

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des sciences Biologiques et sciences Agronomiques



Département d'Ecologie et Environnement

Mémoire
En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Ecologie et Environnement
Spécialité : Protection des écosystèmes

Evaluation de la qualité de l'eau de source
« Tala Toulmouts et Tala Bechar) »
dans la wilaya de Tizi Ouzou

Réalisé par : BENTAYEB Nassima

AKKOUCHE Nacera

Présenté devant le jury :

Président : Mme ALI AHMED S.

MCB

UMMTO

Promotrice : Mme ALI AHMED Djamila

Professeur

UMMTO

Examinatrice : Mme BACHI K.

MCB

UMMTO

Promotion 2024-2025

Remerciements

Nous remercions Dieu le Tout Puissants pour nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à **Madame ALI AHMED Djamila**, notre promotrice, pour sa disponibilité, ses conseils précieux et son accompagnement tout au long de la réalisation de ce mémoire. Sa rigueur scientifique et ses encouragements nous ont permis de mener à bien ce travail.*

*Nous adressons également nos sincères remerciements aux **MEMBRES DU JURY** en particulier à :*

***Madame ALI AHMED.S**, Présidente de jury,*

***Madame BACHI.K**, Examinatrice,*

Pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer ce mémoire, ainsi que pour leurs remarques et suggestions enrichissantes qui ont permis d'améliorer la qualité de ce travail.

On tient aussi à exprimer notre profonde gratitude à l'ensemble du personnel du laboratoire de SEAAL Takseb pour leur accueil et leur disponibilité et leur encadrement tout au long de ce travail.

La bienveillance et le professionnalisme du personnel du laboratoire ont été pour nous une source précieuse de motivation et d'enrichissement.

Dédicace

Je dédie ce travail, fruit de persévérance et d'efforts,

À mes parents, pour leur soutien constant et leurs prières silencieuses.

À ma famille, pour leur présence et leurs encouragements.

A tous ceux qui ont cru en moi, même dans les moments de doute.

Merci du fond du cœur.

Nassima



Dédicace

Je dédie ce travail

À mes parents, pour leur amour inestimable, leur soutien constant et les valeurs qu'ils m'ont transmises. Leur présence dans ma vie est un cadeau précieux

À ma sœur Lila, pour sa tendresse, son écoute et sa présence rassurante à chaque étape de mon parcours.

À mes trois frères, Mahdi, Samir et Ali, pour leur affection fraternelle, leur encouragement et la force silencieuse qu'ils m'apportent chaque jour.

À ma tante Yasmina, pour sa bienveillance, ses conseils avisés et son soutien sincère qui m'ont toujours accompagné.

À mon ami Saïd, pour son amitié fidèle, sa bonne humeur et son soutien tout au long de ce chemin.

Que ce travail soit l'expression de ma profonde gratitude envers chacun de vous, pour avoir illuminé ma vie de votre amour, votre générosité et votre présence.

Nacera



Liste des tableaux

Tableau 1 : Normes de l’OMS (OMS, 2003) et algérienne des paramètres physico-chimiques pour l’eau potable (Jora, 2011).....	5
Tableau 2 : Normes OMS des paramètres bactériologiques pour l’eau potable (OMS, 2003).	6
Tableau 3 : Classification des eaux selon leur pH (C.I.E, 2005).	8
Tableau 4 : Rapport entre la conductivité et la minéralisation (Diallo, 2006).....	8
Tableau 5 : Relation entre la dureté de l’eau et la concentration équivalente en CaCO ₃	9
Tableau 6 : Résultats de l’analyse des paramètres physico-chimiques de l’eau des deux sources étudiées.....	49
Tableau 7 : Résultats de l’analyse bactériologique	67

Liste des figures

Figure 1 : Source Toulmouts	18
Figure 2 : localisation de Tala Toulmouts	19
Figure 3 :Tala Becha.....	20
Figure 4 : localisation de Tala Bechar	21
Figure 5 : Photo de conductimètre	25
Figure 6 : Photo de turbidimètre.....	26
Figure 7 :Photo de l'oxymètre	27
Figure 8 : Photo de matériels utiliser pour mesurer les MES.....	28
Figure 9 :Photo de balance de précision.....	29
Figure 10 : Photo du spectrophotomètre	30
Figure 11 : Materiel utilisé pour mesurer la concentration en fer	32
Figure 12 : Fioles contenant l'échantillon avec des réactifs pour détecter l'ammonium.....	33
Figure 13 : Echantillon qui contient des nitrites	34
Figure 14 : Photo de cellules utilisées pour mesurer l'aluminium.....	37
Figure 15 : Photo de pH mètre	39
Figure 16 : Titrage des chlorures.....	43
Figure 17 : Rompe de filtration	45
Figure 18 : Résultats de la couleur des eaux des deux sources étudiées	46
Figure 19 : Résultats de la conductivité électrique des eaux des deux sources étudiées	51
Figure 20 : Rsltats de la température eaux des deux sources étudiées	52
Figure 21 : Résultatrs de l'oxygène dissous des eaux des deux sources étudiées.....	53
Figure 22 : Résultats de la turbidité des eaux des deux sources étudiées.....	54
Figure 23 : Résultats de pH des eaux des deux sources étudiées	55
Figure 24 : Résultats de la dureté des eaux des deux sources étudiées	56
Figure 25 : Résultats de MES des eaux des deux sources étudiées.....	56
Figure 26 : Résultats des résidus secs des eaux des deux sources étudiées	57
Figure 27 : Résultats de TAC des eaux des deux sources étudiées.....	58
Figure 28 : Résultats d'ammoniums des eaux des deux sources étudiées	59
Figure 29 : Résultats des phosphates des eaux des deux sources étudiées	60
Figure 30 : Résultats des nitrites des eaux des deux sources étudiées	61
Figure 31 : Teneur en nitrates des eaux des deux sources étudiées	62
Figure 32 : Teneur en matière organique des eaux des deux sources étudiées	63

Figure 33 : Résultats de l'aluminium des eaux des deux sources étudiées	64
Figure 34 : Teneur en fer des eaux des deux sources étudiées.....	64
Figure 35 : Teneur en chlorures des eaux des deux sources étudiées	65
Figure 36 : Teneur en calcium des eaux des deux sources étudiées	66
Figure 37 : Teneur en magnésiums des eaux des deux sources étudiées	67
Figure 38 : Nombre de colonies d' <i>E. coli</i> des eaux des deux sources étudiées	68
Figure 39 : Nombre de colonies de coliformes totaux des eaux des deux sources étudiées	69
Figure 40 : Résultats des streptocoques des eaux des deux sources étudiées	70

Sommaire

Introduction	1
I. Définition d'une eau naturelle	3
II. Types d'eaux destinées à la consommation humaine	3
1. Eaux de surface.....	3
2. Eaux souterraines	3
III. L'eau de sources.....	4
1. Différents types de sources	4
2. Traitement des eaux de sources	4
IV. Eau potable	4
V. Pollution de l'eau.....	15
Matériel et Méthodes	17
I. Présentation de la zone d'étude	18
II. Echantillonnage	22
1. Définition	22
2. Méthodes d'échantillonnage	22
III. Analyses de l'eaux	23
1. Analyse physico-chimique.....	23
1.2 Méthodes d'analyses physico-chimiques :.....	24
1.2.1 Lecteur physique :	24
1.2.2 Analyse par la spectrophotométrie	29
1.2.3 Analyses par la titrimétrie	37
2. Analyses bactériologiques	45
2.1 Méthode par filtration.....	45
Résultat et discussion	48
I. Résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques	49
1. Paramètres organoleptiques	50
2. Paramètres physico- chimiques	50
3. Paramètres de pollution	58

4. Paramètres indésirables	63
5. Paramètres de minéralisations globales	65
II. Résultats des analyses bactériologiques	67
Conclusion.....	71

Introduction

L'eau est une ressource vitale, indispensable au fonctionnement biologique des êtres vivants et à la survie de l'homme, des animaux et des plantes. Elle joue un rôle essentiel dans la stabilité sanitaire, sociale et économique d'un pays lorsqu'elle est bien gérée, mais peut également devenir un facteur de vulnérabilité et d'instabilité lorsque sa disponibilité se raréfie ou que sa qualité se détériore (Metahri, 2012). En Algérie, la situation est particulièrement préoccupante en raison de la rareté de cette ressource, aggravée par un développement économique et social désordonné, qui engendre une gestion inefficace de l'eau, marquée par des pertes, des gaspillages, des dégradations et un manque de protection (Boumaouche et Bouchahm, 2017). Disposer d'une eau de bonne qualité et en quantité suffisante est crucial pour le maintien de la santé humaine. Toutefois, l'eau peut devenir un vecteur de maladies lorsqu'elle est contaminée par des activités humaines telles que la défécation en plein air, un mauvais traitement des eaux usées, les décharges sauvages, les pratiques agricoles inappropriées ou encore les rejets de produits chimiques issus des sites industriels (OMS, 2003). La gestion durable de l'eau s'impose donc comme un enjeu majeur pour le bien-être des populations et la préservation de l'environnement (Bousalah, 2018).

L'eau joue également un rôle déterminant dans le développement socio-économique des sociétés, en particulier dans les pays à climat aride ou semi-aride, où elle est essentielle au développement des activités humaines, économiques et sociales (Tampo et al., 2015). Elle est indispensable à l'agriculture, à l'industrie et à la production d'énergie. Sa gestion appropriée est donc cruciale pour le développement durable.

En ce qui concerne la qualité des eaux souterraines notamment celles des sources, bien qu'elles soient exemptes de matières organiques et de contamination bactérienne, elles peuvent contenir des substances dissoutes nécessitant une surveillance régulière. Une évaluation de leur qualité par l'analyse des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et organiques est donc essentielle pour garantir leur potabilité et leur sécurité (Foto et al., 2011).

Dans ce contexte, la wilaya de Tizi-Ouzou riche en ressources naturelles offre une zone de recherche appropriée notamment dans le domaine de l'approvisionnement en eau potable. Cette zone abrite des nombreuses sources dont la mise en exploitation est indispensable pour répondre aux besoins en eau de la population. La finalité de cette recherche est d'évaluer la qualité des

eaux de deux sources de la wilaya distinctes selon l'altitude en l'occurrence la source de Tala Toulmouts (Tizi Rached) et la source de Tala Bechar (Draa el Mizan).

Le choix de ces deux emplacements est conforme à des critères établis. Ainsi, Tala Toulmouts se trouve dans la zone d'activité industrielle d'Oued Aissi et Tala Bechar a subi récemment un glissement de terrain car il met en mouvement une grande masse de sol ,de roches et parfois de matières polluantes (pesticides , déchets). Ce qui fait des deux sources des sites très intéressants pour estimer la présence de pollution.

Nous avons structuré notre mémoire en trois chapitres :

Le premier chapitre présentera une revue bibliographique sur la qualité des eaux de source, en détaillant les paramètres pris en considération pour l'évaluation de cette qualité, les sources de pollution et les normes en vigueur pour la gestion des eaux destinées à la consommation.

Le deuxième chapitre décrira la zone d'étude, le matériel utilisé et les méthodes employées pour la caractérisation des hydrosystèmes étudiés.

Le troisième chapitre sera dédié à l'interprétation et à la discussion des résultats obtenus pour les principaux paramètres de qualité de l'eau.

Enfin, l'étude se conclura par une synthèse des principaux résultats et des recommandations pour la gestion de la qualité des eaux de source dans la région.

Chapitre I
Synthèse
bibliographique

I. Définition d'une eau naturelle

L'eau est un nom féminin dont la dénomination latine « aqua » est à l'origine du mot aquatique et grecque « hydro » d'où dérivent les mots : hydrique et hydrologie (Bernard, 2007).

Il s'agit d'un composé chimique ubiquitaire, incolore, inodore et insipide qui constitue un élément fondamental dans la vie des êtres vivants. Elle est souvent utilisée comme un excellent solvant entrant dans la composition de la majorité des organismes et élément essentiel pour de multiples usages (Bernard, 2007).

L'eau est une ressource précieuse et un élément essentiel à la vie sur terre et surtout pour la vie de l'homme, pour lequel elle a une importance historique (les premières civilisations ont commencé près des rivières), géographique (elle occupe environ deux tiers de la surface de la terre), et elle maintient la vie (là où il y a l'eau, il y a la vie) (Danielle, 2018).

II. Types d'eaux destinées à la consommation humaine

Les réserves disponibles des eaux naturelles sont les eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lac naturels ou artificielles ou barrages) ou courantes (rivières) (Degremont, 2005).

1. Eaux de surface

Les eaux de surface sont les eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Ces dernières ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement (Degremont, 2005). Elles sont généralement riches en gaz dissous, en matière en suspension et en matière organique. Elles sont très sensibles à la pollution minérale et organique de type nitrates et pesticides (Cardot, 1990).

2. Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont les eaux du sous-sol qui constituent une provision d'eau potable inestimable pour l'humanité. Elles sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable car elle est plus à l'abri des pollutions que les eaux de surface (Guergazi et Achour, 2005). La pénétration et la rétention des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des terrains en cause et notamment de leur structure qui peut permettre la formation de ressources aquifères appelées nappes (Degremont, 2005).

III. L'eau de sources

1. Différents types de sources

Les sources représentent l'émergence des eaux souterraines, elles sont plus fréquemment rencontrées dans les régions montagneuses. On distingue trois types de sources :

a) Sources d'affleurement

Pour lesquelles l'approvisionnement se fait sur un fond imperméable dans la vallée (au pied de la pente) (Bouziani, 2000).

b) Source d'émergence

Emergentes ou artésiennes, elles sont alimentées par la couche inférieure de la nappe (ces ressources sont plus susceptibles de tarissement). Le débit d'une source artésienne est, en principe, uniforme et presque constant durant toute l'année (Bouziani, 2000).

c) Sources de déversement

Elles naissent sur les pentes ou les grandes hauteurs (au-dessus du fond de la vallée), généralement leur débit est faible (Bouziani, 2000)

2. Traitement des eaux de sources

Les eaux de source sont naturellement propres à la consommation humaine et ne peuvent être traitées. Les seuls procédés permis d'être appliqués afin d'éliminer les éléments instables (tels que les gaz, le fer ...) sont l'aération, la décantation et la filtration (Lunc et Lagradette, 2004)

IV. Eau potable

1. Définition d'une eau potable

Une eau potable est une eau qui est apte à être consommée par les êtres vivants. Elle doit être exempte de tous les micro-organismes pathogènes et des substances toxiques qui nuisent à la santé humaine. Elle doit répondre aux normes strictes de potabilité et aux valeurs guides de l'OMS (Bliefert et Pernaud, 2001). Une eau potable est une eau dont la composition et la qualité sont telles qu'elles ne puissent porter atteinte à la santé des consommateurs (Grasclaud, 1999)

2. Normes de potabilité

Les normes de potabilité d'une eau sont fixées selon le code algérien des eaux et selon l'OMS

2.1 Selon le code algérien des eaux

Dans son article de 1983 une eau est qualifiée comme potable lorsqu'elle n'est pas susceptible de porter atteinte à la santé du consommateur, elle doit être exempte de toute couleur, odeur ou substance chimique nuisible à la santé humaine.

2.2.2 Selon l'OMS

Les critères les plus utilisés et adoptés par l'OMS sont les critères physico-chimiques et toxicologiques où une eau dite potable doit répondre aux normes fixes et aux valeurs guides.

Ces critères sont définis par l'arrêté ministériel du 11 /01/2007 du ministère de la santé Algérien.

2.2.3 Normes OMS et algériennes des paramètres pour l'eau potable (OMS, 2003)

Les normes algériennes et de l'OMS retenues pour les paramètres physico-chimiques et bactériologiques sont données dans les tableaux 1 et 2.

Tableau 1 : Normes de l'OMS (OMS, 2003) et algérienne des paramètres physico-chimiques pour l'eau potable (Jora, 2011)

Substances	Unité	Normes OMS	Normes algériennes
Turbidité	NTU	<2,5	<2
Température	°C	<25	<25
TA	mg/l	< 15	<5
TAC	°f	<15	<15
Calcium	mg/l	<270	<250
Magnésium	mg/l	<50	<50
Chlorure	mg/l	<250	<500
pH	ph	≥ 6,5 et ≤ 9,5	≥ 6,5 et ≤ 9
Dureté	°f	<500	<500
Conductivité	µs/cm	<2500	<2800
Ammonium	mg/l	<0,5	<0,5
Potassium	mg/l	<20	<12
Aluminium	mg/l	<0,2	<0,2
Cadmium	mg/l	<3	<3

Cuivre	mg/l	<2	<2
Oxygène dissous	mg/l O ₂	<6,5	Pas de valeur
Fluorures	mg/l	<1,5	<1,5
Fer	mg/l	<0,3	<0,3
Manganèses	mg/l	<0,4	<0,05
Nitrates	mg/l	<50	<50
Nitrites	mg/l	<0,1	<0,1
Oxydabilité	mg/l O ₂	<7	<5
Sulfate	mg/l	<400	<400
Zinc	mg/l	<3	<5
Phosphate	mg/l	<0,5	<0,5
Cyanure	mg/l	<0,07	<0,07
Résidus secs	mg/l	<1500	<2000

Tableau 2 : Normes OMS des paramètres bactériologiques pour l'eau potable (OMS, 2003).

Variable	Concentration maximale admissible
Coliformes totaux / 100 ml	0 UFC
Coliformes fécaux / 100ml	0UFC
Streptocoques fécaux / 100 ml	0 UFC

3. Paramètres et qualité d'une eau potable

3.1 Paramètre organoleptiques

3.1.1 Couleur

La présence de couleur dans l'eau est esthétiquement indésirable. La coloration des eaux peut avoir une origine naturelle (phénomène d'eutrophisation, présence de fer et de manganèse dans les eaux profondes), ou une origine industrielle chimique (les résidus industriels fortement colorés) (Mokeddem et Ouddane, 2005).

3.1.2 Odeur

Une eau potable destinée à l'alimentation doit être de bonne qualité et ne présente pas d'odeur. En effet l'odeur d'une eau est généralement un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition (Rodier, 2009).

