en portant la concentration en fer en mg/l, en abscisses et l'absorbance mesurer correspondante, en en ordonnée.
- Enregistrer la courbe établit sur le spectrophotomètre dans le cas où le coefficient R est supérieur ou égale à 0.995 avec le maximum de point retenues.
- Procéder de la même façon pour l'analyse de l'échantillon.

➤ **Mesures et calcul du résultat**

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l du fer.

3.3.3.5. Dosage des Phosphates

Le dosage des phosphates se fait selon les normes ISO 6878/1 / ISO 5667

a. Principe

C'est une réaction des ions orthophosphates avec une solution acide contenant des ions molybdate et d'antimoine pour former un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate.

b. Réactifs

- Acide sulfurique à 9 mol/L (dilution de 1/2)
- Réactif mélange (solution molybdate acide)
- Acide ascorbique, solution, $\rho = 100$ g/l.
- Orthophosphates, solution mère, $\rho = 50$ mg/l
- Orthophosphates, solution étalon, $\rho = 2$ mg/l

c. Matériel

- Balance analytique à 0,1 g et à 0,0001 g près.
- Spectromètre doit convenir pour la mesure de l'absorbance dans les régions du spectre visible et proches de l'infrarouge. La longueur d'onde la plus sensible est 880nm, mais si une perte de sensibilité peut être admise l'absorbance peut être mesurée à 700 nm.

d. Mode opératoire

➤ **Nettoyage de la verrerie**

La verrerie doit être lavée avec une solution d'acide chlorhydrique (1.12g/ml) à environ 40°C à 50 °C et rincée soigneusement avec de l'eau. Ne pas utiliser de détergents contenant des phosphates. la verrerie utilisée pour la phase de développement de la coloration doit être rincée de temps en temps avec une solution d'hydroxyde de sodium (2 mol/l) à fin d'éliminer les dépôts de complexe coloré qui ont tendance à adhérer en fines couches aux parois de la verrerie.

➤ Calibration

Le tableau ci-dessous présente les étapes de préparation de la gamme d'étalonnage.

Table 5. Préparation de la courbe d'étalonnage des Phosphates

N° Fiole	0	1	2	3	4	5	6
Solution fille à 2.0 mg/l P (ml)	0	0.8	1.6	2	4	6	8
qsp 40 ml eau distillée (ml)	40	39.2	38.4	38	36	34	32
Concentration. mg/l en P	0.0	0.04	0.08	0.1	0.2	0.3	0.4
Concentration. mg/l en PO_4^{3-}	0.0	0.1224	0.2448	0.306	0.612	0.918	1.224
Formule : $\text{P} \times 3.06 = \text{PO}_4^{3-}$							
Acide ascorbique (ml)	1	1	1	1	1	1	1
Réactif –mélange (ml)	2	2	2	2	2	2	2
qsp 50 ml eau distillée en ml	7	7	7	7	7	7	7

Après un laps de temps compris entre 10 à 30 min, mesurer l'absorption à 880 nm.

➤ Dosage

Introduire 40 ml d'échantillon, ajouter 1 ml d'acide ascorbique et 2mL de réactif mélange dans une fiole jaugée de 50 ml. Compléter le volume. Effectuer parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités de réactif mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai.

3.3.3.6. Dosage de l'Ammonium

Le dosage d'ammonium se fait selon les normes ISO 7150/1 / ISO 5667.

a. Principe

Mesurage spectrométrique du composé bleu former par réaction de L'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium. Les ions hypochlorite sont générés in situ par hydrolyse alcaline du sel de sodium du dichloroisocyanurate de sodium.

b. Réactifs

- Réactif coloré
- Solution de Dichloroisocyanurate de sodium
- Solution mère étalon d'ammonium 100 mg/l
- Solution fille étalon d'ammonium 1 mg/l
- Solution de lavage

c. Matériel

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles et pipettes).
- Spectrophotomètre UV/VIS.

d. Mode opératoire**➤ Nettoyage de la verrerie**

Toute la verrerie doit-être soigneusement lavée par emploi de solution de (e) puis rincée abondamment avec de l'eau distillée.

➤ Calibration

Dans une série de fioles jaugées de 50 ml, introduire à l'aide d'une pipette, les volumes de la solution étalon fille d'ammonium 1 mg/l, indiqués dans le tableau ci-dessous, ajouter de l'eau distillée au contenu de chaque fiole, prélever 40 de chacune des solutions, ajouter ensuite 4 ml du réactif coloré et 4 ml du de dichloroisocyanurate de sodium et homogénéiser. Après au moins 60 mn, attendre le développement de la couleur. Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 655nm.

Table 6. Préparation de la courbe d'étalonnage d'Ammonium

➤ Essais

Prélever 40 ml d'échantillon à analyser, ajouter dans l'ordre :

Solution fille 1 mg/l	0	1	2	3	4	5	25	50
Eau distillée (ml)	50	49	48	47	46	45	25	0
Réactif coloré (ml)	4	4	4	4	4	4	4	4
Réactif de dichloroisocya nurate (ml)	4	4	4	4	4	4	4	4
Attendre au moins 60 mn								
[NH ₄ ⁺] en mg/l	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.5	1

- 4 ml du réactif coloré homogénéisé ;
- 4 ml du réactif de Dichloroisocyanurate de sodium, et homogénéiser.