3.1.3 Goût et saveur

Le goût est un critère d'appréciation gustative et olfactive et de sensibilité chimique qui est perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche. La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations qui dépend essentiellement de la qualité et la nature des corps dissous (Rodier, 2005).

3.2 Paramètres physico-chimiques

3.2.1 Température (T°)

La température de l'eau est un facteur important dans la production biologique. Elle agit sur la solubilité des gaz comme l'oxygène, la conductivité électrique, la détermination de pH et la dissociation des sels (Degremont, 2005).

Toute variation brusque de température provoque une perturbation dans l'équilibre de l'écosystème hydrique et influence les variations climatiques.

3.2.2 Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH d'une eau sert à mesurer la concentration en ions H^+ de l'eau qui lui confère son caractère acide ou basique. Le pH des eaux naturelles dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés (Rejsek, 2002).

L'échelle des pH est comprise, en pratique, entre 0 (très acide) et 14 (très alcalin) avec une valeur médiane "7" qui correspond à un pH neutre (Tableau 3). L'OMS préconise, pour l'eau destinée à la consommation humaine, un pH compris entre 6,5 et 8,5 (Hane et al., 2020).

Tableau 3 : Classification des eaux selon leur pH (C.I.E, 2005).

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	pH basique
pH > 8	pH très basique

3.2.3 Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique, elle est déterminée par la température, la capacité d'ionisation et la nature des ions mobiles, etc. Elle renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau (tableau 4).

Tableau 4 : Rapport entre la conductivité et la minéralisation (Diallo, 2006).

Conductivité	Minéralisation
0-100	Minéralisation très faible
100-200	Minéralisation faible
200-333	Minéralisation moyenne accentuée
333-666	Minéralisation accentuée
666-1000	Minéralisation importante
>1000	Minéralisation importante

3.2.4 Turbidité

La turbidité est un paramètre qui représente l'opacité d'un milieu trouble. Autrement dit c'est la réduction de la limpidité de l'eau due à la présence de matières non dissoutes, notamment ,

argiles, limons, matières organiques et microorganismes (Rejsek, 2002). Elle se mesure sur terrain à l'aide d'un turbidimètre.

3.2.5 Dureté totale (TH)

La dureté ou titre hydrométrique d'une eau est une grandeur reliée à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion Hydrogène. Généralement la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent parfois les ions de fer, d'aluminium, de manganèse et de strontium (Rodier, 2009).

Tableau 5 : Relation entre la dureté de l'eau et la concentration équivalente en CaCO

(Hade et Hasni, 2017).

Dureté de l'eau	Concentration en mg/l
Eau douce	0 à 60
Eau moyennement douce	60 à 120
Eau dure	120 à 180
Eau très dure	Plus de 180

3.2.6 Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogènes (H⁺) qui est due à la présence des ions hydrogéno-carbonate ((CO₃⁻), carbonate et hydrox (CO₃²⁻) et de (OH⁻). La norme ISO 9963 définit différents types d'alcalinités :

Titre alcalimétrique (TA) : Le TA correspond à la somme des concentrations des ions carbonates (CO₃²⁻) et des ions hydroxydes (OH⁻) (Rodier, 2009).

Titre alcalimétrique complet (TAC) : Le TAC correspond à la teneur en ions OH⁻, CO₃²⁻ et HCO₃⁻. Pour des pH inférieurs à 8.3, la teneur en ions OH⁻ et CO₃²⁻ est négligeable (TA=0), dans ce cas, la mesure du TAC correspondant au dosage des bicarbonates seuls (Rodier et al., 2009).

3.2.7 Salinité

Elle correspond à la masse de sels contenue dans 1 litre d'eau ; elle s'exprime en g/ kg d'eau. La salinité est un facteur écologique propre aux biotopes aquatiques (mais aussi aux sols) qui caractérise leur teneur en sel NaCl et aussi en sels dissous dans les eaux. Par ailleurs, toute

modification intempestive de la salinité due à l'action de l'homme peut présenter un impact redoutable sur les biotopes aquatiques concernés (Ramade, 2011).

3.3 Paramètres de la minéralisation globale

3.3.1 Cations

Calcium

Le calcium est un métal alcalino-terreux, un composant majeur de la dureté de l'eau, qui est directement liée à la nature géologique des terrains traversés (Fardellone, 2015). Selon la norme algérienne de 2006, la concentration en calcium des eaux minérales naturelles est comprise entre 75 à 200 mg/l (Arrete, 2006).

Magnésium

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature, il peut avoir une origine naturelle (dissolution des roches magnésites, basaltes, argiles) ou industrielle. Son abondance géologique et sa grande solubilité font que ses teneurs dans l'eau peuvent être importantes. Une concentration élevée en magnésium donne une saveur amère à l'eau (Houmel, 2017).

Sodium

Le sodium est un élément abondant et constant dans l'eau, il se trouve dans la majorité des eaux souterraines et de surface. Cependant, les eaux trop chargées en sodium deviennent saumâtres et provoquent des modifications perceptibles du goût (Rodier, 2005).

Potassium

Le potassium est un élément principalement présent dans les roches ignées et les argiles. Malgré son abondance il est généralement peu concentré dans les eaux naturelles, et dans les minéraux argileux. Cette particularité s'explique par la difficulté de mobilisation de l'ion K^+ . Dans les eaux souterraines ; la concentration en potassium ne dépasse généralement pas 10 mg/l (Chery, 2006).

3.3.2 Anions

Chlorures

Les chlorures sont des anions inorganiques présents à des concentrations variables dans les eaux naturelles. Ils se trouvent généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl), et sont souvent considérés comme un indicateur de pollution d'origine anthropique. Les

chlorures peuvent avoir une influence négative sur la faune et la flore aquatiques à des concentrations élevées. Leur présence dans l'eau peut résulter du lessivage des roches sédimentaires ou de rejets issus d'activités humaines telles que l'agriculture, l'industrie ou l'urbanisation. La concentration maximale admissible en chlorures dans l'eau potable est fixée à 250 mg/L selon les directives de l'Organisation mondiale de la santé (OMS, 2017).

Sulfates

Les sulfates proviennent principalement des argiles, des marnes et peuvent avoir comme origine les matières fécales et les détergents. On les trouve dans l'eau de consommation surtout sous forme de sulfates calciques à des concentrations élevées. Les sulfates provoquent des troubles gastro-intestinaux et donnent un goût amer à l'eau (Degremont, 2005). L'OMS indique une valeur guide de 25 mg/l de sulfates. La valeur guide algérienne est de 200 mg/l.

3.4 Paramètres indésirables

Sont des éléments essentiels mais qui ne doivent pas dépasser les normes

3.4.1 Fer

Le fer se trouve d'une manière importante dans les eaux souterraines, il a de multiples origines : le fer sous forme de pyrites (FeS_2), est généralement associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes, argiles) et aux roches métamorphiques (Chery, 2006).

Selon l'OMS (2006), un goût de fer n'est habituellement pas perceptible à des concentrations inférieures à 0,3 mg/l bien qu'il puisse y avoir un développement de la turbidité. Aucune valeur guide reposant sur des arguments sanitaires n'a été proposée pour le fer.

3.4.2 Manganèse

Le manganèse (Mn^{2+}) peut se trouver dans les eaux souterraines à des concentrations de 1 mg/l et à moins de 0,05 mg/l dans les eaux de surface. Il provoque la formation d'une couche noirâtre sur les parois des canalisations, laquelle, en se détachant, donne une teinte douteuse à l'eau (Rodier, 1996).

3.4.3 Aluminium

L'aluminium est un métal abondant sur la terre. Il ne présente pas d'inconvénients pour l'organisme mais à des concentrations importantes dans l'eau, cette dernière est désagréable à la consommation (Rodier et al., 2005).

3.4.4 Cuivre

Dans les eaux souterraines, les teneurs normales en cuivre ne dépassent pas 0,0005 mg/l (Collin, 2004). Le cuivre peut présenter des concentrations élevées provenant d'installations en cuivre constatée essentiellement dans l'eau stagnante (Cie, 2005).

3.4.5 Zinc

Le zinc se trouve dans les eaux souterraines à une concentration inférieure à 0,01 mg/l. Une teneur supérieure à 10 mg/l est possible dans l'eau stagnante provoquée par les installations domestiques galvanisées neuves (Samake, 2002).

3.5 Paramètres de toxicité

Une eau destinée à la consommation humaine contient des éléments considérés comme toxiques qui sont :

3.5.1 Plomb (Pb)

Le plomb est un élément chimique métallique, dense et de couleur grise. Il se ternit à l'eau, souvent véhiculé par les eaux de ruissellements et lessivages des rues. Le plomb est l'un des polluants de l'eau les plus importants, du fait de sa non dégradation et son aspect cumulatif (Verlo, 2003.)

3.5.2 Cadmium (Cd)

Le cadmium est l'un des métaux les plus toxiques non essentiels dans l'environnement. C'est un polluant lié à plusieurs processus industriels modernes. Il est utilisé en agriculture comme fertilisant (Prankel et al., 2004).

3.5.3 Arsenic (As)

L'arsenic, naturellement présent dans certaines eaux, est toxique pour l'homme en provoquant plusieurs types de cancers cutanés. Sa toxicité dépend essentiellement de sa forme chimique (Bousheseiche et al., 2002).

3.5.4 Sélénium (Se)

Le sélénium est un élément très répandu dans la nature et toxique pour l'homme. Il est limité à une concentration de 10µg /L fixée par l'OMS.

3. 5.5 Fluor (F)

Le fluor est parmi les ions les plus abondants dans la planète ; on le trouve dans les roches, les sols, l'air et les eaux. Quand il se combine avec des minéraux, il forme des sels appelés composés fluorés (Bousheseiche et al., 2002).

3.6 Paramètres de pollution de l'eau

3.6.1 Ammonium (NH_4^+)

L'ammonium est le composé azoté le plus largement représenté dans une eau polluée. Il est dangereux pour la faune aquatique car il participe à l'abaissement des concentrations d'oxygène dues à la prolifération bactérienne qu'il favorise. Cet cation est généralement issu des rejets urbains industriels et agricoles où il peut causer des problèmes de santé humaine et cela selon le dosage et le temps d'exposition. Dans une eau normale, la concentration d'ammonium varie entre 0,1 et 1 mg/l (Diab, 2016).

3.6.2 Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites sont répandus dans les eaux mais en quantités très faibles qui ne dépassent pas 1mg /l. Ils proviennent essentiellement de l'agriculture (ce qui favorise l'oxydation de la matière organique) et des rejets urbains et industriels ainsi que des activités humaines (Aouissi et Houhamdi, 2014).

3.6.3 Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates proviennent de l'oxydation de l'azote organique ainsi que l'utilisation des fertilisants, du fumier et les rejets urbains. Cet anion est présent en forte abondance dans les eaux naturelles (Rodier ,2005).

3.6.4 Phosphate (PO_4^{3-})

Le phosphate est l'un des anions faciles à fixer par le sol. Sa présence est liée à la nature des terrains traversés, à la décomposition de la matière organique et aux rejets des lessivages (Gaujour, 2005). Selon Degrémont (2005), une eau riche en phosphate provoque une eutrophisation en entraînant un dépôt de la matière organique et l'apparition d'odeurs et, d'un goût désagréable. Une teneur supérieure à 0,5 mg /l doit être considérée comme un indicateur de pollution (Rodier, 2005).

3.6.5 Demande Biologique en Oxygène (DBO₅)

La DBO correspond à la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes aérobies de l'eau pour décomposer partiellement ou oxyder totalement la matière organique dissoute ou en suspension dans l'eau. Ceci favorise le développement de ces microorganismes et constitue un bon indicateur de la pollution organique (Rodier et al., 2009).

3.6.6 Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La DCO est l'un des paramètres indicateurs de pollution. Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières existantes dans l'eau quelle que soit leur origine organique ou minérale (Rodier et al., 2009)

3.7 Paramètres bactériologiques

L'analyse bactériologique d'une eau est indispensable afin d'identifier les germes qui peuplent ce milieu. Parmi ces microorganismes nous citons : les germes totaux, les coliformes totaux et fécaux ainsi que les streptocoques qui sont les indicateurs les plus utiles pour l'estimation d'une pollution d'origine fécale.

3.7.1 Streptocoques fécaux

Selon Rodier (2005), les streptocoques fécaux sont ceux qui possèdent une substance antigénique caractéristique du groupe D de lance Field. Les streptocoques fécaux font partie de la flore intestinale de l'humain et de l'animal à sang chaud. Ces bactéries sont considérées comme un indice de contamination fécale (Servais, 2009).

3.7.2 Coliformes

Le terme coliforme regroupe un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant à la famille des entérobactéries et qui partagent certaines caractéristiques biochimiques (Rodier, 2005). Les coliformes vivent en abondance dans la matière fécale des animaux. Pour cela ils sont considérés comme indicateur, de la pollution fécale de première importance. Ce sont des organismes en bâtonnets aéro-anaérobies à gram négatif capables de fermenter le lactose produire certains acides et gaz. On distingue deux formes de coliformes :

Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont omniprésents dans la nature, notamment en association avec la matière organique en décomposition. Leur présence en nombre élevé constitue un signal d'alarme indiquant une détérioration de la qualité de l'eau de source (Rodier, 2009).

Coliformes fécaux (*Escherichia coli*)

La présence des coliformes fécaux indique la présence potentielle d'organismes pathogènes capables de causer plusieurs maladies. *E. coli* est l'une des bactéries appartenant à ce type de coliformes, un hôte de l'intestin qu'on peut retrouver au niveau de diverses muqueuses chez l'homme et l'animal. Sa présence est un signe de pollution fécale récent d'où une intervention immédiate est obligatoire (Rodier, 2009).

3.7.3 Staphylocoques pathogènes

Ce sont des bactéries qui appartiennent à la famille des *Bacillaceae*. Les infections engendrées par cette famille sont dues, principalement, à des souches de *S. aureus*, mais aussi à d'autres espèces de staphylocoques d'origine humaine, parfois pathogènes et opportunistes (*S. epidermidi*, *S. saprophyticus*...).

Les principales infections qui peuvent être engendrées sont l'infection cutanée, l'infection septicémique redoutable et les infections liées à la consommation d'eau et d'aliments contaminés (Dalarras, 2003).

V. Pollution de l'eau

1. Définition

La pollution de l'eau est définie comme étant « l'introduction ou la présence de substances nocives dans des quantités suffisantes pour altérer les indices de qualité de l'eau naturelle ». (Nsikak, 2008). Selon Park, (2007), la pollution de l'eau douce comme l'eutrophisation, l'acidification et la pollution de l'eau souterraine constituent une menace sérieuse pour la pureté de cette ressource vitale.

2. Origines de la pollution de l'eau

2.1 Pollution industrielle

Les activités industrielles émettent de nombreuses substances qui polluent nos rivières et nappes phréatiques, parfois de manière intense, avec des conséquences à long terme encore méconnues

(Djemmal, 2009). Ces rejets industriels contiennent divers produits, qu'ils soient solubles ou insolubles, d'origine minérale et/ou organique, souvent biodégradables mais parfois toxiques, même à de faibles concentrations.

2.2 Pollution domestique

La pollution issue des foyers, généralement transportée par les systèmes d'assainissement, aboutit souvent aux stations d'épuration. Elle se manifeste par divers éléments, notamment des agents pathogènes fécaux, une importante concentration de matières organiques, des sels minéraux comme l'azote et le phosphore, ainsi que des résidus de détergents (Gaujous, 1995).

2.3 Pollution naturelle

Certains composés naturellement présents dans l'environnement peuvent contaminer l'eau potable. Des substances inorganiques telles que le baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures peuvent affecter la qualité de l'eau potable, en particulier les eaux souterraines lorsque ces métaux sont présents dans les formations géologiques environnantes (Djemmal, 2009).

2.4 Pollution par l'agriculture

L'utilisation d'engrais chimiques riches en azote et en phosphore, ainsi que de produits phytosanitaires pour protéger les cultures, peut entraîner une contamination des eaux de surface et souterraines en cas d'utilisation excessive, notamment lors de périodes de pluie (Djemmal, 2009)

2.5 Pollution par les pesticides

Les pesticides, largement utilisés dans l'agriculture moderne, peuvent être transportés vers les cours d'eau et les nappes phréatiques par ruissellement ou infiltration. Certains de ces composés sont très persistants dans l'environnement, et leur accumulation peut provoquer des effets toxiques sur la faune aquatique, perturber les écosystèmes et représenter un risque pour la santé humaine, notamment par consommation d'eau contaminée. Même à faibles concentrations, certains pesticides sont suspectés d'être cancérogènes ou perturbateurs endocriniens (OMS, 2017 ; FAO, 2000).

Chapitre II

Matériel et Méthodes

I. Présentation de la zone d'étude

1. Source ou Tala Toulmouts, (Tizi Rached)

1.1. Situation géographique

La source Tala Toulmouts (Figure1 et 2) se situe dans la commune de Tizi-Rached et plus précisément dans la zone industrielle d'Oued Aissi à une dizaine de kilomètres à l'Est de Tizi-Ouzou. Cette source fait intersection entre la route qui mène vers Tala Amara (commune de Tizi Rached) et la route qui mène vers Tizi-Rached. Elle est localisée à 154 m d'altitude.



Figure 1 : Photographie de la source Toulmouts (Originale,2025)



Figure 2: Localisation de Tala Toulmouts

1.2 Couvert végétal

La végétation est un facteur déterminant en hydrologie, elle influence le ruissellement superficiel et l'infiltration des eaux dans le sol. Comme le site d'étude est situé en basse altitude, la végétation est un maquis dégradé à base de *Calycotome spinosa* et d'*Oleaster* et *Olea europea*) et des formations herbacées qui caractérisent les prairies de la dépression du Sébaou (Yakoub, 2005).