Après au moins 60 mn, attendre le développement de la couleur. Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 655nm comme nous avons procédé pour la gamme d'étalonnage.

➤ Mesures et calcul du résultat

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l d'ammonium.

3.3.4. Autre méthode

3.3.4.1. Détermination des résidus secs

La détermination des résidus sec se fait selon la norme NA 6945

a. Principe

Evaporation au bain d'eau bouillante d'un volume d'eau choisie en fonction des quantités de matières fixes présentes, dessiccation à l'étuve à température donnée et pesée du résidu.

- Le résidu sec à 100-105 °C

Résulte de l'évaporation simple de l'eau mais aussi de l'évaporation, en totalité ou en partie, de l'eau occluse et de l'eau de cristallisation des sels ; des pertes en dioxyde de carbone peuvent résulter de la transformation des bicarbonates en carbonates. Il peut y avoir, en outre, une perte plus au moins négligeable de matières organiques.

- Le résidu sec à 175-185 °C

Peut encore résulter de la perte d'eau de cristallisation, en particulier si des sulfates sont présents ; la presque totalité de l'eau occluse est éliminée, les bicarbonates sont transformés en carbonates, certains chlorures et certains nitrates sont décomposés où même volatilisés. Les matières organiques, d'origine naturelles sont peu atteintes bien que certaines d'entre elles puissent être volatilisées.

b. Mode opératoire

➤ **Matériel**

- Capsule en porcelaine, en verre borosilicaté.
- Balance permettant d'effectuer la pesée de la capsule et de son contenu à 0.1 mg près.
- Etuve réglable à 100-105°C ou 175-185°C.
- Four réglable à 525°C.

➤ **Essai**

- Nettoyer la capsule à l'acide chlorhydrique (HCl) ou à l'acide nitrique (HNO₃) dilués au dixième environ et tièdes, puis à l'eau distillée. La sécher par passage à l'étuve, puis la calciner dans le four réglé à 525 °C. Laisser refroidir presque jusqu'à la température ambiante puis placer dans un dessiccateur pendant 1/4 d'heure environ et peser. Soit M₀ la masse de la capsule vide.
- Faire évaporer progressivement au bain d'eau bouillante la prise d'essai introduite, éventuellement en plusieurs fractions successives, dans la capsule : il est recommandé de ne remplir celle-ci que jusqu'à mi-hauteur, vers la fin de l'opération, rincer à l'eau distillée la fiole jaugée qui a servi à mesurer la prise d'essai et verser les eaux de lavage dans la capsule. Une fois l'eau évaporée, placer la capsule dans l'étuve, réglée à 100-105°C et l'y laisser pendant 1 heure.

- Laisser refroidir la capsule et son contenu presque jusqu'à la température ambiante, pour la placer ensuite dans un dessiccateur pendant 1/4 d'heure environ et peser. Recommencer le cycle chauffage à 100-105°C – refroidissement- pesée jusqu'à ce que deux pesées consécutives ne diffèrent pas de plus de 0.5 mg. Soit M1 la masse trouvée.

3.4. Analyse microbiologique

Un examen bactériologique ne peut être valablement interprété que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé, dans un récipient stérile, selon un mode opératoire précis évitant toute contamination accidentelle, correctement transporté au laboratoire et analysé sans délai ou après une courte durée de conservation dans des conditions satisfaisantes.

Pour le dénombrement des coliformes, Entérocoques, la technique de filtration sur membrane a été utilisée. Le principe de la culture sur un milieu solide est que chaque bactérie donne naissance après incubation à une colonie repérable macroscopiquement. L'unité est alors exprimée en UFC/volume c'est-à-dire unité formant colonie par unité de volume. La technique de filtration sur membrane est la technique la plus utilisée au laboratoire, est une méthode utilisée dans le but de concentrer les micro-organismes présents dans 250ml de volume à travers une membrane poreuse de diamètre 0,45µm ou 0,20 µm. Les bactéries piégées à la surface de cette membrane sont mises en culture sur un milieu gélosé donné et pendant une durée précise.



Figure 4 . Technique de filtration sur membrane.

3.4.1. Recherche et dénombrement des bactéries Coliformes

Le dénombrement des bactéries coliformes se fait selon la norme NF EN ISO 9308-1

a. Définition

Au sens de cette méthode, on entend par coliformes des bacilles Gram négatifs, aérobies ou anaérobies facultatifs, non sporulés, ne possédant pas d'oxydase, capable de se multiplier en présence de sels biliaire et capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36 et 37°C.

b. Matériel

- Appareil de filtration sur membranes ;
- Membranes filtrantes 0,45µm ;
- Pinces à bouts arrondis, pour la manipulation ;
- Boîtes de pétri en matière plastique ;
- Étuve capable de maintenir une température de 37°C.

- Bec benzène

c. Milieu de culture

- Gélose TTC

d. Mode opératoire

- Tout d'abord, il faudrait stériliser l'entonnoir en acier inoxydable ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen.
- Les refroidir tout de suite après, avec l'eau à analyser si en dispose en quantité suffisante ou bien avec de l'eau distillée stérile.
- Mettre en place de façon aseptique une membrane d'une porosité nominale de $0,45\mu$ entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Fixer ce dispositif avec la pince correspondante.
- Déposer ensuite aseptiquement 100 ou 250ml d'eau à analyser, selon les types d'eaux à analyser, devant un bec bunsen.
- Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane.
- Retirer l'entonnoir puis transférer immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince à bouts arrondis stérile, sur la surface d'une plaque de gélose TTC préalablement préparée. Cette dernière sera incubée couvercle en bas à $36\pm 2^\circ\text{C}$ pendant 21 ± 3 heures voire 44 ± 4 heures et servira à la recherche des bactéries coliformes.

3.4.2. Recherche et dénombrement des Entérocoques

La recherche des Entérocoques se fait selon la norme ISO 7899-2

a. Définition

Au sens de cette méthode, on entend par Entérocoques intestinaux des bactéries qui se présentent sous forme de Cocci à Gram positif, sphérique ou ovoïdes formant des chaînettes, ne possédant pas de catalase mais possédant un antigène du groupe D.

Ils sont capables de se développer en 24 à 48 heures à 37°C sur un milieu sélectif à l'azoture de sodium en donnant des colonies caractéristiques réduisant le TTC et qui de plus

hydrolysent l'esculine en 2 heures à 44°C après repiquage d'une colonie sur une gélose biliée à l'esculine et à l'azoture.

b. Matériel

- Appareil de filtration sur membranes.
- Membranes filtrantes 0,45µm.
- Pinces à bouts arrondis, pour la manipulation.
- Boîtes de pétri en matière plastique.
- Étuve capable de maintenir une température de 37°C.

c. Milieu de culture

- Gélose Slanetz et Barteley.

d. Mode opératoire

- Tout d'abord, il faudrait stériliser l'entonnoir en acier inoxydable ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen.
- Les refroidir tout de suite après, avec l'eau à analyser si on en dispose en quantité suffisante ou bien avec de l'eau distillée stérile.
- Mettre en place de façon aseptique une membrane d'une porosité nominale de 0,45µm entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Fixer ce dispositif avec la pince correspondante.
- Déposer ensuite aseptiquement 100 ou 250ml d'eau à analyser, selon les types d'eaux à analyser, devant un bec bunsen
- Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane
- Retirer l'entonnoir puis transférer immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince à bouts arrondis stérile, sur la surface d'une plaque de gélose Slanetz et Barteley préalablement préparée. Cette dernière sera incubée couvercle en bas à 36±2°C pendant 44±4heures.

3.4.3. Recherche et dénombrement des Microorganismes Revivifiables à 22°C et à 37°C

La détermination des revivifiables se fait selon le journal officiel de la république algérienne N°21 du 23 avril 2013.

a. Matériel

- Pinces, pour la manipulation.
- Boîtes de pétri en matière plastique.
- Étuve capable de maintenir une température de 36°C.
- Étuve capable de maintenir une température de 22 °C.

b. Milieu de culture

- Gélose T.G.E.A fondue

c. Mode Opérateur

- A partir de l'eau à analyser (SM = 1) et/ou des dilutions décimales 10^{-1} et 10^{-2} porter aseptiquement 1 ml en double dans deux boîtes de Pétri vides, numérotées et préparées à cet usage. Compléter ensuite avec environ 19 ml de gélose T.G.E.A fondue puis refroidie à $45 \pm 2^\circ\text{C}$. Le temps qui s'écoule entre le moment où l'on a distribué l'inoculum dans la boîte et celui où le milieu est coulé ne doit pas excéder 15 minutes.
- Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose, sur une surface fraîche et horizontale.
- Laisser solidifier les boîtes sur pailleasse, puis ajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose. Cette double couche, a un rôle protecteur contre les contaminations externes diverses.

Les boîtes seront partagées en deux séries distinctes :

- La première série sera incubée à $22 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 68 ± 4 heures,
- La seconde série sera incubée à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 44 ± 4 heures.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

4.1. Paramètres physico-chimiques

Les résultats des analyses des différents paramètres physico-chimiques des eaux étudiées sont présentés dans le tableau ci-après :

Table 7. Les résultats d'analyses physico-chimiques des quatre échantillons

Paramètres	Norme	Unité	Station de traitement	Sidi Khelil	Loutaya	Oued besbas
pH	6.5-8.5		7.92	7.24	7.14	7.05
Conductivité	2800	μS/Cm	460	1260	720	876
Température	25	TC°	23.6	24	24.5	20.3
Titre TAC	/	mg/l	39.21	117.64	109.8	149
Bicarbonates	250	mg/l	47.83	143.52	133.96	181
TH	/	°F	18	68	50	38
Calcium	200	mg/l	44.08	124.24	112.22	98
Magnésium	150	mg/l	17.01	89.95	53.48	36
Chlorures	500	mg/l	27.8	101.57	67.71	66
Fer total	0.3	mg/l	0.01	0.01	0.01	0.01
Phosphates	0.5	mg/l	0.01	0.01	0.01	0.01
Nitrite	0.1	mg/l	0.01	0.01	0.01	0.01
Ammonium	0.5	mg/l	0.01	0.02	0.01	0.01
Sulfates	250	mg/l	41.99	153.68	85.42	72
Nitrates	50	mg/l	5.83	13	24	14.26
Résidus Sec	2000	mg/l	250	450	450	450