2. Sources ou Tala Bechar (Draa el Mizan)

2.1 Situation géographique

La source Bechar (fig .3et4) se situe dans la commune de Draa el Mizan dans la wilaya de Tizi Ouzou en Algérie, elle est située à 42 km au sud-ouest de Tizi Ouzou et à 110 km au sud-est d'Alger, dans la région de la grande Kabylie.

Elle présente une superficie de 80,84 m², son altitude est de 432 m. Les coordonnées géographiques de la commune sont : 36° 32' 8" Nord, 3° 50' 3" Est.



Figure 3 : Photographie de la source Bechar(Originale,2025)



Figure 4: Localisation de Tala Bechar

2.2 Couvert végétal

Le couvert végétal de Draa El Mizan, situé dans la wilaya de Tizi Ouzou en Kabylie, présente une diversité floristique adaptée aux conditions montagnardes et méditerranéennes. Cette région est caractérisée par une végétation variée, influencée par l'altitude, le climat et les pratiques humaines telle que *Calicotome spinosa* et *Olea europaea*.

II. Echantillonnage

1. Définition

L'échantillonnage est le processus de prélèvement d'échantillons représentatifs particuliers à partir de sources d'eau afin de réaliser des analyses physiques, chimiques et bactériologiques. L'objectif est d'acquérir des informations fiables qui reflètent fidèlement l'état de l'eau à un moment donné. L'échantillonnage est une procédure qui consiste à retirer une ou plusieurs unités de volume d'eau qui, selon son emplacement, détient la chronologie souhaitée.

2. Méthodes d'échantillonnage

2.1 Échantillonnage pour analyses physiques et chimiques

Les analyses physiques et chimiques de l'eau permettent de déterminer des paramètres tels que la température, le pH, la conductivité, les matières en suspension, les métaux lourds, les polluants organiques, etc.

Procédure d'échantillonnage sur le terrain

A. Rinçage du flacon

- Rincer le flacon trois fois avec l'eau de la source (sauf si le flacon contient un conservateur ou s'il est stérile pour des analyses spécifiques).

B. Prélèvement proprement dit

- Prélever directement à la source, en évitant tout contact avec les mains ou les surfaces extérieures.
- Laisser l'eau s'écouler pendant quelques secondes avant de remplir.
- Remplir le flacon sans bulles d'air (laisser peu d'espace si l'analyse exige).
- Fermer hermétiquement et étiqueter immédiatement.

Précautions

- Utiliser des récipients propres, en fonction de l'analyse (bouteilles en plastique ou en verre) ;
- Éviter les contaminations en nettoyant les équipements et les contenants avant chaque prélèvement ;

- Prélever à des endroits spécifiques, représentatifs de la zone d'intérêt ;
- Si l'échantillon doit être conservé, des réfrigérateurs ou des agents conservateurs peuvent être utilisés, en fonction de l'analyse chimique prévue.

2.2 Échantillonnage pour analyses bactériologiques

Les analyses bactériologiques permettent de détecter la présence d'agents pathogènes (comme les coliformes fécaux, *Escherichia coli*, *Salmonella*, etc.), et d'évaluer la qualité microbiologique de l'eau.

Étapes de la procédure sur le terrain

1. Ouvrir le robinet et laisser couler l'eau pendant 1 à 2 minutes pour évacuer l'eau stagnante et les particules.
2. Nettoyer l'orifice du robinet avec un chiffon propre ou un coton imbibé d'alcool à 70 % (facultatif mais recommandé si le robinet est sale ou exposé).
3. Flamber directement le bec du robinet pendant 5 à 10 secondes à l'aide d'une flamme stable (briquet, chalumeau portatif ou allumette longue).

L'objectif est de chauffer légèrement la surface métallique pour détruire les micro-organismes.

Attention à ne pas surchauffer si le robinet est en plastique (dans ce cas, désinfection chimique uniquement).

4. Laisser couler l'eau à nouveau pendant quelques secondes pour refroidir le robinet avant de prélever (évite d'altérer l'échantillon ou de faire fondre le goulot du flacon).
5. Procéder au prélèvement comme décrit précédemment, en évitant tout contact du flacon avec le robinet.

Précautions

- Utiliser des flacons stériles pour éviter la contamination ;
- Les flacons sont prolongés dans l'eau sans toucher le fond et loin de rives, et ne doivent pas être remplis afin de maintenir en vie les bactéries aérobiques ;
- Manipuler les échantillons avec soin pour éviter toute contamination croisée ;
- Après chaque prélèvement les flacons doivent être étiquetés (source et date de prélèvement) ;

- Les échantillons bactériologiques doivent être transportés rapidement au laboratoire (idéalement dans les 6 heures suivant le prélèvement) et à une température contrôlée (généralement à 4°C).

III. Analyses de l'eau

Il est important de le signaler que ces analyses sont obtenues durant notre période de stage effectuée au niveau de SEAAL du mois de février jusqu'au mois d'avril de l'année 2025 et les protocoles utilisés sont de Rodier 9 -ème édition (l'analyse de l'eau)

1.2 Méthodes d'analyses physico-chimiques

1.2.1 Lecteur physique

1. pH de l'eau

Matériel nécessaire

- L'échantillon d'eau
- Le pH-mètre
- L'eau distillée

Protocole

Pour déterminer le pH d'un échantillon d'eau, il faut d'abord calibrer le pH-mètre (Fig. 5) avec des solutions tampon de pH 4, 7 et 10. Une fois l'équipement calibré, l'électrode doit être placée dans l'échantillon. Il est nécessaire d'attendre que la lecture se stabilise avant d'enregistrer

La valeur mesurée du pH. Après chaque mesure, l'électrode doit être rincée avec de l'eau distillée pour éviter la contamination entre les mesures des échantillons.



Figure 5: Photographie de pH mètre (SEAAL,2025)

2. Conductivité électrique

Matériel nécessaire

- Échantillon d'eau
- Un conductimètre

Protocole

La mesure de la conductivité commence par le calibrage d'un conductimètre (Fig. 6) à l'aide de solutions standards pour s'assurer que les résultats sont exacts. Après l'étalonnage de l'appareil, la sonde est plongée dans l'échantillon d'eau. La valeur de la conductivité apparaît directement sur l'écran de l'appareil ($\mu\text{S}/\text{cm}$).



Figure 6 : Photographie de conductimètre(Originale,2025)

3. Turbidité

Matériel nécessaire

- Échantillon d'eau
- Une cuve
- L'eau distillée
- Le turbidimètre

Protocole

Pour mesurer la turbidité, l'échantillon d'eau est placé dans le tube de mesure - en s'assurant qu'il soit bien propre, essuyé et ne contenant pas de bulles d'air qui pourraient fausser les résultats. Par la suite, la cuve est placée dans le turbidimètre (Fig. 7) et la lecture doit être saisie dans l'unité de mesure correspondant au degré de turbidité.



Figure 7 : Photographie de turbidimètre (Originale ,2025)

4. Oxygène dissous

Matériel nécessaire

- Échantillon d'eau
- Un récipient propre et transparent (bêcher)
- Oxygène

Protocole

Pour mesurer l'oxygène dissous (DO) dans un échantillon d'eau, il convient de prélever l'échantillon avec précaution, en évitant toute formation de bulles qui pourraient fausser la mesure. L'échantillon est ensuite placé dans un récipient propre et transparent. La sonde de l'oxymètre (Fig. 8) est immergée dans l'échantillon, sans toucher les parois du récipient afin de garantir une mesure précise. On attend, ensuite, la stabilisation de la lecture qui peut aller de quelques secondes à quelques minutes selon la nature de la sonde utilisée. La lecture de

l'oxygène dissous apparaît ensuite sur l'écran de l'appareil, habituellement en milligrammes par litre (mg/L) ou en pourcentage de saturation (%).



Figure 8 : Photographie de l'oxymètre (Original,2025)

5. Matières en suspension (MES)

Matériel nécessaire

- Échantillon d'eau(100ml)
- Filtre à papier
- Rompe de filtration
- Eau distillée (100ml)
- Etuve préchauffée à 105°C
- Balance de précision

Protocole

Pour déterminer la concentration en matières en suspension dans un échantillon d'eau, on commence par placer un filtre à papier propre dans le support de filtration, puis on filtre 100 ml d'eau distillée afin d'éliminer toute impureté résiduelle. Le filtre est, ensuite, extrait avec soin, séché dans une étuve préchauffée à 105°C pendant une heure, et laissé refroidir à température ambiante dans un dessiccateur pour éviter toute absorption d'humidité. Ce filtre sec est ensuite pesé à l'aide d'une balance de précision. Un volume de 100 ml de l'échantillon d'eau à analyser est, ensuite, filtré à l'aide de ce même filtre puis remis dans l'étuve à 105 °C pendant 4 heures (Fig. 9), puis refroidi une deuxième fois dans un dessiccateur avant d'être pesé pour la seconde fois. La concentration en MES est calculée selon la formule suivante :

$$MES = \frac{M2 - M1}{V} \times 10^6$$

- M1** : masse du filtre avec l'eau distillée
M2 : masse du disque avec l'échantillon (mg)
V : volume d'eau utilisé (ml)



Rompe de filtration

filtres

étuve

Figure 9 : Photographie de matériels utiliser pour mesurer les MES(Originale,2025)

6. Résidus secs

Matériel nécessaire

- Échantillon d'eau
- Capsule
- Balance de précision
- Étuve préchauffée à 105 °C
- Un dessiccateur

Protocole

La détermination des résidus secs dans un échantillon d'eau commence par la pesée d'une capsule vide à l'aide d'une balance de précision (Fig.10). Cette masse est notée. Ensuite, on verse 50 ml de l'échantillon d'eau dans la capsule puis on la met dans une étuve préchauffée à 105 °C pendant 4 heures, jusqu'à évaporation complète de l'humidité. Une fois cette étape terminée, la capsule est retirée du four à l'aide de pinces et placée dans un dessiccateur pour refroidir à température ambiante, sans absorption d'humidité. Après refroidissement, on pèse de nouveau la capsule contenant les résidus secs. La masse obtenue permet de calculer la quantité de matières solides dissoutes présentes dans l'échantillon selon la formule suivante :

$$RS = \frac{M2 - M1}{V} \times 10^6$$

M1: poids final
M2: poids initial
V : volume d'eau



Figure 10 : Photographie de balance de précision
(Originale ,2025)

1.2.2 Analyse par la spectrophotométrie

La spectrophotométrie (Fig.11) est une technique d'analyse qui permet de mesurer la concentration de substances dans un échantillon en fonction de l'absorbance ou de la transmission de lumière par l'échantillon. Cette méthode est couramment utilisée pour l'analyse des éléments et des composés chimiques dans des échantillons liquides (comme l'eau) et permet de détecter des ions spécifiques ou des molécules en fonction de leur capacité à absorber la lumière à des longueurs d'ondes particulières



Figure 11 : Photographie du spectrophotomètre(Originale,2025)

1. Couleur

Matériel nécessaire

- Échantillon d'eau
- Cellule propre et transparente
- Eau distillée
- Spectrophotomètre

Mode opératoire

La couleur d'un échantillon d'eau est mesurée au spectrophotomètre par la mise en marche de l'appareil et la vérification de son étalonnage pour ce type d'analyse. Le mode de mesure correspondant à la couleur est, ensuite, choisi. Une cellule propre et transparente est remplie d'eau distillée à 10 ml et soigneusement nettoyée afin de supprimer toute trace de goutte ou de poussière susceptible d'interférer avec la mesure. Cette cellule est utilisée pour calibrer l'appareil (lecture du zéro). Le prélèvement d'eau est ensuite déposé dans une cellule propre (environ 10 ml), qui est également soigneusement essuyée. La cellule avec le prélèvement est insérée dans le porte-échantillon du spectrophotomètre, et la lecture de la couleur est prise selon les instructions de l'appareil.

2. UV

Matériel nécessaire :

- Échantillon d'eau
- Cuvette propre et transparente
- Eau distillée
- Spectrophotomètre

Protocole

Pour analyser les ultraviolets dans l'eau, on utilise un spectrophotomètre réglé pour mesurer l'absorbance dans la gamme des UV. L'appareil est d'abord allumé, puis configuré sur la longueur d'onde appropriée selon les composés recherchés. Une cuvette propre est remplie

d'eau distillée, qui sert de blanc de référence. La cuvette est ensuite essuyée soigneusement afin de prévenir toute interférence causée par la poussière ou les empreintes digitales, et puis introduite dans le porte-échantillon pour accomplir le calibrage de l'appareil (lecture du zéro). Une seconde cuvette est ensuite remplie avec l'échantillon d'eau à analyser, essuyée soigneusement, puis introduite dans le porte-échantillon. Il est essentiel de s'assurer que la cuvette est correctement orientée, avec ses faces transparentes alignées avec le faisceau lumineux. La mesure peut alors être réalisée pour obtenir l'absorbance UV de l'échantillon.

3. Fer

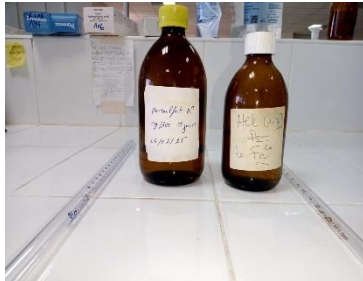
Matériel nécessaire

- Échantillon d'eau (50 ml)
- HCl (Acide chlorhydrique) à 10 % (1 ml)
- Persulfate de potassium ($K_2S_2O_8$) (5 ml)
- Plaque chauffante (pour chauffer les échantillons)
- Hydroxylamine (1 ml)
- Solution tampon (2 ml)
- Phénanthroline (2 ml)
- Spectrophotomètre (pour mesurer l'absorbance)

Étapes de la méthode

Pour analyser la concentration en fer dans un échantillon d'eau, on commence par prélever 50 ml d'échantillon dans un bécher propre. On ajoute 1 ml d'HCl à 10 % à l'aide d'une pipette pour acidifier l'échantillon. On ajoute, ensuite, 5 ml de persulfate de potassium ($K_2S_2O_8$) et on met l'échantillon sur une plaque chauffante et chauffez à 200 °C pendant 40 minutes pour s'assurer que tout le fer est dissous et que la réaction de conversion est terminée. Puis on laisse l'échantillon refroidir. On Ajoute alors 1 ml d'hydroxylamine, un réducteur qui réduit le fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}) et 2 ml de solution tampon pour maintenir un pH constant (environ 4-5), optimal pour la réaction colorimétrique. Puis, on ajoute 2 ml de phénanthroline, un réactif qui forme un complexe coloré avec les ions ferreux (Fe^{2+}). Ce complexe, généralement rouge-orange, a une couleur dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en fer dans l'échantillon. On laisse la solution au repos durant 15 minutes pour permettre au

complexe de s'installer en toute perfection (Fig. 12). Mesurer ensuite la teneur en fer dans le prélèvement à l'aide de la spectrophotomètre. La lecture du zéro est réalisée avec de l'eau distillée comme blanc.



Réactifs



plaque chauffante

Figure 12: Matériel utilisé pour mesurer la concentration en fer (SEAAL,2025)

4. Ammonium

Matériel nécessaire

- Échantillon d'eau (40 ml)
- Réactif coloré pour l'ammonium (un réactif spécifique pour la détection de l'ammonium,
- Réactif déchloré (DI Na), un réactif qui élimine l'influence du chlore libre dans l'échantillon
- Fiole jaugée de volume approprié (par exemple, 50 ml)
- Spectrophotomètre pour la mesure de l'absorbance

Étapes du protocole

Pour mesurer la concentration en ammonium dans un échantillon d'eau, on verse 40 ml d'échantillon dans une fiole jaugée de 50 ml. On lui ajoute 4 ml du réactif coloré pour la détection de l'ammonium. Ce réactif réagit avec l'ammonium pour former un complexe coloré. Ensuite, on ajoute 4 ml du réactif déchloré (DI Na) pour effacer les interférences provoquées par le chlore. Puis on remplit la fiole avec de l'eau déionisée ou distillée jusqu'à la graduation (le trait de jauge) (Fig .13) Après agitation pour bien homogénéiser la solution, on laisse reposer la solution à température ambiante pendant 1 heure.

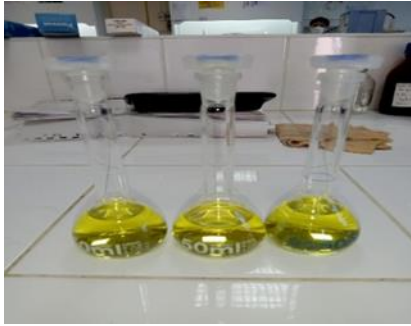


Figure 13 : Fioles contenant l'échantillon avec des réactifs pour détecter l'ammonium (SEAAL,2025)

5. Nitrites

Matériel nécessaire

- Échantillon d'eau (40 ml)
- Réactif coloré pour la détection des nitrites
- Eau distillée
- Fiole jaugée de 50 ml
- Spectrophotomètre pour la mesure
- Pipettes et burettes pour le dosage des réactifs

Étapes du protocole

Pour mesurer la concentration en nitrites dans un échantillon d'eau, on place 40 ml d'échantillon dans une fiole jaugée de 50 ml. On y ajoute 1 ml de réactif coloré nitrites. Ce réactif réagit avec les ions nitrite (NO_2^-) pour former un complexe coloré, généralement de couleur rose. On ajuste le tout à 50 ml en ajoutant de l'eau déionisée ou distillée. On ferme la fiole et on secoue bien pour homogénéiser la solution qu'on laisse reposer pendant 20 mn.

On procède à l'évaluation de la concentration des nitrites dans la solution au spectrophotomètre (Fig. 14).