4.2. Les paramètres organoleptiques

4.2.1. La couleur, le goût et l'odeur

Par observation à l'œil nu, il est remarqué que les quatre échantillons sont incolores. Et par appréciation personnelle, nous avons constatés que les quatre échantillons d'eaux sont inodores et sans saveurs. Ainsi, nous avons supposé que la bonne qualité organoleptique des eaux étudiées est due essentiellement à l'absence des matières organiques colorées et à la nature des substances dissouts.

4.3. Les résultats microbiologiques

Table 8. Bulletin des analyses bactériologiques.

N	Source	Date de prélèvement	Paramètres (UFC/ml)				Observation
			Germes Totaux	Coliformes totaux	Coliformes fécaux	Strep. fécaux	
01	Station de traitement	17/05/2021	18	ABS	ABS	ABS	Eau conforme
02	Sidi khelil	25/05/2021	09	03	ABS	ABS	
03	Loutaya	27/05/2021	13	ABS	ABS	ABS	
04	Oued besbas	29/05/2021	104	17	ABS	07	Eau Non conforme

4.4. Discussion

Dans cette partie, nous essayons de fournir une interprétation des résultats obtenus.

Le premier résultat montre que les quatre sources étudiées ont un pH qui ne varie pas beaucoup de la neutralité ainsi ce sont conformes aux normes algériennes. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par SOUDANI, 2016, ayant trouvés des valeurs estimées entre 7.23 à 7.60 dans l'eau de robinet des citées de la ville de Biskra à savoir, Cors, Ancien Biskra, Cité el oued et Alia Nord.

Quant aux résultats de la conductivité sont interprétés selon les normes (Rodier J. B., 1996) présentés dans le tableau ci-dessous.

Table 9. La variation de la minéralisation de l'eau en fonction de la conductivité

Conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$	Appréciation
Conductivité $<100\mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation très faible
$100\mu\text{s}/\text{cm} < \text{Conductivité} < 200\mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation faible
$200\mu\text{s}/\text{cm} < \text{Conductivité} < 333\mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation moyenne accentrée
$333\mu\text{s}/\text{cm} < \text{Conductivité} < 600\mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation moyenne
$666\mu\text{s}/\text{cm} < \text{Conductivité} < 1000\mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation importante
Conductivité $<1000\mu\text{s}/\text{cm}$	Minéralisation excessive

Selon le tableau ci-dessus, nous avons trouvé que l'eau provienne de la station de traitement a une minéralisation moyenne. Les eaux des sources Loutaya et Oued Besbas ont minéralisation importante. Alors que l'eau était la plus minéralisée. Toutefois, ceci n'empêche pas que les quatre eaux restent dans la norme algérienne de potabilité.

Quant aux taux des résidus secs, nos résultats indiquent que les eaux étudiées ayant des taux nettement inférieurs à la norme notamment celle de la station de traitement car en effet, l'eau de cette station est filtrée via des membranes ce qui élimine les matières en suspension contrairement aux trois autres eaux de sources non traitées.

Cependant, la comparaison entre les valeurs observées de la conductivité, de la dureté et des résidus secs dans les eaux étudiées avec celle de l'eau du robinet distribuée dans la ville de Biskra (SOUDANI, 2016)(Annexe 2), nous a montré que ces dernières sont nettement supérieures ce qui explique fortement l'évitement de la consommation de l'eau du robinet par la population de la région et la préférence pour les eaux de sources et de la station de traitement distribuées par le biais de citernes.

Concernant les duretés des échantillons, nous avons constaté que celles d'Oued Besbas, la station de traitement et de Loutaya sont inférieures ou égales à la norme, respectivement. Tandis que la dureté de l'échantillon de Sidi Khelil est supérieure à la norme. Ceci est dû à la forte concentration en ions Mg^{++} et Ca^{++} (nature des roches).

A propos des duretés calciques et magnésiennes, nous avons trouvé que les eaux étudiées sont classées par ordre décroissant suivant : Sidi Khelil, Loutaya, Oued Besbas, station de traitement.

En effet, le calcium des eaux provient des roches calcaires et des formations gypsifères qui sont facilement solubles. (RODIER. J, 2005) La dose journalière du calcium dont le corps humain a besoin est de 700 à 900 mg/jour. Ainsi, on constate clairement que la concentration du calcium dans les eaux étudiées dépasse largement ces normes. Par ailleurs, le calcium dissout dans l'eau n'est pas absorbé en totalité par l'intestin. Ce qui ne laisse pas de préférence pour une eau ou une autre parmi celles étudiées. Toutes les eaux étudiées ont une concentration de Ca^{++} inférieure à 200 mg/l, ainsi elles ne présentent pas d'inconvénients pour les usages domestiques. (RODIER. J, 2005)

La comparaison de nos résultats avec ceux de la bibliographie, nous a montré que généralement le pH ne varie pas selon la région. Alors que la conductivité et la dureté ont tendance à diminuer en allant du sud vers le nord. La conductivité de 886 $\mu\text{S}/\text{cm}$ constatée dans les eaux de Tlemcen (BOUCHEMAL, 2017), 876/1260 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans la région de Biskra, et 3140 dans l'eau de Tamanrasset (BOUCHEMAL, 2017). La dureté totale 44.5°F dans l'eau de Tlemcen (BOUCHEMAL, 2017), 38/68 dans les sources de Biskra, et 82.5 dans l'eau de Tamanrasset (BOUCHEMAL, 2017). Cette augmentation de la conductivité et de la dureté total en descendant vers le sud Algérien est expliquée par la nature des roches traversés d'une part, mais beaucoup plus par les quantités des précipitations ayant une tendance à diminuer du nord vers le sud, du climat méditerranéen subhumide du littoral Algérien vers les climats arides du Sahara.

Le taux du magnésium dans l'eau est lié au contact de cette eau avec les formations bicarbonatées, les formations salifères comme l'argile et les marnes qui sont riches en Mg^{++} . La consommation jusqu'à 200 mg/l de Mg^{++} ne présente pas des risques pour la santé humaine. (RODIER. J, 2005).

Le titre alcalimétrique complet reflète directement le taux des bicarbonates, car les quatre eaux étudiées ont un pH inférieur à 8,3 ce qui empêche la présence des ions carbonates CO_3^{2-} . Par conséquent, toutes les valeurs obtenues sont inférieures à la norme. D'après nos résultats, nous avons trouvé que le taux des bicarbonates dans l'échantillon d'Oued Besbas est le plus élevé, suivi par celui de la source de Sidi Khelil, Loutaya, puis la station de traitement dû à la filtration.

En ce qui concerne les ions chlorures et sulfates ne dépassent pas la norme dans les quatre échantillons étudiés, ayant également le même ordre décroissant Sidi Khelil, Loutaya, Oued

Besbas, Station de traitement, respectivement. Ce qui confère une meilleure qualité à l'eau de la station de traitement. Par contre, la présence des chlorures dans l'eau des sources étudiées est liée directement à la nature des roches traversées. (Dib, 2009) Quand la concentration des chlorures dépasse 250 mg/l, ceci peut être responsable d'une saveur désagréable de l'eau (WHO, 2008), ce qui n'est pas le cas de nos échantillons. Dans le même contexte, la présence des sulfates en quantité supérieure à 300 mg/l, peut entraîner dans certaines conditions, l'altération des matériaux de construction (corrosion des réservoirs de stockage) (RODIER. J, 2005).

D'autre part, nos résultats ont montré que la concentration des nitrates des quatre échantillons est saisissante (inférieurs à 50 mg/l), dont la concentration la plus élevée (24 mg/l) est enregistrée dans l'échantillon de Loutaya. Tandis que la plus faible teneur est constatée dans l'eau de la station de traitement (5,83 mg/l). Les nitrates ont la particularité, par rapport aux autres polluantes, de se trouver naturellement dans le sol et les eaux, soit à la suite d'un apport d'engrais, soit comme conséquence du processus biochimique naturel qui dépend étroitement des conditions écologiques régionales. Par ailleurs, le transfert des nitrates vers les nappes phréatiques est conditionné par un excès d'eau d'irrigation ou de pluie (BARDAI H. et al., 2004)

En ce qui concerne les concentrations des nitrites, nous avons trouvé que toutes les eaux étudiées ont une concentration inférieure à 0,01 mg/l. Il est connu que les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence de l'action dénitrifiante des bactéries (DIB, 2009). Par conséquent, une eau qui renferme des nitrites est considérée comme suspecte car lui est souvent associé à une détérioration de la qualité microbiologique. (RODIER. J, 2005).

D'autre part, nous avons constaté que la concentration des phosphates ne dépasse pas 0,01 mg/l dans tous les échantillons étudiés. Cette concentration est largement inférieure à la norme (0,5 mg/l). Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol. Leur présence dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. (Beaudry, 1984)

En fin, nous avons trouvé que la concentration du fer ne dépasse pas 0,01 mg/l dans toutes les eaux étudiées ce qui est largement inférieure à la norme algérienne est de 0,3 mg/l.

Concernant les résultats de l'analyse bactériologique, nous l'avons trouvé conforme dans le cas de l'eau de la station de traitement, et des sources de Sidi Khelil et celle de Loutaya. Par contre, l'eau d'Oued Besbas n'est pas conformes aux normes Algériennes à cause de contenir une charge

élevée en coliformes totaux, même les streptocoques fécaux, ayant une origine en grande partie des activités liées à l'homme.

Conclusion

L'objectif de ce travail était l'évaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique de quelques sources naturelles d'eau de la région de Biskra (Sidi Khelil, Oued Besbas, Loutaya) ainsi que la station de traitement de Tolga.