Figure 14 : Echantillon qui contient des nitrites(fiole avec la couleur rose) (SEAAAL, 2025)

6. Nitrates

Matériel nécessaire

- Échantillon d'eau (10 ml)
- Réactif hydroxyde NO_3^- (réactif pour la détection des nitrates)
- Réactif salicylate de sodium (Na salicylate) (4 ml)
- Etuve ou four à 80°C pour le séchage
- Acide sulfurique concentré (H_2SO_4) (2 ml)
- Eau distillée (15 ml)
- Tartrate double de potassium-sodium ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (15 ml)
- Capsules de séchage en verre
- Pipettes et burettes pour doser les réactifs

Étapes du protocole

Pour mesurer la concentration en nitrates dans un échantillon d'eau, on prélève 10 ml de cet échantillon qu'on verse dans une capsule propre. On verse ensuite, 3 gouttes de réactif hydroxyde NO_3^- puis 1 ml d'une solution de salicylate de sodium. On place la capsule dans une étuve à 80°C pour sécher l'échantillon. Après refroidissement à température ambiante, on ajoute 2 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4) puis on laisse la solution refroidir à température ambiante. Ensuite, on y ajoute 15 ml d'eau distillée et 15 ml d'une solution de tartrate double de potassium-sodium ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$), stabilisante et capable de réagir avec les nitrates.

A la fin, on mélange bien pour s'assurer de la bonne dissolution et de la bonne homogénéité de tous les réactifs contenus dans la solution. Cette dernière est prête pour être dosée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 420 nm, afin de déterminer la concentration en nitrates.

7. Ortho phosphates dans l'eau

Matériel nécessaire

- Échantillon d'eau (40 ml)
- Acide pour acidifier le milieu (par exemple, acide chlorhydrique - HCl)
- Réactif coloré pour la détection des ortho phosphates (généralement un réactif contenant du molybdate d'ammonium ou un autre réactif adapté pour les phosphates)
- Eau distillée pour faire le blanc (le zéro)
- Spectrophotomètre pour la mesure de l'absorbance
- Fiole jaugée ou bécher pour mélanger les réactifs
- Pipettes pour doser les réactifs
- Cylindres mesureurs pour préparer les solutions

Étapes du protocole

Pour mesurer la concentration en phosphates dans un échantillon d'eau, on prélève 40 ml d'échantillon dans une fiole propre et on ajoute 1 ml d'acide PO_4^{3-} pour acidifier l'échantillon puis on ajoute 2 ml du réactif coloré spécifique pour les ortho-phosphates. Ce réactif, souvent un mélange contenant du molybdate d'ammonium, réagit avec les ions phosphate pour former un complexe coloré, dont l'intensité est directement proportionnelle à la concentration en phosphates dans l'échantillon.

On mélange soigneusement la solution et on la laisse réagir pendant 30 minutes à température ambiante. Il est recommandé de mélanger à nouveau la solution après 15 minutes pour assurer une homogénéité complète. La concentration en acide PO_4^{3-} est déterminée à l'aide du spectrophotomètre.

8. Aluminium

Matériel nécessaire

- Échantillon d'eau (3 ml à analyser)
- Acide (souvent de l'acide nitrique ou sulfurique) pour acidifier l'échantillon
- Réactif A (spécifique pour réagir avec l'aluminium et former un complexe coloré)
- Réactif B (peut être utilisé pour stabiliser le complexe ou renforcer la réaction)
- Pipettes (pour mesurer les volumes d'échantillon et de réactifs)
- Cylindre gradué (si nécessaire, pour mesurer l'échantillon ou les réactifs)
- Bêchers ou flacons (pour contenir l'échantillon et les réactifs)
- Pince (pour ajouter une pincée de réactif B)
- Agitateur magnétique ou mélangeur (pour bien mélanger l'échantillon et les réactifs)
- Chronomètre (pour respecter le temps de 25 minutes d'incubation)
- Spectrophotomètre ou appareil de mesure approprié (pour lire la concentration d'aluminium)
- Protection personnelle (gants, lunettes de sécurité, blouse) pour assurer la sécurité

Étapes du protocole

Pour mesurer la concentration en aluminium dans l'eau, il est nécessaire d'homogénéiser l'échantillon en ajoutant de l'acide nitrique pour l'acidifier modérément, ce qui aide à dissoudre l'aluminium et à minimiser les interférences. Ensuite, on prend 3 ml de l'eau à analyser et on lui ajoute 2 ml du réactif A. Ce réactif est généralement un agent chimique qui réagit avec l'aluminium pour former un complexe coloré qui sera plus sombre lorsque la concentration en aluminium est élevée. Ensuite, on ajoute une pincée du réactif B, si nécessaire pour stabiliser le complexe ou augmenter la réaction chimique. On ferme soigneusement le conteneur et on mélange pour obtenir une réaction homogène (Fig. 15). On laisse l'échantillon reposer pendant 25 minutes à température ambiante pour assurer le bon développement du réactif. Enfin, l'échantillon peut être analysé à l'aide d'un spectrophotomètre



Figure 15: Photographie de cellules utilisées pour mesurer l'aluminium (SEAAL,2025)

1.2.3 Analyses par la titrimétrie

La titrimétrie est une méthode d'analyse chimique quantitative qui consiste à ajouter lentement une solution de concentration connue (le titrant) à un échantillon contenant l'analyte, jusqu'à ce que la réaction chimique entre les deux soit complète. Le point où cette réaction est terminée et appelé point d'équivalence. À partir du volume de titrant utilisé et de sa concentration, on peut calculer la concentration de l'analyte dans l'échantillon. Cette technique est couramment utilisée pour les titrations acide-base, de précipitation, d'oxydoréduction et de complexation.

1. Détermination d titre alcalimétrique (TA)

Lorsque le pH de l'échantillon est supérieur à 8,3 ; on calcule le TA et lorsque qu'il est inférieur à 8,3 ; TA= 0.

Matériel nécessaire

- Erlenmeyer (100 ml ou plus pour l'analyse)
- Pipette (pour prélever l'échantillon d'eau)
- Solution d'acide chlorhydrique (HCl) de concentration connue (par exemple, 0,1 N)
- Phénolphtaléine (indicateur)
- Burette (pour doser l'HCl)
- Support de burette (pour maintenir la burette)
- Trousse de sécurité (gants, lunettes de protection)

- Pipette (pour mesurer précisément le volume d'eau à analyser)

Protocole détaillé

Pour mesurer le titre alcalimétrique d'un échantillon d'eau, on prélève 100 ml de l'eau à analyser à l'aide d'une pipette propre. Ensuite, on transfère cette quantité d'eau dans un erlenmeyer. On lui ajoute quelques gouttes de phénolphtaléine. Si l'eau est basique, elle prendra une couleur rose, tandis que si elle est neutre ou acide, il n'y aura pas de changement de couleur. On remplit une burette avec de la solution d'HCl 0.1N et on verse lentement l'HCl à l'échantillon d'eau en agitant doucement l'erlenmeyer. Dès que l'alcalinité est neutralisée, la solution deviendra incolore. A ce moment, on arrête l'ajout d'HCl et on détermine le volume utilisé qui nous permettra de déterminer le titre alcalimétrique de l'échantillon.

2. Titre alcalimétrique complet TAC

Matériel nécessaire

- Bécher
- Pipette pour prélever précisément 100 ml d'échantillon d'eau
- Solution d'acide hydrochlorique (de concentration 0,1 N ou 0,05 N)
- pH-mètre
- Burette (pour doser l'acide avec précision)
- Agitateur magnétique (facultatif, pour faciliter la diffusion de l'acide)
- Trousse de sécurité (gants, lunettes de protection)

Protocole détaillé pour le TAC

Pour réaliser un Titre Alcalimétrique Complet sur un échantillon d'eau on commence par prélever 100ml d'eau à analyser auxquels on ajoute graduellement la solution d'acide chlorhydrique HCl de concentration $C = 0,1N$ en surveillant le pH en continu avec le pH-mètre (Fig. 16). Il faudra arrêter le titrage lorsque que le pH atteint 4.5, ce qui correspond à un point de neutralisation partielle des alcalinités contenue dans l'échantillon d'eau. On note le volume d'acide ajouté à l'échantillon d'eau. Le TAC est calculé selon la formule suivante :

$$\text{TAC} = V_2 \times 5 \text{ (}^\circ\text{F)}$$

V2 : volume d'acide hydrochlorique de titrage d'échantillon pour avoir un pH 4,5

°F : degré fran

3. Bicarbonate (HCO_3^-)

La relation entre les bicarbonates (HCO_3^-) et le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) est basée sur la neutralisation des bases présentes dans l'échantillon d'eau, en particulier les ions bicarbonates (HCO_3^-). Le TAC mesure la quantité d'acide nécessaire pour neutraliser les bases de l'échantillon, et dans le cas de l'eau douce, les bicarbonates sont l'un des principaux contributeurs.

La relation entre le TAC (exprimé en °F) et la concentration en bicarbonates (HCO_3^-) dans l'échantillon peut être exprimée par la formule suivante :

$$\text{Concentration en } [\text{HCO}_3^-] \text{ (mg/L)} = \frac{V2 \times N \times 1000}{V} \times M2$$

Avec :

N : la concentration d'acide hydrochlorique utiliser pour neutraliser le pH (0,1 N)

V2 : volume d'acide hydrochlorique utiliser pour neutraliser le pH

M2 : masse molaire de bicarbonate (61g/mol)

4. Titre Hydrotimétrique (TH)

Matériel nécessaire

- Bécher
- Pipette pour prélever 50 ml de l'échantillon d'eau
- Solution tampon (pH ~10, généralement à base d'ammoniac/ammonium)
- Indicateur EBT (Eriochrome Black T)
- Solution de EDTA (acide éthylènediaminetétraacétique), de concentration connue (par exemple, 0,01 N ou 0,05 N)
- Burette pour doser l'EDTA

Protocole pour déterminer le TH

Dans le cadre de la détermination du Titre Hydrotimétrique (TH) d'un échantillon d'eau, il s'agit tout d'abord de prélever avec une éprouvette propre 50 ml d'un échantillon d'eau, puis de le mettre dans un bécher propre. On y ajoutera alors 4 ml de solution tampon (pH proche de 10), pour obtenir un pH basique qui favorise la réaction avec les ions calcium et magnésium. Ensuite, le même bécher reçoit 2 à 3 gouttes de l'indicateur EBT (Eriochrome Black T ou murexide).

On titre l'échantillon avec la solution d'EDTA en burette. Ce dernier est ajouté goutte à goutte tout en remuant délicatement l'échantillon. On procède ainsi jusqu'à obtenir un changement de couleur. Le point final est atteint quand la solution devient bleu clair. Une fois la couleur bleu clair obtenue, on note le volume d'EDTA utilisé qui sera nécessaire pour le calcul du TH.

Le calcul du TH est basé sur le volume d'EDTA utilisé pour titrer l'échantillon. La relation de calcul est la suivante :

$$[TH] = V_2 \times 2 \times F_c \times F$$

Avec :

V₂ : volume titré

F_c : facteur de coefficient de TH (0,99)

F : facteur de dilution

5. Titre Hydrotimétrique du calcium (THCa)

Matériel nécessaire

- Bécher
- Pipette pour prélever précisément 50 ml d'échantillon d'eau
- Solution de NaOH (hydroxyde de sodium) pour ajuster le pH
- Murexide (indicateur pour calcium)
- Solution d'EDTA (acide éthylènediaminetétraacétique) de concentration connue
- Burette pour doser l'EDTA
- Trousse de sécurité (gants, lunettes de protection)

Protocole pour déterminer le THCa (calcium)

Pour déterminer le Titre Hydrotimétrique du Calcium (THCa) d'un échantillon d'eau, 50 mL d'échantillon d'eau sont prélevés avec une éprouvette propre auxquels sont ajoutés 2 ml de solution de NaOH (hydroxyde de sodium) tout en rendant l'échantillon basique. On introduit une pincée de murexide dans l'échantillon qui prend alors une couleur rose intense. On remplit une burette avec la solution d'EDTA de concentration connue et on procède au titrage de l'échantillon avec l'EDTA en ajoutant la solution goutte à goutte tout en agitant l'échantillon. L'EDTA se complexant avec les ions calcium Ca^{2+} et, à la fin du titrage, l'échantillon passe d'une couleur rose intense à un violet. Dès que l'échantillon est violet, le titrage est terminé. On note le volume d'EDTA utilisé jusqu'à la couleur violette. Le Titre Hydrotimétrique du calcium (THCa) est alors calculé en fonction du volume d'EDTA utilisé et de la concentration de la solution d'EDTA est calculé selon la formule suivante :

$$[\text{TH Ca}] = \frac{C1 \times V1 \times A}{V0} \times Fc \times 1000 \times F$$

Avec :

C1 : concentration EDTA (0,01 mol /l)

V1 : volume titré de EDTA

A : masse molaire de calcium (40,08g /mol)

V0 : volume d'échantillon par ml (50ml)

Fc : facteur de coefficient de calcium (1,02)

F : facteur de dilution (1)

6 .TH Mg

Relation entre TH, THCa et THMg : Le Titre Hydrotimétrique Total (TH) est la dureté totale de l'eau, qui est la somme de la dureté due au calcium et au magnésium selon la relation mathématique suivante :

Volume de TH=TH Ca +TH Mg

Donc, pour calculer le volume de TH Mg, on utilise la formule suivante :

Volume de TH Mg=TH–TH Ca

TH (Titre Hydrotimétrique Total) : Il s'agit de la dureté totale de l'eau, qui est calculée en titrant l'échantillon d'eau avec l'EDTA pour complexer à la fois les ions calcium et magnésium. On obtient TH en utilisant un titrage global pour tous les ions métalliques présents dans l'échantillon.

THCa (Titre Hydrotimétrique du calcium) : Ce titre est calculé séparément en titrant l'échantillon pour le calcium seulement. Il est calculé à l'aide d'EDTA et d'un indicateur comme le murexide.

Une fois qu'on a les valeurs de TH (dureté totale) et de THCa (dureté due au calcium), on peut déduire la dureté due au magnésium (THMg) en soustrayant THCa de TH selon la formule suivante :

$$[\text{TH Mg}] = \frac{C1 \times (V2 - V1) \times A}{V0} \times Fc \times 1000 \times F$$

Avec :

C1 : concentration EDTA qui est 0,01 mol/l

V2 : volume de titrage de TH

V1 : volume de titrage de THCa

V0 : volume de l'échantillon

A : masse molaire de mg (24,31 g/mol)

F : facteur dilution (1)

Fc : facteur de coefficient de magnésium (0,98)

7. Chlorure

Matériel nécessaire

- Bécher
- Éprouvette pour prélever 100 ml de l'échantillon d'eau
- Chromate de potassium (K_2CrO_4), solution à faible concentration (généralement autour de 1 g/L)
- Solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$) de concentration connue
- Burette pour titrer avec la solution d' $AgNO_3$
- Blanc (un échantillon d'eau)

Protocole pour déterminer les chlorures

Pour mesurer la concentration en ions chlorures d'un échantillon d'eau, on commence par prélever 100 ml du volume d'eau à l'aide d'une éprouvette propre, puis on les verse dans un bécher propre et on ajoute 1 ml de solution de chromate de potassium (K_2CrO_4) dans l'échantillon, qui servira d'indicateur en conférant une couleur jaune en présence de chromates.

On prépare le blanc avec 100 ml d'eau distillée dans un bécher propre, et on introduit 1 ml de la solution de chromate de potassium et on remplit une burette de solution de nitrate d'argent (AgNO_3) de concentration connue avec laquelle nous effectuons le titrage tout en agitant doucement, jusqu'à obtention d'un changement de la couleur du jaune au rouge brique, qui est le point final correspondant à la transformation du chromate de potassium en précipité (Ag_2CrO_4) au contact des ions argent. On note le volume d' AgNO_3 utilisé pour titrer le blanc, puis la même expérience est faite avec l'échantillon d'eau et le volume d' AgNO_3 utilisé pour l'échantillon est noté. On calcule la concentration en chlorures selon la formule suivante :

$$[\text{La concentration en chlorures}] = \frac{(\text{Vs} - \text{Vb}) \times \text{C} \times \text{F} \times \text{Fc}}{\text{Va}}$$

Avec :

Vs : volume de la solution de nitrate d'argent pour l'échantillon

Vb : volume d' AgNO_3 pour le blanc

Va : volume de l'échantillon en ml

C : concentration d' AgNO_3 (0,02mol/l)

Fc : facteur de coefficient pour les chlorures (0,96)

F : facteur de dilution



Figure 16 : Titrage des chlorures (SEAAL,2025)

8. Matière organique

Matériel nécessaire

- Béchers (250 ml)
- Éprouvettes
- Plaque chauffante
- Agitateur magnétique (optionnel)
- Pipettes (graduées ou automatiques)
- Verre de montre
- Chronomètre
- Acide sulfurique concentré (H_2SO_4)
- Permanganate de potassium (KMnO_4)
- Oxalate de sodium ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$)
- Eau distillée

Protocole détaillé

On prélève 100 ml d'échantillon d'eau dans un bécher puis on ajoute 20 ml d'acide sulfurique concentré et 20 ml de permanganate de potassium puis on chauffe sur plaque chauffante jusqu'à l'ébullition douce (apparition de bulles). Dès que l'ébullition commence, on laisse réagir pendant 10 minutes, on retire le bécher de la plaque et on le laisse refroidir légèrement puis on ajoute 20 ml d'oxalate de sodium (0,02 N) pour décolorer la solution (elle devient incolore si tout le permanganate a réagi). Reprendre les mêmes étapes que pour l'échantillon, mais en utilisant 100 ml d'eau distillée (blanc).

Après décoloration par l'oxalate de sodium, on rajoute à nouveau du permanganate de potassium jusqu'à l'apparition d'une coloration rose stable et on décolore pour la deuxième fois (c'est le point de retour) puis on note le volume total de l'oxalate utilisé. La matière organique est déterminée selon la formule suivante :

$$MO = \frac{V \text{ titré} - V \text{ Blanc}}{V \text{ Blanc retour}} \times 16$$

Avec

V Titré : volume de l'échantillon titré

V blanc : volume de l'eau distillée titrée

V blanc retour : volume de blanc titré pour la deuxième fois

16 : constante

2. Analyses bactériologiques**2.1 Méthode par filtration**

Cette méthode est couramment utilisée pour détecter la présence de bactéries comme *Escherichia coli* et les coliformes totaux, ce qui permet d'évaluer la potabilité de l'eau (Fig. 17).