D'après les résultats obtenus, portés sur les différentes analyses au niveau de l'ADE, nous pouvons conclure que :

Les qualités organoleptiques, telle que la couleur, le goût et l'odeur des eaux étudiées sont très satisfaisantes. Cette conclusion est basée également sur des analyses physico-chimiques dont la détermination du pH, la conductivité, TAC, TH, Ca^{++} , chlorures, magnésium, fer, nitrates, nitrites, sulfates. Néanmoins, nous avons constaté que l'eau obtenue via traitement par filtration dans la station de Tolga a donné les meilleures valeurs organoleptiques et physicochimiques.

Microbiologiquement parlant, nous avons trouvé que la qualité bactériologique n'est pas garantie dans les eaux des sources naturelles (forages). Ce qui prouve encore une fois l'importance de la filtration.

La comparaison des résultats obtenus avec ceux de la littérature, nous a montré que les eaux de notre région ont des valeurs moyennes en termes de conductivité et de dureté par rapport à celles du Nord.

D'un autre côté, nous avons prouvé que toutes les eaux des sources étudiées ainsi que celle de la station du traitement ont présenté des qualités meilleures par rapport à celles de l'eau potable distribuée dans la ville de Biskra, surtout en termes de conductivité.

A la lumière des résultats obtenus, on peut confirmer que les eaux des sources étudiées ont des qualités physicochimiques et microbiologiques très satisfaisantes, sauf celle d'Oued besbas, expliquant ainsi l'augmentation de leur consommation et leur appréciation par la population locale de la région de Biskra. Il serait très intéressant d'installer d'autres stations de traitement dans les sources étudiées dans le but d'augmenter encore leurs qualités organoleptiques et physicochimiques.

Néanmoins, on tient à recommander d'effectuer des études portant sur le transport des eaux obtenues des stations du traitement via les citernes privées, ayant peut-être des effets néfastes dû à leur exposition permanente aux rayons solaires, ainsi que la durée du transport et de conservation de ces eaux.

Références bibliographiques

Assaad, A. (2014). Pollution anthropique de cours d'eau: caractérisation spatio-temporelle et estimation des flux (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).

BARDAI H. et al. (2004). Acte du séminaire modernisation de l'agriculture irriguée rabat du 19 au 23 Avril.

Bakatubala, A. B., & Lusamba, A. N. (2021). Analyse microbiologique de l'eau de boisson de différentes sources consommées par la population de la Province du Kasai Central: Cas de la Zone de Santé Rurale de Mutoto. *Revue de l'Infirmier Congolais* .

Belghiti, M. L., CHAHLAOUI, A., Bengoumi, D., & El Moustaine, R. (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc). *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (14)*.

Beaudry, J. (1984). *Traitement des eaux*. (L. Griffon, Éd.) Québec.

BOUCHEMAL, f. (2017). Diagnostic de la qualité des eaux souterraines et superficielles de la région de Biskra, Thèse de doctorat.

Couillard, D., Lafrance, P., & Lessard, S. (1992). Évaluation de la qualité organoleptique de l'eau potable dans le réseau de distribution de East-Broughton (Beauce) et suggestion d'un procédé de traitement.

De Villers, J., Squilbin, M., & Yourassowsky, C. (2005). Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général. Fiche, 2,

Dib, I. (2009). L'impact et de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la Paine de Godaine, Ain yaghout, mémoire de magistère, université Hadj lakhdar, Batna.

Ferdaous, L., Mohammed, B., Nouzha, B., Hamid, L., & Aberrahim, L. (2015). Etude de la qualité physicochimique et de la contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Beht (Maroc). *European Scientific Journal, 11(11)*.

FERLAND, J. L. (2013). Guide technique de captage d'eau souterraine pour des résidences isolées. CNRS. Paris, France.

Gbohaida, V., Agbangnan, D. P., Ngossanga, M. B., Medoatinsa, S. E., Dovonon, L. F., Wotto, D. V., ... & Sohounhloue, D. C. (2016). Etude de la qualité physico-chimique de l'eau de boisson dans deux localités du Bénin: Cotonou et Dassa-Zoumè. *International Journal of Biological and Chemical Sciences, 10(1), 422-434*.

Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A., & Van Clooster, M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (9)*.

OMS. (2004). Directives de qualité pour l'eau de boisson de boissons (éd .3^{ème}), Vol.1 Directives. Ed. Organisation Mondiale de la santé, Geneve.

Rejsek, F. (2002). Analyse des eaux : aspects réglementaires et techniques CRDP d'Aquitaine. Bordeaux, France.

Rodier, J. B. (1996). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (éd. 6^{ème}).. (Dunod, Éd.) Paris.

Rodier, J. L. (2009). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (éd. 9^{ème}). (Dunod, Éd.) Paris.

RODIER. J. (2005). Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduelles, eaux de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. (Dunod, Éd.) Paris.

SOUDANI, S. (2016). Evaluation et caractérisation de l'eau potable dans différents quartiers de la ville de Biskra memoire de master université Mohamed Khider Biskra.

World Health Organization (WHO). (2008). Guidelines for Drinking Water Quality. Third Edition Incorporating the first and the second Addenda. *Recommendations, third edition, WHO, Geneva, Switzerland, 1*, 491-2.

(Website1). Récupéré sur

http://siaep.faye.free.fr/qualite_de_leau/normes_de_leau/normes_de_leau.html

Annexes

Annexe 1

Préparation des solutions

Solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 0.01 N

Diluer 0,82 ml de l'acide chlorhydrique concentré à 37 % (a) et compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée.

Réactif mixte

Dissoudre 40 gr d' amino-4 benzène sulfonamide ($\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$) dans un mélange formé de 100ml d'acide orthophosphorique et de 500ml d'eau. Ajouter 2 gr de dichlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2-2\text{HCl}$), compléter le volume à 1000 ml avec de l'eau distillée. Cette solution est stable pendant un mois si elle est conservée entre 2 et 5°C.

Réactif coloré

Dissoudre 130 g de salicylate de sodium et 130 g de citrate trisodique di hydrate dans l'eau contenue dans une fiole de 1000ml, ajouter 0,97 g de nitroprussiate de sodium et compléter à 1000ml avec de l'eau distillée. Cette solution est conservée dans un flacon en verre brun et est stable au moins deux semaines.

Solution de Dichloroisocyanurate de sodium

Dissoudre 32 g d'hydroxyde de sodium dans 500ml d'eau et laisser refroidir à température ambiante, ajouter 2 g de Dichloroisocyanurate di-hydraté, compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée.

Solution de lavage

Dissoudre 100 g d'hydroxyde de potassium dans 100 ml d'eau distillée. Refroidir la solution et ajouter 900 ml d'éthanol 95%. Conserver dans un récipient en polyéthylène.

Solution stabilisante

Dans une fiole jaugée de 1000 ml, mettre 100 ml d'eau distillée, ajouter successivement 60 ml d'acide chlorhydrique pur (HCl : $d= 1.19$), 200 ml d'éthanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), 150 g de chlorure de sodium (NaCl) et 100 ml de glycérol ; compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée. Cette solution se conserve deux semaines en flacon brun à 4°C.

Solution de chlorure de baryum (BaCl_2) à 0.01N

Peser 150g de chlorure de baryum (BaCl_2 , ajouter 5 ml d'acide chlorhydrique ; dans une fiole de 1000ml et compléter jusqu'au trait de jauge. Cette solution se conserve deux semaines en flacon brun à 4°C.

Solution de nitrate d'argent (AgNO_3) à 0,02 mol/l

Dissoudre dans l'eau 3.3974 g de nitrate d'argent (AgNO_3) séchés au préalable à 105 °C et compléter à 1000 ml dans une fiole jaugée. Si la solution est conservée à l'obscurité dans une bouteille en verre brun munie d'un bouchon en verre, elle reste stable pendant plusieurs mois.

Solution d'indicateur de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 100g/l

Dissoudre 10 g de chromate de potassium (K_2CrO_4) dans l'eau et diluer à 100 ml.

Solution étalon de chlorure de sodium (Na Cl) à 0.02 mol/l

Dissoudre 1.1688 g de chlorure de sodium (Na Cl) séchés au préalable à 105°C et compléter à 1000 ml d'eau distillée.

EDTA, solution titrée 0,01 mol/l

Sécher une portion d'EDTA à 80°C pendant 2 heures (étuve), dissoudre ensuite 3,725 g du sel sec dans de l'eau distillée et diluer à 1000 ml. Conserver la solution d'EDTA dans une bouteille en verre et en vérifier le titre de temps à autre (fréquence hebdomadaire), comme suit (détermination du facteur de correction)

Mordant noir 11, indicateur

Dissoudre 0,5 g de sel de sodium de mordant noir 11 (acide [hydroxy-1 naphtylazo-2) nitro-6 naphthol-2 sulfonique-4] ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{N}_3\text{O}_7\text{SNa}$) dans 100 ml de triéthanolamine [(HOCH₂)₃N]. Il est possible d'ajouter jusqu'à 25 ml d'éthanol à la place de la triéthanolamine, afin de diminuer la viscosité de la solution. Cet indicateur est aussi appelé noir ériochrome T (NET). Un mélange de 1 g de noir ériochrome et de 100 g de chlorure de sodium (NaCl) peut être utilisé comme indicateur.

Annexe 2

N°	PARAMETRES	NORMES	UNITE	Cors	Ancien Biskra	Cité el Oued	Alia Nord	Observation
01	T°	25	°C	15.2	14.6	15.2	15.3	<i>Nous pouvant signaler que les résultats physico-chimique obtenus montre que la qualité des eaux distribués en niveaux de la ville de Biskra ce varient de médiocre à moyenne.</i>
02	pH	6.5-8.5	/	7.60	7.26	7.29	7.34	
03	Conductivité	2800	µS/Cm	4840	6380	3750	2284	
04	Salinité	/	‰	2.4	3.1	1.9	1.1	
05	Taux des sels dissous	/	mg/l	2430	3170	1860	1141	
06	Titre TAC	/	mg/l	160	165	169	162	
07	Bicarbonates	250	mg/l	195	201	206	198	
08	TH	50	F°	1280	1080	750	650	
09	Calcium	200	mg/l	269	268	196	152	
10	Magnésium	150	mg/l	148	100	63	66	
11	Chlorure	500	mg/l	451	497	282	122	
12	Fer total	0.3	mg/l	00	00	00	00	
13	Phosphates	0.5	mg/l	00	0.032	0.038	00	
14	Nitrite	0.1	mg/l	0.019	00	00	00	
15	Ammonium	0.5	mg/l	0.130	00	0.137	00	
16	Sulfates	250	mg/l	91.05	131.327	109.79	111.023	
17	Nitrates	50	mg/l	21.02	14.04	19.02	7.328	
18	Résidu-sec	2000	mg/l	2800	3680	2000	1400	
19	Matière Organique	00	mg/l	00	00	00	00	