Figure 17 : Rampe de filtration (Originale, 2025)

2.1.1 Pour les coliformes**Matériel nécessaire**

- Filtre à membrane : un filtre en cellulose ou en polymère, généralement de 0,45 μm de diamètre de pores.
- Appareil de filtration sous vide : un dispositif permettant de maintenir une pression négative pour faire passer l'eau à travers le filtre.
- Boîte de Pétri avec milieu de culture solide : généralement un milieu spécifique à l'organisme recherché, comme l'agar Endo (pour *Escherichia coli* et les coliformes).
- Gants, lunettes de protection et autres équipements de sécurité.
- Incubateur à température contrôlée (généralement 37°C).

Protocole détaillé

Pour l'analyse microbiologique des coliformes sur l'échantillon d'eau, consiste à stériliser l'entonnoir et la pince par une flamme de bec Bunsen. Il s'agit ensuite d'installer la membrane d'un appareil de filtration sous vide stérilisé permettant de garantir une absence de contamination croisée. On transvase dans l'appareil de filtration un échantillon d'eau de 100 ml, on retire un à un les filtres puis on les dépose sur des boîtes de Pétri contenant un milieu de culture (géloses lactosées TTC Tergitol ou autre) pour permettre la croissance des microbes. L'incubation, à 37 °C pendant 24 heures, permet la croissance des colonies résultant des coliformes. Cette température est choisie car elle correspond à celle du corps humain, favorisant la croissance optimale des coliformes d'origine intestinale, et permettant ainsi une détection fiable de la contamination fécale. Les boîtes de Pétri sont, ensuite, observées sous lumière visible ; les colonies sont présentes en couleur et leur apparence est fonction du milieu dans lequel elles se développent. On procède au comptage du nombre de colonies présentes sur le filtre. Ce comptage permet de déterminer la concentration bactérienne dans l'échantillon, généralement exprimée en unités formant colonies par 100 ml (UFC/100 ml).

2.1.2 Pour les streptocoques

Matériel nécessaire

- Dispositif de filtration sous vide (entonnoir, support, pompe)
- Membranes stériles de 0,45 µm de porosité
- Boîtes de Pétri stériles contenant les milieux
- Pince stérile
- Bec Bunsen
- Pipette stérile
- Eau à analyser (100 ml minimum)
- Étuvage à 37°C

Mode opératoire

Dans le but de pratiquer l'analyse microbiologique sur l'échantillon d'eau, la première opération consiste à stériliser l'entonnoir et la pince par une flamme de bec Bunsen. L'ensemble doit ensuite refroidir avant de placer la membrane de 0,45 µm de porosité sur le support de

filtration, puis on verse les 100 ml d'eau à analyser dans l'entonnoir. On active la pompe à vide permettant à l'eau de passer à travers la membrane. La membrane filtrante est, ensuite, transférée aseptiquement sur une boîte de Pétri contenant le milieu de culture Slanetz et Bertley(fig 20), et incubée à 37 °C pendant 48 heures, en atmosphère aérobie. Les colonies sont ensuite observées ; elles doivent être rouges, petites, lisses et légèrement bombées, ce qui correspond à des streptocoques fécaux. Le dénombrement des colonies, visibles sur la membrane, s'exprime en unités formant colonies par 100 ml (UFC/100 ml).

Résultats et discussion

Dans ce chapitre nous présentons les résultats et discussion des analyses des différents prélèvements d'eau souterraine de la Wilaya de Tizi-Ouzou et cela pour suivre et évaluer leur qualité surtout que ces eaux sont fournies à la consommation humaine.

Les résultats obtenus sont comparés aux normes de la législation algérienne (JORA, 2011).

I. Résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques

Le tableau (6) représente les résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau.

Tableau 6 : Résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau des deux sources étudiées

La source Le paramètre	Thala Bechar	Thala Toulmouts
Couleur	1	2
UV	0,009	0,008
Conductivité	1349	884
Température	15,9 °C	16,9°C
Oxygène dissous	6,53	6,95
Turbidité	0,21	0,15
pH	7,27	7,30
Ammonium	0,00	0,00
Ortho phosphates	0,19	0,11
Nitrites	0,022	0
Nitrates	5,55	3,16
Aluminium	0,013	0,031
Fer	0,05	0,01
Matières organiques	2,16	0,34
TH	55,44 °f	37,72°f
TH Ca	141,45 mg/L	104,65 mg/l
TH Mg	50,98 mg/l	29,54 mg/l
[CO3-]	0,00	0,00
[HCO3-]	451,4mg/l	378,2mg/l
Chlorures	144,30 mg/l	61,94mg/l
TAC	37 °f	31°f
Résidus secs	516mg/l	888mg/l
MES	0,0682 mg/l	0,0673 mg/l

1. Paramètres organoleptiques

La couleur

Sur la figure 18 on présente les valeurs de la couleur des deux sources Tala Toulmouts et Tala Bechar qui sont de 2 UH et 1 UH respectivement. Ces valeurs sont acceptables et respectent la norme de potabilité

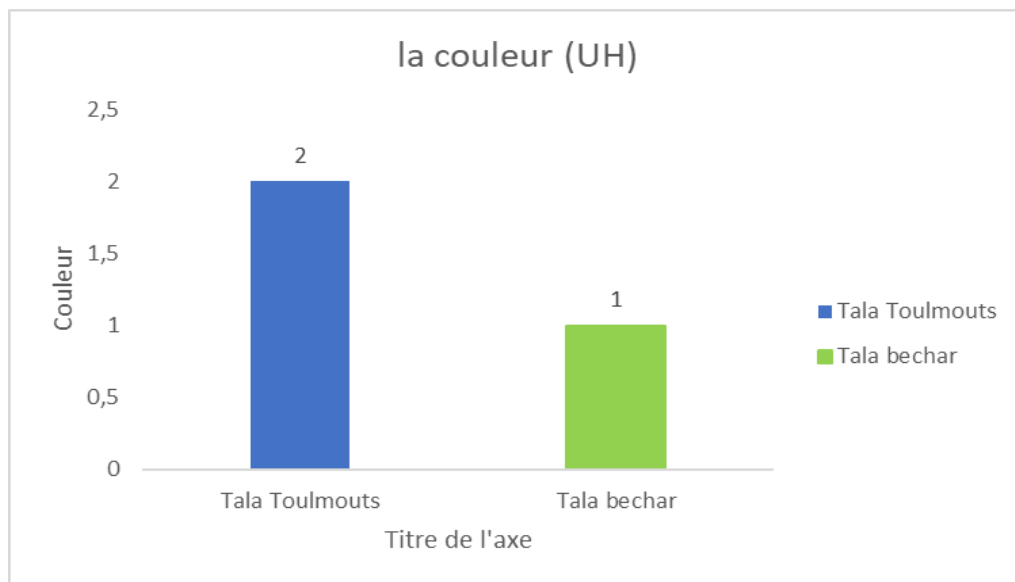


Figure 18 : Valeurs de la couleur des eaux des deux sources étudiées

La coloration d'une eau est dite 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 réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (Rodier, 2009).

2. Paramètres physico- chimiques

2.1 Conductivité

Les résultats de la mesure de la conductivité électrique des deux sources d'eau Tala Toulmouts et Tala Béchar (Fig. 19) montrent que les valeurs de la conductivité sont inférieures à la limite maximale autorisée par la norme algérienne et sont respectivement 884 et 1349 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Les eaux de la première source sont moyennement minéralisées alors que celles de la deuxième, s'avèrent hautement salinisées ceci est dû à la forte présence des sels minéraux et la nature des terrains

traversés. La mesure de ce paramètre montre que les deux sources d'eau contiennent des sels dissous dans une plage acceptable pour la consommation humaine.

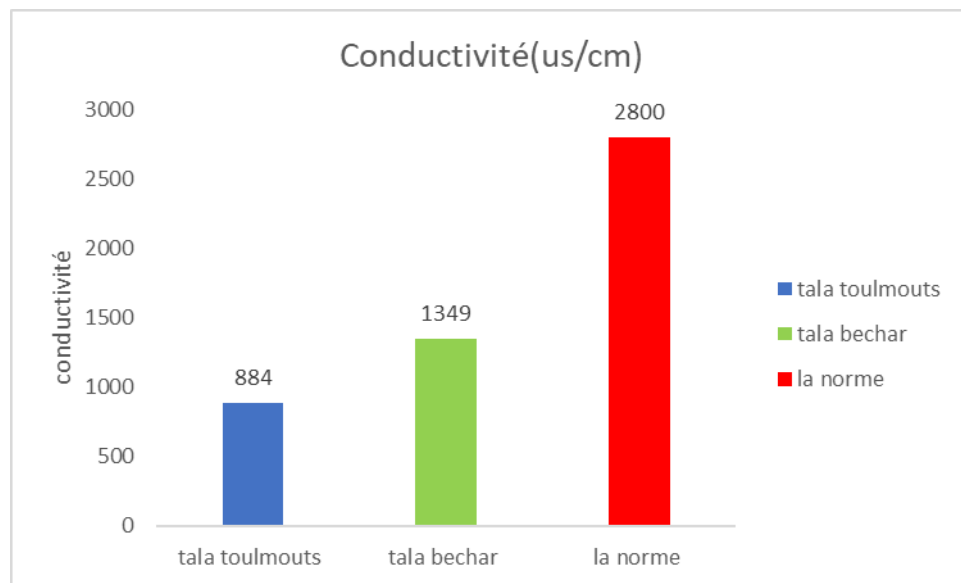


Figure 19: Valeurs de la conductivité électrique des eaux des deux sources étudiées

La conductivité de l'eau fournit une information globale sur la quantité des sels dissous qu'elles renferment. Plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée. Celle-ci varie également en fonction de la température, puisque cette dernière modifie la viscosité de l'eau (DUGUET et al., 2006).

La conductivité électrique dépend des charges de matière organique endogène et exogène, génératrice de sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau. Elle varie aussi suivant le substrat géologique traversé (Birane et Merabet, 2018).

2.2 Température

Le graphique de la figure 20 illustre les températures des eaux des deux sources Tala Toulmouts et Tala Bechar qui sont de 16,9°C et 15,9°C respectivement. Il en ressort que les températures enregistrées dans les deux sources sont conformes aux normes fixées pour la consommation humaine.

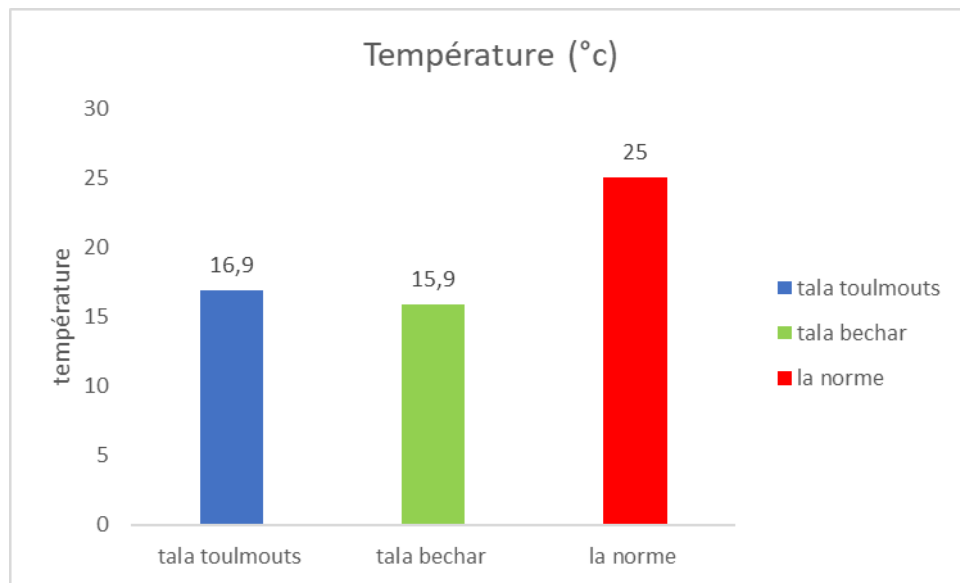


Figure 20: Valeurs de la température eaux des deux sources étudiées

La diminution ou l'augmentation de la température de l'eau peut avoir un effet direct sur la qualité de l'eau. Cependant, une diminution de la température de l'eau peut mener à une diminution de l'efficacité des traitements (désinfection) ainsi qu'une diminution des vitesses de sédimentation et filtration. Par ailleurs, une augmentation de la température de l'eau favorise la croissance bactérienne, induisant l'altération des paramètres organoleptiques (couleur, saveur, odeur) (Bordet, 2007)

2.3 L'oxygène dissous

Il ressort des résultats obtenus (Fig. 21) que les teneurs en oxygène dissous des deux sources sont supérieures à la norme algérienne de potabilité et sont de l'ordre de 6.95mg/l et 6. 53 mg/l respectivement. Les valeurs de l'oxygène dissous obtenues montrent que ces sources sont bien oxygénées. Ce paramètre favorise la croissance des micro-organismes qui dégradent la matière organique en consommant de l'oxygène qui participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique (Belghiti et al., 2013)

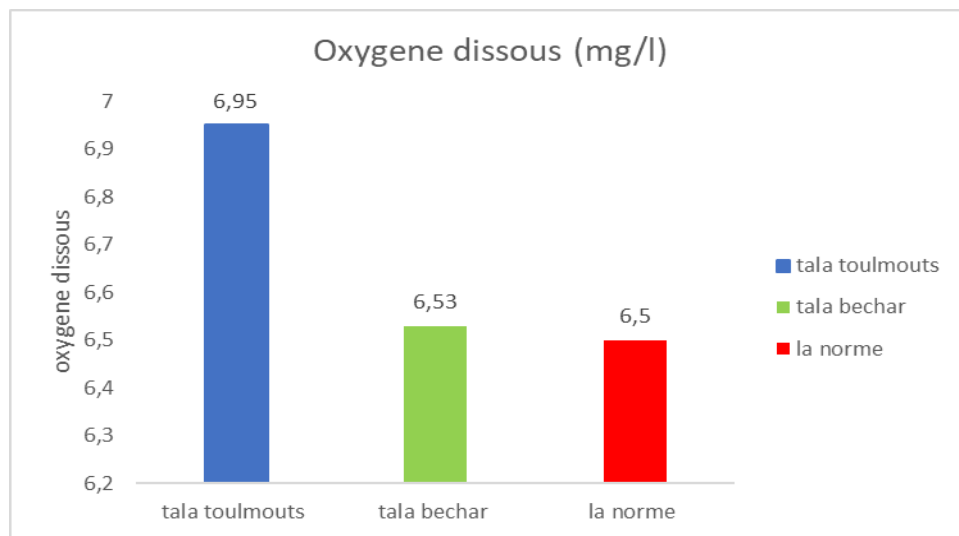


Figure 21: Valeurs de l'oxygène dissous des eaux des deux sources étudiées

L'oxygène dissous d'un milieu aquatique conditionne l'état de plusieurs sels minéraux et il, est très important pour la dégradation de la matière organique et la vie des animaux 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 (Belghiti et al., 2013).

2.4 Turbidité

Les valeurs de turbidité mesurées pour les deux sources d'eau étudiées (fig.23), Tala Béchar et Tala Toulmouts, en rapport avec le seuil réglementaire correspondant à la norme algérienne, sont de l'ordre de 0,15 et 0,21 NTU respectivement. Les deux sources présentent des valeurs de turbidité faibles et inférieures à la limite réglementaire. Par conséquent, les eaux de ces sources sont des eaux claires. Ces valeurs peuvent traduire la faible concentration en MES, ce qui favorise la pénétration de la lumière et de l'oxygène au niveau des eaux de ces stations et donc une possibilité de la vie aquatique.

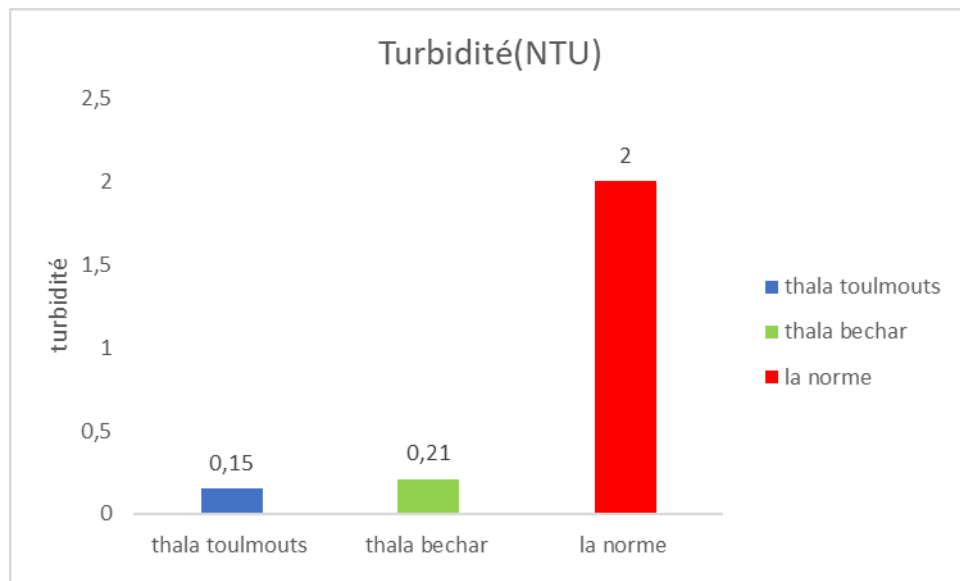


Figure 22 : Valeurs de la turbidité des eaux des deux sources étudiées

La mesure de la turbidité permet de donner des informations visuelles sur l'eau. Elle traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, colloïdes, etc.). Elle peut être favorisée par la pluviométrie (Rodier et al., 2009)

2.5 pH

La figure 23 représente les valeurs de pH des eaux des deux sources, étudiées sont estimées à 7,30 pour Tala Toulmouts et 7,27 pour Tala Béchar. La norme algérienne de potabilité en vigueur correspond à la marge 6,5 – 9,0. Le pH des eaux des deux sources est neutre et est en conformité avec la norme algérienne. Deux valeurs de pH bien équilibrées attestent de la conformité avec les normes de potabilité algérienne. Ceci indique donc une bonne qualité chimique.

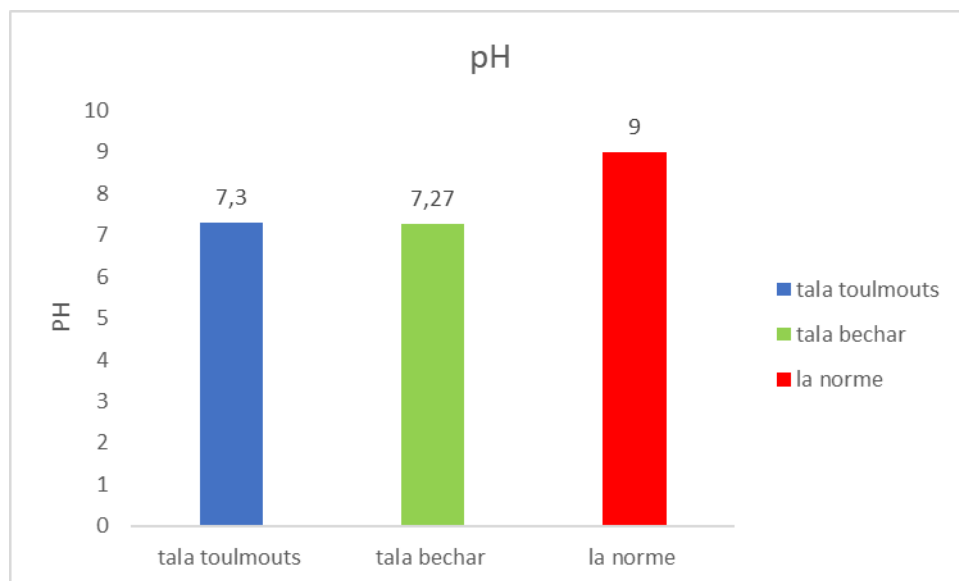


Figure 23: Valeurs de pH des eaux des deux sources étudiées

Le pH qui dépend de la teneur en ions acides ou basiques conditionne les équilibres physico-chimiques. En outre, le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Les sols pauvres en calcaire ou siliceux ou parfois des régions volcaniques peuvent être acidifiées par de l'acide sulfurique. Les eaux qui ont un pH acide (inférieure à 7) sont des eaux agressives qui peuvent conduire à la corrosion des parties métalliques des canalisations de l'eau de robinet (Rodier et al.,2009)

2.6 La Dureté

La Figure 24 rapporte les valeurs de la dureté totale en mg/l de CaCO_3 . La dureté totale mesurée dans les deux sources varie entre 55,44 mg/l à Thala Toulmouts et 37,72mg/l à Thala Bechar ; ce qui qualifie ces eaux de très dures. Selon (Alkausor et al.,2017), la dureté de l'eau est principalement due à son contact avec les formations rocheuses. Elle résulte du mélange de certains sels, notamment les bicarbonates et les sulfates de calcium et de magnésium, avec l'eau de pluie qui s'écoule à la surface et pénètre dans les eaux souterraines. Les valeurs obtenues sont bien en deçà de la norme réglementaire algérienne, fixée à 500 mg/l de CaCO_3 ; ce qui indique que l'eau respecte les critères de potabilité pour la consommation.

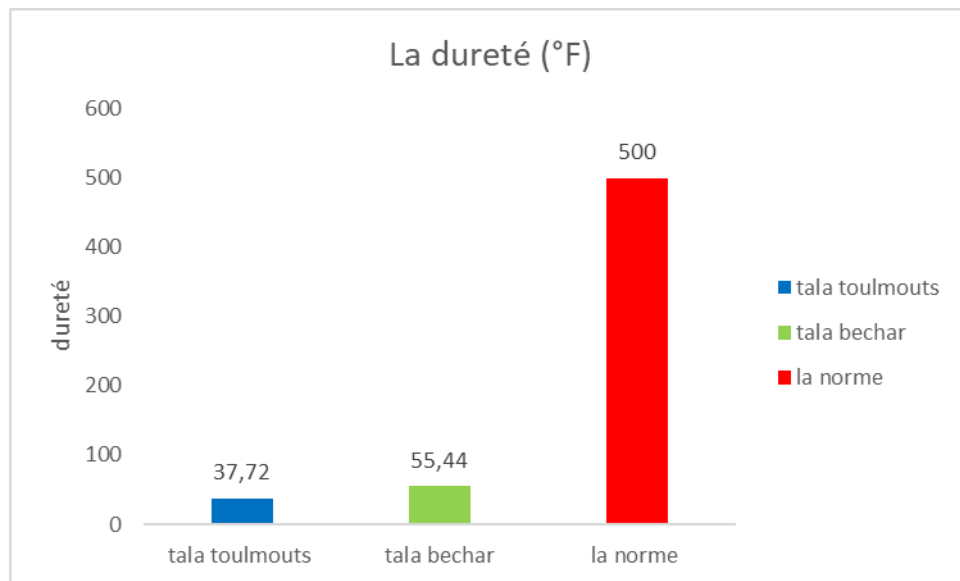


Figure 24: Valeurs de la durezza des eaux des deux sources étudiées

2.7 Matières en suspensions (MES)

Les valeurs de MES enregistrées au niveau des sources étudiées sont de l'ordre de 0,0673 et 0,682mg/l (Fig. 25), ce qui correspond à une eau claire et propre (bonne pénétration de la lumière)

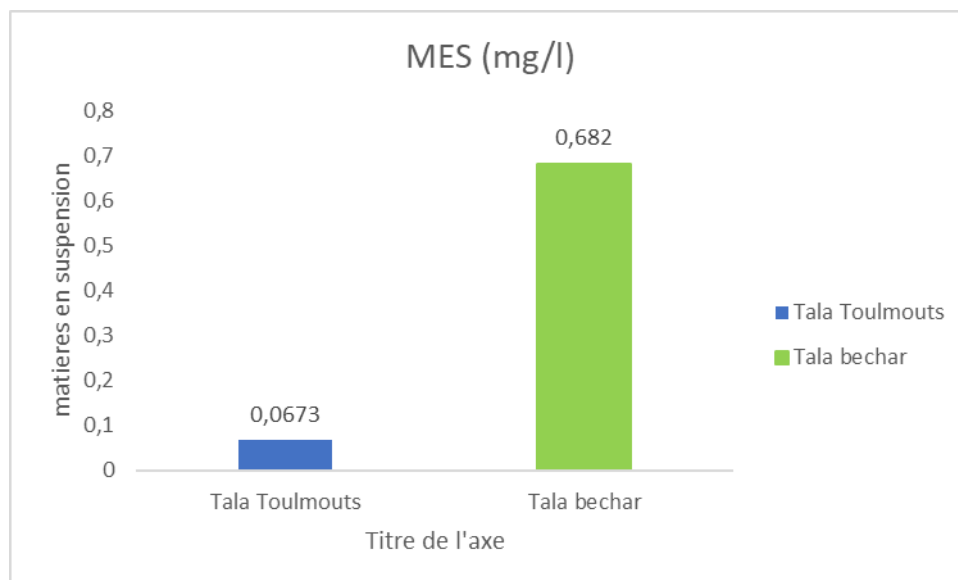


Figure 25 : Valeurs de MES des eaux des deux sources étudiées

Selon Rodier et al. (2009), la teneur et la composition des matières en suspension dans les eaux sont très variables selon les cours d'eau (sables, boues, particules organiques, etc.). Elles

dépendent de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des travaux, des rejets, etc.

2.8 Résidus secs

La figure 26 montre que les concentrations en résidus secs au niveau des deux sources étudiées sont de l'ordre de 516 mg/l à Thala Toulmouts et 888 mg/l à Thala Bechar. Il ressort de ces résultats que la source Tala Toulmouts a une eau faiblement minéralisée alors que L'eau de Thala Bechar a les fortes teneurs en résidus secs ; ce qui en fait une eau moyennement minéralisée Cependant, les valeurs enregistrées dans les deux sources sont inférieures à la norme recommandée (2000 mg/l).

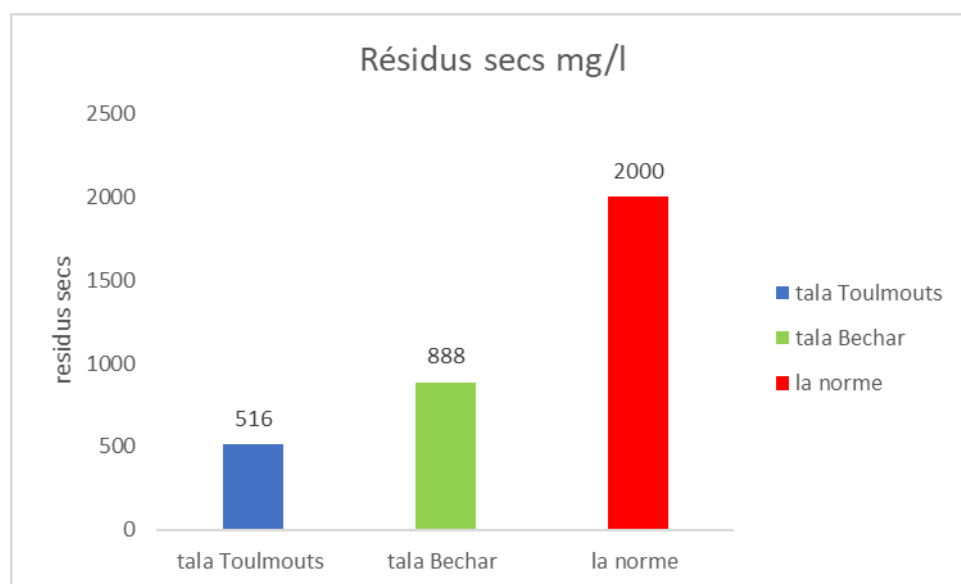


Figure 26 : Valeurs des résidus secs des eaux des deux sources étudiées

Selon Rodier et al. (2009), la détermination du résidu de l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension non volatiles. Elle permet aussi d'évaluer la minéralisation d'une eau mais d'une façon différente.

2.9 TAC

La figure 27 présente les concentrations en TAC relevées dans les deux sources, Béchar et Toulmouts. Les résultats montrent que cette teneur est plus élevée dans la source de Béchar (37°f) par rapport à celle de Toulmouts (31°f). En comparant ces valeurs aux normes algériennes relatives à la qualité de l'eau potable (qui recommandent généralement une teneur

en magnésium inférieure à 15°f), nous constatons que l'eau de ces sources dépasse largement cette limite ; les eaux de ces deux sources sont donc très alcalines.

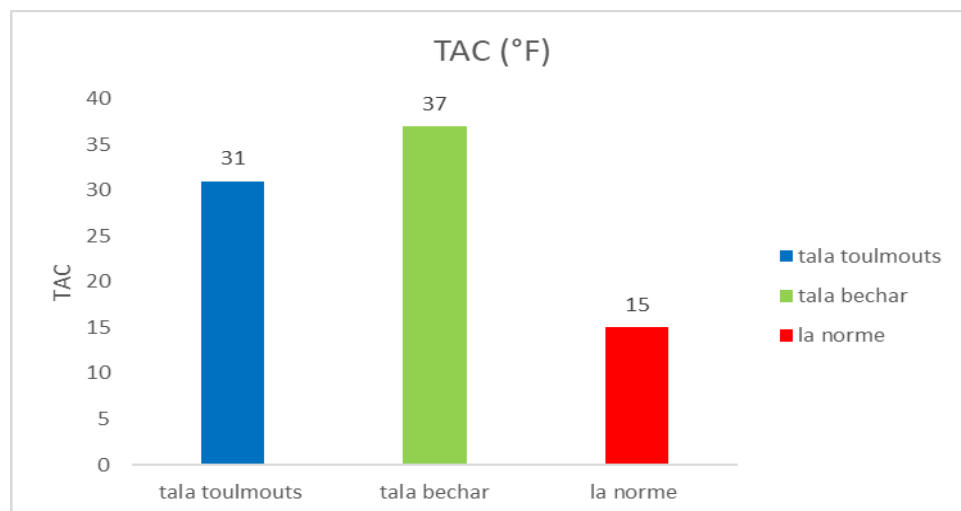


Figure 27 : Valeurs de TAC des eaux des deux sources étudiées

Le titre alcalimétrique TA et le Titre Alcalimétrique Complet TAC traduisent l'alcalinité d'une eau. Ce sont des paramètres importants pour l'eau distribuée dans la canalisation. La connaissance de ces valeurs est essentielle pour l'étude de l'agressivité de l'eau, puisqu'elles dépendent de l'équilibre carbonique (Belghiti et al., 2013).

3. Paramètres de pollution

3.1 Ammonium

La figure 28 présente les concentrations d'ammonium dans les eaux des deux sources. Nous observons une absence totale d'ammonium. Cette absence peut être attribuée à la dégradation complète de la matière organique ainsi qu'à l'absence de pollution à partir des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industrielle. Selon (Pujeh, 2021), l'absence d'ammonium dans notre échantillon peut également indiquer que les réactions entre les minéraux contenant du fer et les nitrates, qui sont une source principale d'ammonium, ne se produisent pas.

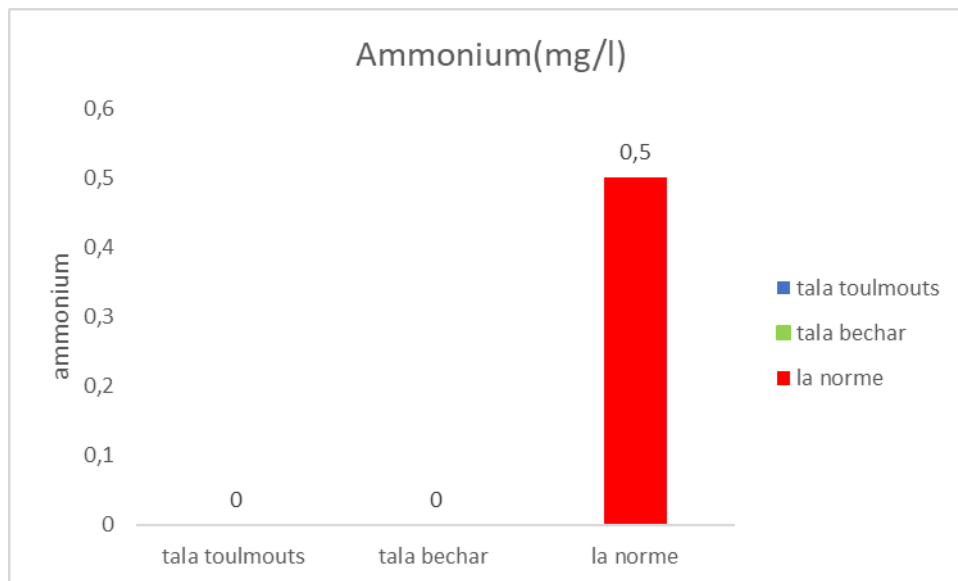


Figure 28 : Valeurs d'ammoniums des eaux des deux sources étudiées

L'ammonium provient principalement de la décomposition des protéines naturelles contenues dans le phytoplancton et les micro-organismes. Il peut provenir aussi de l'apport d'effluents urbains et des rejets agricoles (Rodier, 2005). La réglementation algérienne fixe la valeur de 0.5 mg/l comme teneur limite en ammonium dans les eaux potables.

3.2 Phosphates

La figure 30 illustre les concentrations en phosphates dans les eaux des sources d'eaux étudiées. Les résultats montrent de faibles valeurs en phosphates qui varient entre 0,11 et 0,19 mg/l respectivement à Thala Toulmouts et Thala Bechar. Ces faibles valeurs suggèrent qu'il n'y a pas de pollution organique dans l'eau. Ceci pourrait être dû à la nature des roches traversées par l'eau, qui semblent ne pas contenir de phosphates, ainsi qu'à l'absence d'érosion du sol.

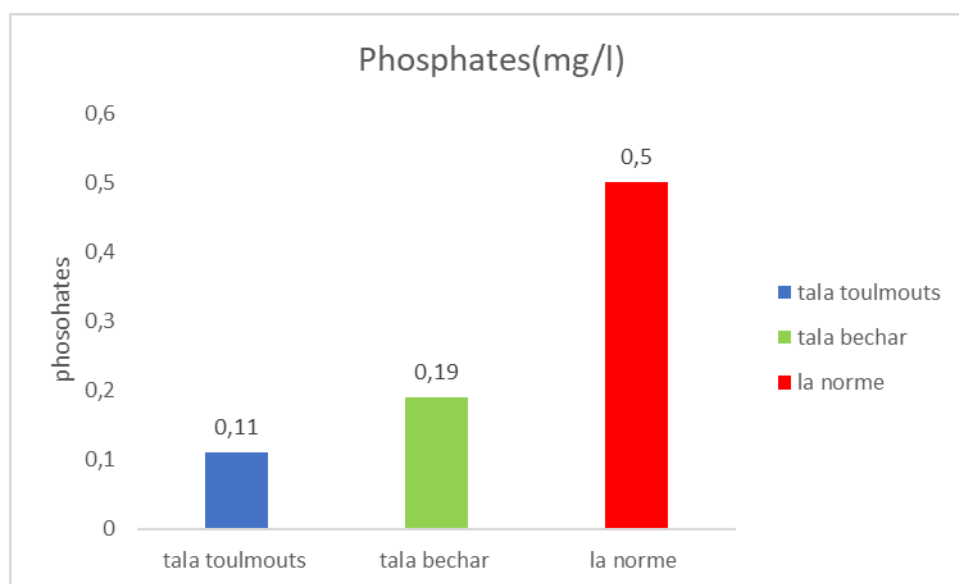


Figure 29: Valeurs des phosphates des eaux des deux sources étudiées

Le phosphate joue un rôle important dans le développement des algues. Il est susceptible de favoriser leur multiplication dans les réservoirs, les lacs et les rivières (Rodier et al., 1996)

3.3 Nitrites

La figure 30 illustre les concentrations en nitrites des deux sources d'eau. Les résultats montrent une absence totale de nitrites dans l'eau de Tala Toulmouts. Selon HANE et al. (2020), cette absence peut être interprétée comme un signe d'oxydation complète de la matière organique ainsi que d'une absence d'utilisation d'engrais chimiques et de fumiers dans la zone d'étude. Par contre, nous avons enregistré une concentration en nitrites de 0,22 mg/l dans les eaux de Tala Bechar mais qui ne dépasse pas la norme algérienne (0,1mg/l).