Figure 5. Résultats d'analyse physico chimique de l'eau du robinet de la région du Biskra. (SOUDANI, 2016)

Paramètres	Eau de Source Attar (Région de Tlemcen)	Unité	Paramètres	Eau forage (Tamanrasset)	Unité
pH	7,25	-	pH	7,24	-
Conductivité	886	μS/cm	Conductivité	3,14	mS/cm
Salinité	0,2	g/l	Résidu sec à 110°C	2100	mg/l
Turbidité	0,570	NTU	Température	23,8	°C
TA	00	mg/l	TA	-	mg/l
TAC	337	mg/l	TAC	12,75	°F
TH (dureté totale)	44,5	°F	TH	82,5	°F
Ca ²⁺	57	mg/l	Ca ²⁺	189,7	mg/l
Mg ²⁺	73	mg/l	Mg ²⁺	87,6	mg/l
Cl ⁻	52	mg/l	Cl ⁻	600	mg/l
CO ₃ ⁻	00	mg/l	Na ⁺	322	mg/l
HCO ₃ ⁻	411	mg/l	HCO ₃ ⁻	155,6	mg/l
CaCO ₃	445	mg/l	K ⁺	31	mg/l
Nitrites (NO ₂ ⁻)	< 0,001	mg/l	Nitrites (NO ₂ ⁻)	-	mg/l
Ammonium (NH ₄ ⁺)	< 0,01	mg/l	Ammonium	-	mg/l
Phosphore P	0,03	mg/l	minéralisation	1947	mg/l
Phosphates (PO ₄ ³⁻)	0,09	mg/l			mg/l
Fer (Fe)	0,01	mg/l	Somme des ions	1962	mg/l
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	38	mg/l	Sulfates (SO ₄ ²⁻)	550	mg/l
Nitrates (NO ₃ ⁻)	68,2	mg/l	Nitrates (NO ₃ ⁻)	26	mg/l

Figure 6. Résultats d'analyse physico chimique des régions Tlemcen et Tamanrasset.
(BOUCHEMAL, 2017)

Résumés

ملخص

تركز هذه الدراسة على الصفات الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية للماء من ثلاثة مصادر (آبار) لولاية بسكرة وهي سيدي خليل والوطاية ووادي بسباس وكذلك المياه التي يتم الحصول عليها من محطة المعالجة (طولقة). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن جميع المياه المدروسة تتمتع بصفات فيزيائية كيميائية مرضية للغاية. ومع ذلك ، فإن الجودة الميكروبيولوجية غير مضمونة في مياه الينابيع (آبار) ، وخاصة مياه واد بسباس ، بينما تضمن محطة المعالجة هذه الجودة. هكذا نوصي بتركيب محطات معالجة في الينابيع لزيادة جودتها ، وأن يتم استهلاك مياه الينابيع بحذر.

الكلمات المفتاحية: الماء ، الكيمياء الفيزيائية ، الجودة الميكروبيولوجية ، المصادر ، المعالجة .

Résumé

Cette étude est portée sur les qualités physicochimiques et microbiologiques des eaux de trois sources (forages) de la willaya de Biskra, à savoir celles de Sidi Khelil, Loutaya et Oued besbas, ainsi que l'eau obtenue de la station de traitement (Tolga). Les résultats obtenus montrent que toutes les eaux étudiées sont dotées des qualités physicochimiques très satisfaisantes. Cependant, la qualité microbiologique n'est pas garantie dans les eaux de source (forage), surtout celle d'Oued besbas, alors que la station de traitement assure cette qualité. C'est ainsi qu'on tient à recommander l'installation des stations de traitement dans les sources pour augmenter leur qualité, et que la consommation des eaux de sources doit se faire avec prudence.

Mots clé : Eau, Physicochimique, Qualité microbiologique, Sources, Traitement.

Abstract

This study focused on the physicochemical and microbiological qualities of water from three springs (boreholes) in the willaya of Biskra, namely those of Sidi Khelil, Loutaya and Oued besbas, as well as the water obtained from the treatment station of Tolga. The obtained results show that all the studied waters have very satisfactory physicochemical qualities. However, the microbiological quality is not guaranteed in the spring water (borehole), especially that of Oued Besbas, whereas the filtration treatment ensures this quality. Therefore, it's recommended to install filtration treatment in the springs to improve their quality, and that the consumption of spring water be carried out with caution.

Key words: Water, Physicochemical, Microbiological quality, Sources, Treatment.