Les nitrites sont considérés comme étant des ions intermédiaires entre les nitrates et l'azote ammoniacal. Leur présence dans l'eau en quantité importante dégrade la qualité de l'eau et pourrait affecter la santé humaine (Ghazali et al., 2013) ; ce qui n'est pas le cas des deux sources étudiées.

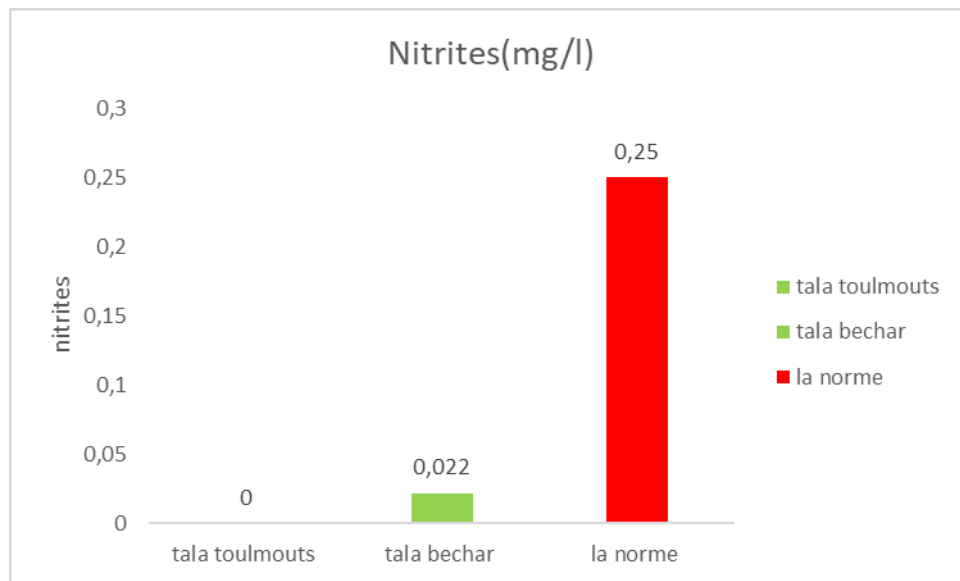


Figure 30: Valeurs des nitrites des eaux des deux sources étudiées

Les nitrites peuvent être rencontrés dans les eaux, mais généralement à des doses faibles, une eau qui renferme des nitrites peut être considérée comme suspecte. Les eaux qui sont en contact avec des terres contenant des nitrites ou avec des rejets urbains et industriels qui contiennent des nitrites, sont généralement contaminées par cet élément indispensable (El Ouedghiri et al., 2014).

3.4 Nitrates

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote. Leur concentration dans les échantillons d'eaux étudiées est comprise entre 3,16 mg/l à Tala Toulmouts et 5,55mg/l à Tala Bechar (figure 31). D'après la norme algérienne et les normes de l'OMS, ces résultats restent largement inférieurs à 50 ml/l.

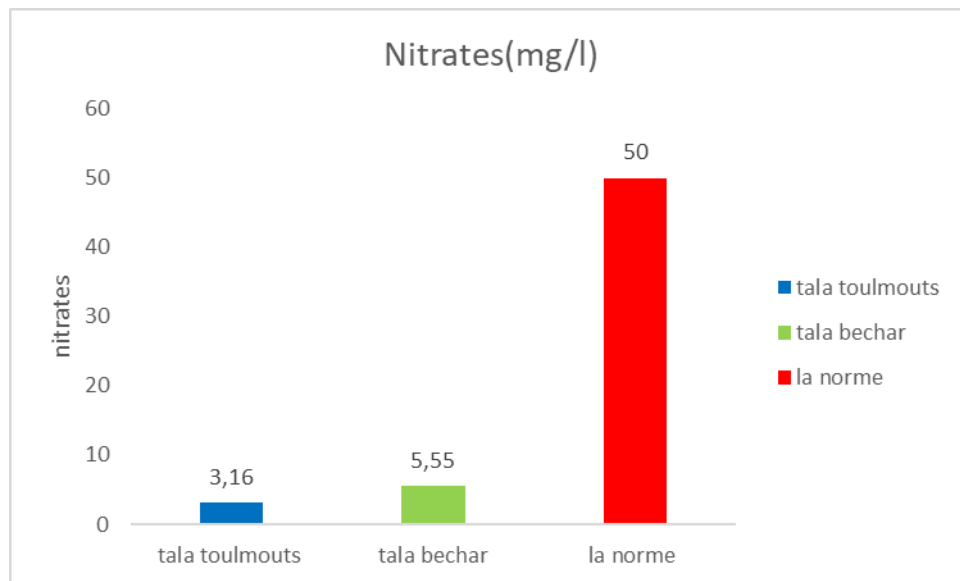


Figure 31 : Teneur en nitrates des eaux des deux sources étudiées

Les nitrates proviennent de la minéralisation de la matière organique. Leur présence en grande quantité est considérée comme une probabilité de pollution due à des rejets domestiques et de l'épandage des engrais ammoniacaux (OMS, 2003)

Les nitrates constituent la forme azotée dominante dans les cours d'eau et dans les nappes d'eau souterraine. Ils sont le résultat de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites. Les nitrates ne sont pas toxiques, mais quand les valeurs dépassent les normes, cela indique qu'il y a des rejets d'eau usée dans les milieux aquatiques superficiels, ainsi que l'utilisation excessive de fertilisants utilisés dans les terrains cultivés à proximité (El Ouedghiri et al., 2014).

3.5 Matière organique

Les résultats obtenus au niveau des stations d'étude sont respectivement de 0,43 mg/l à Tala Toulmouts et 2,16 mg/l à Tala Bechar (Fig. 32). Ces faibles valeurs expliquent la clarification de l'eau.

Les teneurs enregistrées en matières organiques dans l'eau pourraient surtout provenir d'une pollution naturelle (végétation en décomposition), et très peu d'une pollution d'origine exogène (rejets urbains et pratiques agricoles) (HARRAT, 2013).

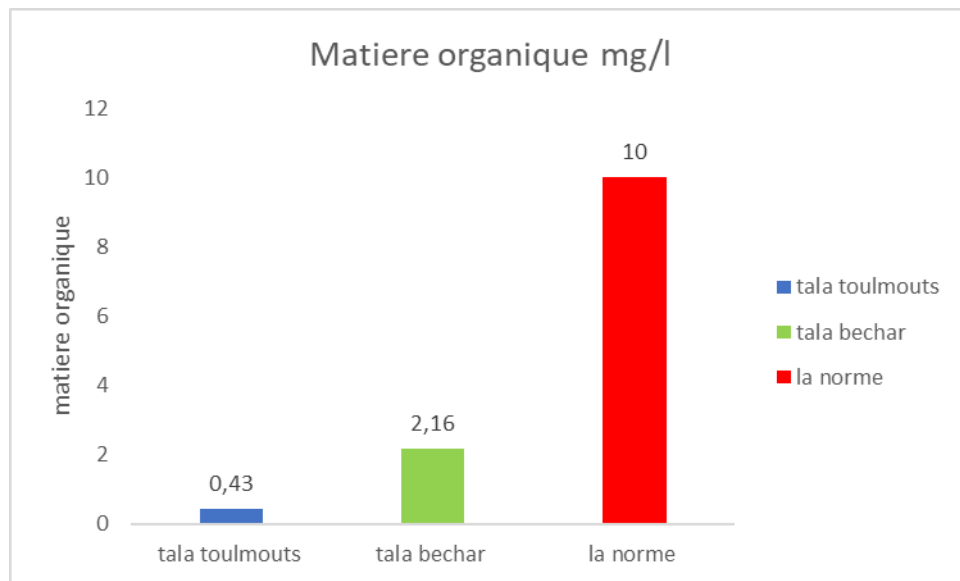


Figure 32 : Teneurs en matière organique des eaux des deux sources étudiées

L'inconvénient des matières organiques est de favoriser l'apparition de mauvais goût qui pourra être augmenté par la chloration. Une eau riche en matière organique doit toujours être suspectée de contamination bactériologique ou chimique (Belghiti et al., 2013).

4. Paramètres indésirables

4.1 Aluminium

La teneur en aluminium mesurée dans les deux sources est de 0,031 mg/l pour Tala Toulmouts et de 0,013 mg/l pour Tala Béchar (Fig. 33). En comparaison avec la norme algérienne qui fixe la limite maximale à 0,2 mg/l, les deux sources respectent largement les exigences de qualité. La source de Toulmouts présente une concentration légèrement supérieure à celle de Béchar, mais les deux restent très en dessous du seuil réglementaire ; ce qui indique une bonne qualité de l'eau du point de vue teneur en de l'aluminium.

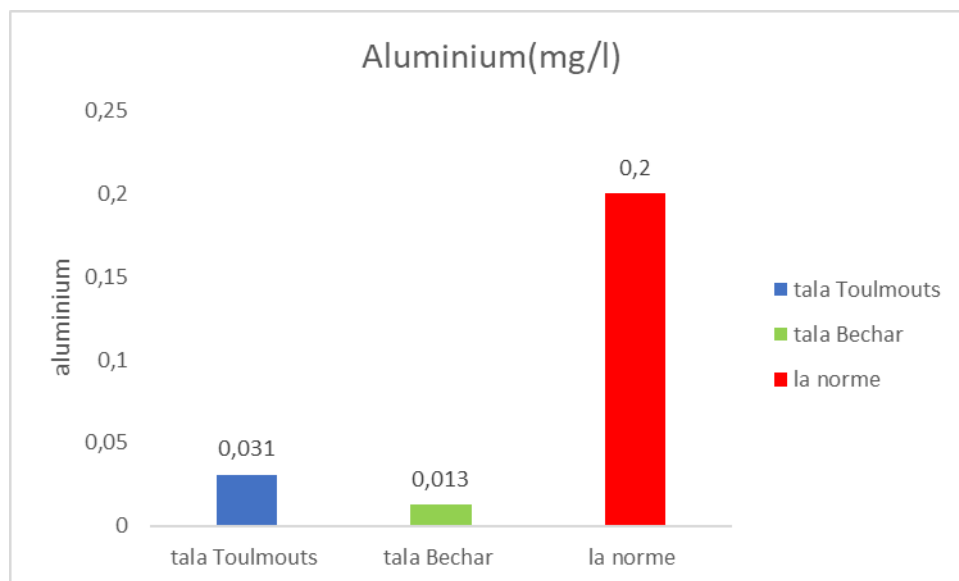


Figure 33 : Valeurs de l'aluminium des eaux des deux sources étudiées

4.2 Fer

La figure 34 montre les concentrations en fer dans les eaux des deux sources étudiées. Les résultats obtenus sont très faibles estimées à 0,01mg/l à Tala Toulmouts et 0.05 mg/l à Tala Bechar. Ces valeurs sont inférieures à la limite maximale fixée par la réglementation algérienne pour les eaux, qui est de 0,30 mg/l, indiquant ainsi que nos résultats sont conformes à cette norme. Les faibles concentrations en fer peuvent être attribuées à la faible présence de matières en suspension (MES) et à l'absence de rejets industriels dans la région d'étude.

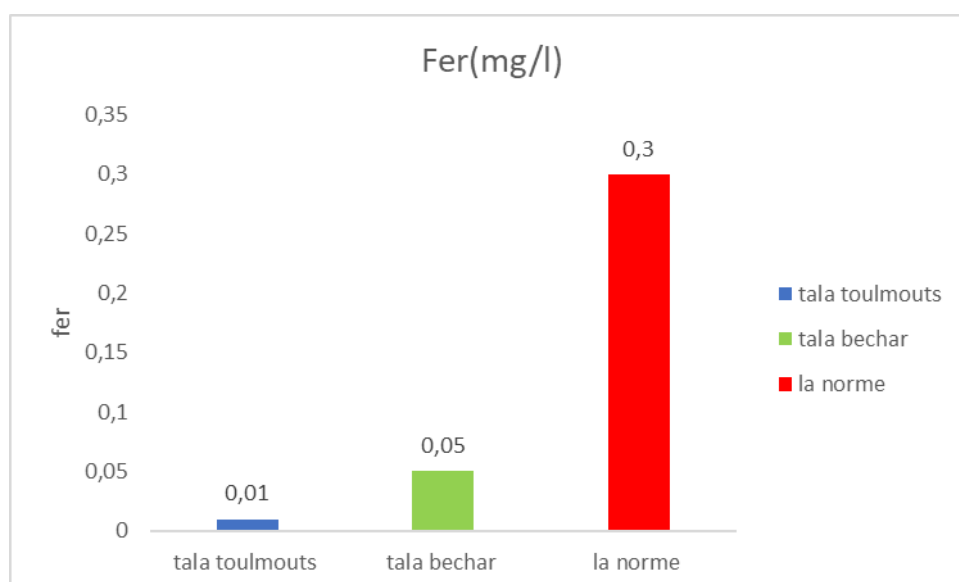


Figure 34 : Teneurs en fer des eaux des deux sources étudiées

La présence du fer dans les eaux peut atteindre quelques mg/l. Ayant pour origine la lixiviation des terrains traversés ou les pollutions industrielles, ce métal à l'état ferreux est assez soluble dans l'eau (Rodier, 1996).

Le fer, étant un élément courant de la croûte terrestre, est présent en fonction des conditions physiques et hydrologiques locales. Il peut se rencontrer dans l'eau sous différentes formes. Dans les eaux, en conditions habituelles, c'est-à-dire à un pH qui varie entre 4.5 et 9, le fer soluble est présent généralement à l'état ferreux. L'excès de fer ne présente pas une toxicité particulière pour l'organisme, mais il peut provoquer bien des problèmes de coloration de l'eau (Rodier et al., 2005)

Le fer dissous précipite en milieu oxydant, sa présence dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui le précipitent (Belghiti et al., 2013).

5. Paramètres de minéralisations globales

5.1 Chlorures

Les teneurs en chlorure enregistrées dans les sources étudiées (Fig. 36) sont respectivement de l'ordre de 61.94 mg/l à Tala Toulmouts et 144.30 mg/l à Tala Bechar. Elles restent, cependant, conformes aux normes du journal algérien (500 mg/l)

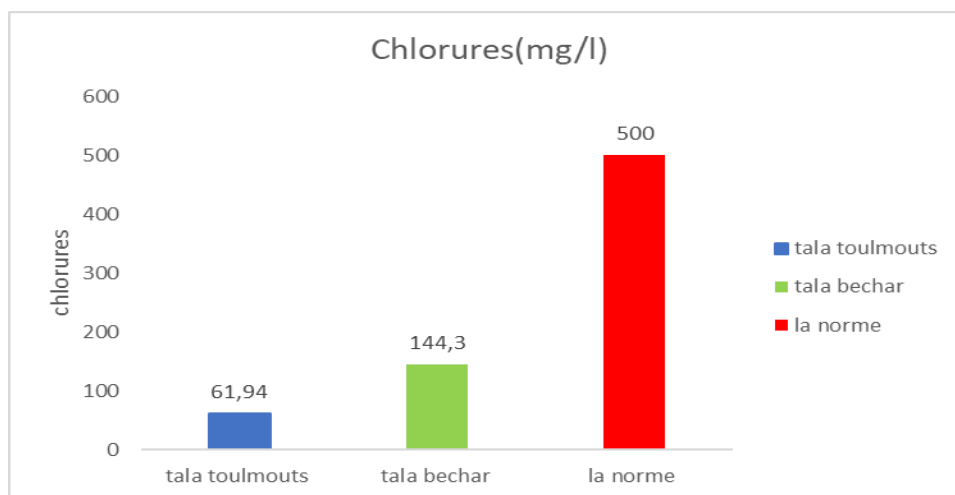


Figure 35 : Teneurs en chlorures des eaux des deux sources étudiées

La concentration des chlorures dans l'eau dépend du terrain traversé. Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives (Belghiti et al., 2013). Selon Rodier et al. (2009), les chlorures n'auraient pas d'effets néfastes sur la santé du consommateur car l'équilibre en chlorures se maintient, surtout par l'excrétion de l'excès de chlorures dans l'urine.

5.2 Calcium

La figure 36 représente la variation du calcium des 2 sources. Les résultats montrent que la teneur en Calcium est plus élevée dans la source de Béchar (141,45mg/l) par rapport à celle de Toulmouts (104,65 mg/l). En comparant ces valeurs restent conformes aux normes algériennes relatives à la qualité de l'eau potable (qui recommandent généralement une teneur en Calcium inférieure à 250 mg/l),

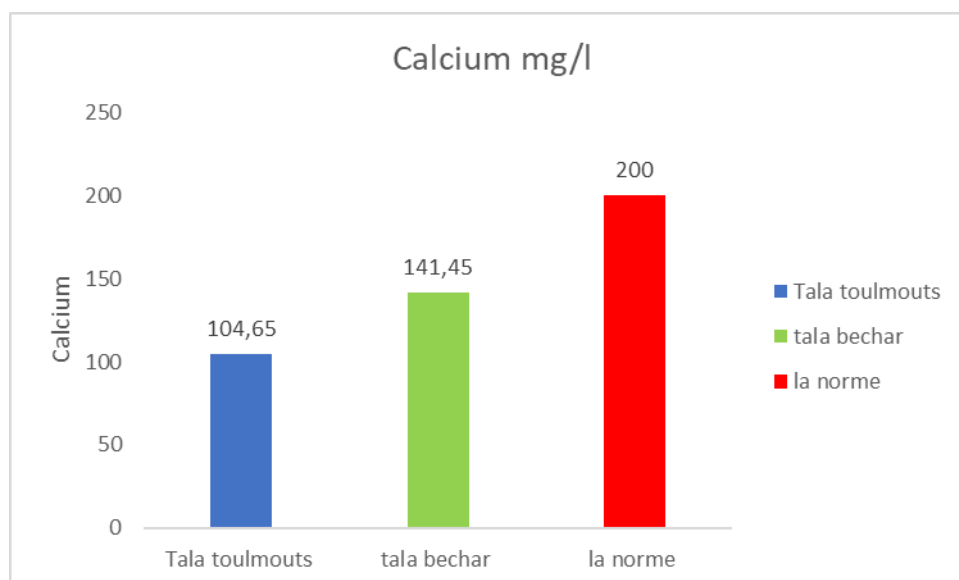


Figure 36 : Teneurs en calcium des eaux des deux sources étudiées

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (Rodier et al., 2009).

5.3 Magnésium

La figure 37 présente les concentrations en magnésium relevées dans deux sources, Béchar et Toulmouts. Les résultats montrent que la teneur en magnésium est plus élevée dans la source

de Béchar (50,98 mg/l) par rapport à celle de Toulmouts (29,54 mg/l). En comparant ces valeurs aux normes algériennes relatives à la qualité de l'eau potable (qui recommandent généralement une teneur en magnésium inférieure à 50 mg/l), on constate que l'eau de Tala Béchar dépasse légèrement cette limite, tandis que celle de Toulmouts reste conforme.

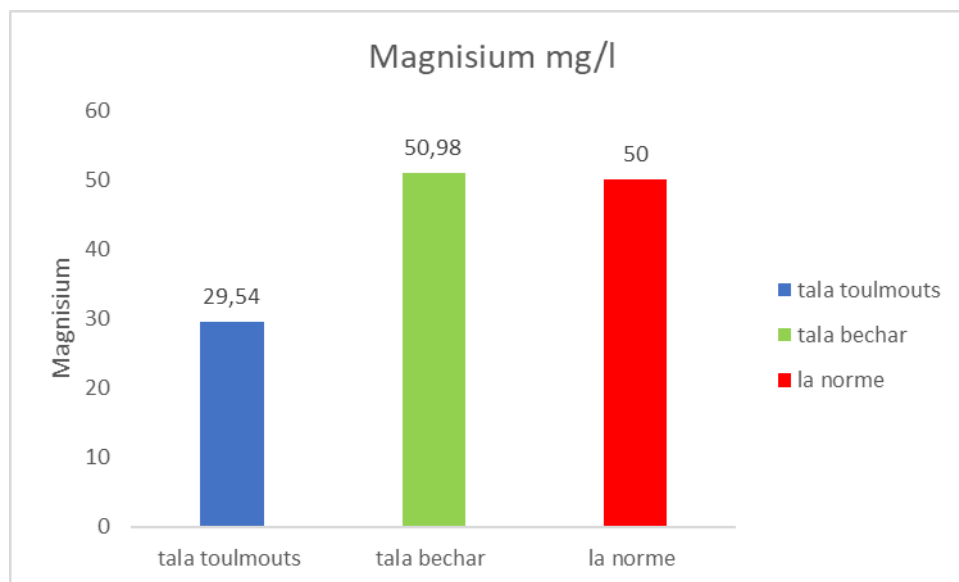


Figure 37 : Teneurs en magnésiums des eaux des deux sources étudiées

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogencarbonates. A partir d'une concentration de 100 mg/l et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau (Rodier, 1976).

Le calcium et le magnésium se rencontrent dans presque les eaux naturelles et ils contribuent à la dureté de l'eau (Potelon et Zysmane. 1998).

II. Résultats des analyses bactériologiques

Le tableau 7 représente les résultats des paramètres bactériologiques de l'eau

Tableau 7 : Résultats de l'analyses bactériologiques

La source	Tala Toulmouts	Tala Bechar
Types des bactéries		
E. coli	05 UFC	03 UFC
Coliformes totaux	10 UFC	>300 UFC
Streptocoques	00 UFC	07 UFC

1. Les coliformes

1.1 *Escherichia coli*

D'après les analyses effectuées, nous avons remarqué une présence d'*E. coli* au niveau de toutes les stations étudiées (Fig. 38). Cependant, il y'a un développement très faible de ces colonies (05 et 03 UFC respectivement). *E. coli* est un indicateur spécifique de contamination fécale récente, et sa présence est strictement interdite dans l'eau destinée à la consommation. Selon (Rodier et al., 2009), *E. coli* représente approximativement 10% des microorganismes intestinaux humaines et animaux et est considérée comme étant un organisme indicateur de pollution.

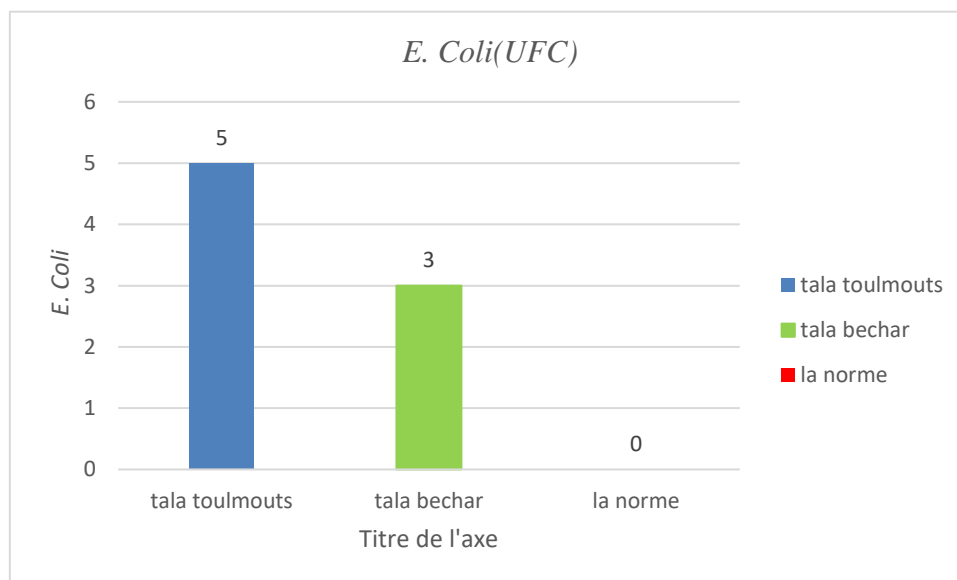


Figure 38 : Nombre de colonies d'*E. coli* des eaux des deux sources étudiées

1.2 Coliformes totaux

L'analyse bactériologique au niveau des stations étudiées montre que le taux des coliformes totaux varie d'une station à une autre (Fig. 39). Au niveau de Tala Toulmouts, le nombre de colonies est faible estimé à 10 UFC, car les conditions sont défavorables pour la prolifération de ces bactéries. On constate que la pollution à ce niveau est nulle. Le plus grand nombre de colonies a été enregistré au niveau de la source Bechar (>300 UFC). Cette prolifération résulte probablement de l'apparition d'une pollution fécale expliquée par la présence des facteurs qui favorisent leurs croissances comme les rejets domestiques.

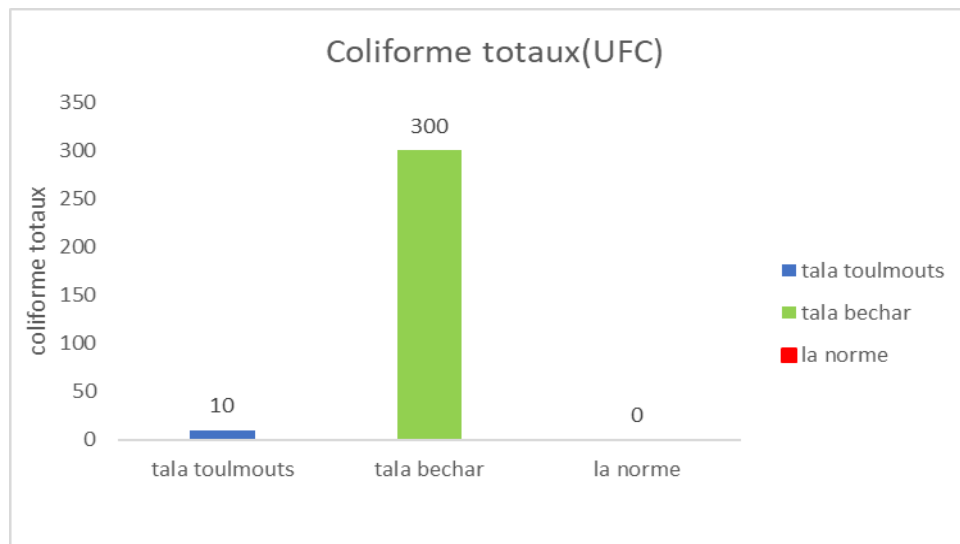


Figure 39 : Nombre de colonies de coliformes totaux des eaux des deux sources étudiées

Lorsque le nombre de coliforme totaux est supérieur au nombre de streptocoques fécaux, la contamination est d'origine humaine (Rodier,1996).

2. Streptocoques

Les résultats obtenus au niveau des deux sources(Fig.40) montrent une prolifération très faible voire nulle des bactéries streptocoques, avec des teneurs de 00 UFC à Tala Toulmouts et des valeurs plus élevées au niveau de Tala Bechar (07 UFC) ; ces valeurs sont supérieures à la norme algérienne (0 UFC). La présence des streptocoques indique une contamination fécale ancienne.

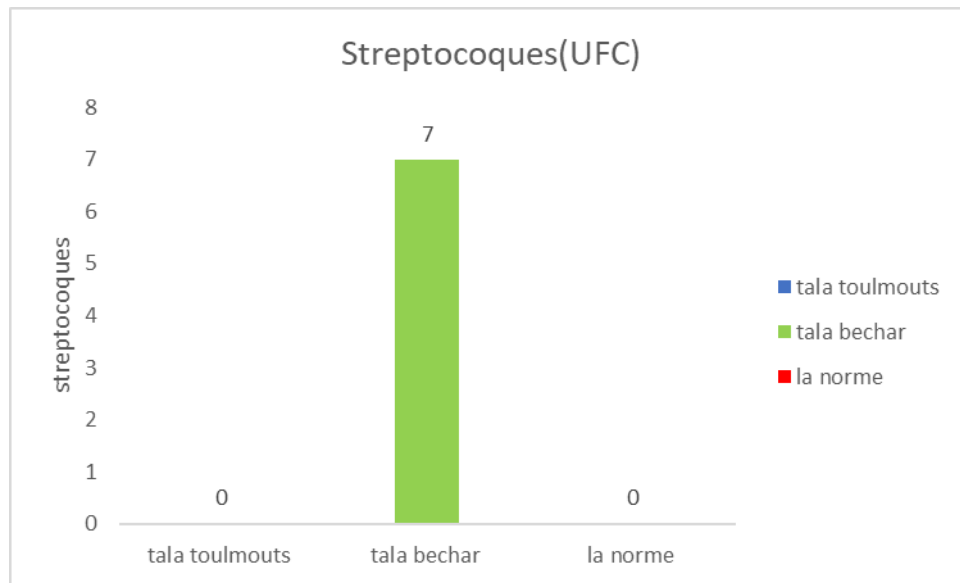


Figure 40 : Valeurs des streptocoques des eaux des deux sources étudiées

Les streptocoques fécaux sont des espèces commensales du tube digestif de l'homme et des animaux (Delarras, 2000).

Conclusion

Conclusion

L'étude menée sur les eaux des sources de Tala Toulmouts et Tala Bechar dans la wilaya de Tizi Ouzou a permis d'évaluer leur qualité à travers des analyses physico-chimiques et bactériologiques. Les résultats des analyses physico-chimiques montrent que la majorité des paramètres mesurés sont conformes aux normes algériennes et internationales de potabilité. Le pH des deux sources se situe dans la plage recommandée (entre 6,5 et 8,5) indiquant une eau ni trop acide ni trop basique. La conductivité reste inférieure aux limites admises, traduisant une minéralisation modérée et acceptable. La turbidité est faible, ce qui suggère une absence notable de particules en suspension visibles. De plus, les concentrations en oxygène dissous, MES (matières en suspension) et résidus secs sont restées dans les fourchettes recommandées, témoignant d'une eau physiquement propre et bien oxygénée. Ces résultats traduisent une bonne qualité physico-chimique de l'eau, probablement liée à une alimentation naturelle des sources sans activité industrielle ou agricole intensive à proximité.

Cependant, les analyses bactériologiques révèlent des non-conformités préoccupantes. La présence de germes coliformes totaux et, dans certains cas, de coliformes fécaux (*Escherichia coli*), dépasse les seuils tolérés pour une eau destinée à la consommation humaine. Ces résultats indiquent une contamination d'origine fécale, probablement liée à des infiltrations provenant de latrines, de ruissellements d'eaux usées ou d'une mauvaise protection des captages. Cette pollution microbiologique rend l'eau impropre à la consommation directe sans traitement préalable tels que la chloration ou la filtration.

Ces résultats soulignent l'importance d'une surveillance continue de la qualité microbiologique de l'eau ainsi que la mise en œuvre de mesures de protection autour des sources (aménagement, signalisation, limitation des activités humaines à proximité). Par ailleurs, une campagne de sensibilisation auprès des habitants locaux est fortement recommandée afin d'encourager des pratiques responsables et hygiéniques.

Malgré les résultats obtenus, cette étude présente certaines limites liées à des contraintes logistiques et temporelles. En particulier, il n'a pas été possible de réaliser certaines analyses approfondies qui auraient permis de renforcer l'interprétation des données. De même, l'absence de prélèvements réalisés de manière saisonnière constitue une limite importante, car elle restreint la compréhension de la variabilité temporelle des paramètres étudiés. Ces éléments

non abordés constituent des perspectives de recherche intéressantes qui mériteraient d'être explorées dans le cadre de travaux futurs.

Références bibliographiques :

- **Arrête**, interministériel du 22 janvier 2006 fixant les proportions d'éléments contenues dans les eaux minérales naturelles et les eaux de source ainsi que les conditions de leurs traitements ou les adjonctions autorisées (JO N°27 du 26 Avril 2006, P9)
- **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-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc).** Larhyss Journal n°14 : 21-
- **Bouchseiche C., Cremille E., Pelte T et Pojer K., (2002) : Pollution toxique et écotoxicologie : notion de base.** Guide technique SDAGE 7. Comité de Bassin Rhône-Méditerranée Corse, 85p
- **Boumaouche N., Bouchahm Y., (2017) : Contribution de la géothermie dans la réhabilitation Énergétique des maisons individuelles. Cas de Constantine/ville Hamma.** B. Algérie. Sciences & Technologie. D, Sciences de la terre, 57-69.
- **C.I.E.,(2005) : Centre d'information sur l'eau disponible sur internet : www.Cieau.com.**
- **Chery.L., (2006) : La qualité des eaux souterraines : méthodes de caractérisation des états de références des aquifères Français.** Edition brgm. Paris. 238p.
- **Degremont., (2005) : Mémento technique de l'eau Tome I.10^{ème} édition.** Lavoisier. Tec et Doc. Paris 105p.
- **Diab W., (2016).** Étude des propriétés physico-chimiques et colloïdales du bassin de la rivière Litani, Liban. Thèse de doctorat en Géosciences Université de Lorraine. 214p.
- **Dellaras C., (2003) : Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux : Réglementation. Prélèvement. Analyse** 225p
- **Gaujous, D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire.2^{ème} Ed. Lavoisier. 220p : 39-60.
- **Ghazali d. et Zaid A., (2013) : Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknes-Maroc).** Larhyss Journal, 12 : pp. 25-36
- **Houmel T., (2017) : Contribution à l'étude des paramètres physicochimiques et bactériologiques sur deux périodes d'échantillonnage de deux sources d'eau au niveau de deux communes « Tizi Rached et Ait Toudert » Wilaya de Tizi Ouzou.** Mémoire de Master. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Département de Biologie Animale et Végétale. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 77p.

- **Hane M., Diagne I., Ndiaye M., Ndiaye B., Dione T., Cisse D., Diop A., _.** Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits et de forage consommées dans la commune de Sinthiou Maléme dans la région de Tambacounda (Sé-négal). IJBCS. 14(9), pp 3400-3412.
- **Harrat N., (2013)** : Elimination de la matière organique naturelle dans une filière conventionnelle de potabilisation d'eaux de surface. Thèse présentée en vue de l'obtention Du diplôme de Doctorat en sciences Spécialité : HYDRAULIQUE. Université Mohamed Khider Biskra.
- **Hoffman F., Auly T., Meyer A-M., (2014)** : L'eau. Edition: Confluence p.43
- **Jora., (2011).** « Journal Officiel de la République Algérienne ». N °18. P7-9
- **Lunc J. et Lagradette M., (2004)** : l'eau potable et l'assainissement. Edition Johannes. Paris.113p.
- **Metahri Med said, 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 TiziOuzou, thèse de doctorat, option Génie des procédés, département d'agronomie, université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, Algérie, 2012.
- **Niskak B.,(2008)**: Encyclopedia of Global warming and climate change. Ed. S. Philander. Vol 3 Thousand Oaks.CA: Sage Publication Inc.3:813-817
- **O.M.S., (2004)** : Organisation Mondiale De la Santé.Directive de qualité pour l'eau de boisson .3ème Edition .110p
- **Park C.,(2007)** A dictionary of Environment and Conservation: water pollution. Oxord University press, 2007. Oxford Reference Online www.oxordreference.com.edlis.ied.edu.hk/views/ENTRY.html?subview=Main&entry=44.e
- **Ramade F. (2005)** : Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Ed Ediscience international. Paris, France.
- **Ramade F., (1992)** : Précis d'écologie. Edition. Ediscience internationale.300p.
- **Rejssek F., (2002)** : Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques. Série sciences et techniques de l'environnement. Edition Scérén.358p
- **Rodier et al., (1996)**: L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Ed. Dunod, 8 ème Edition, Paris.
- **Rodier J.,(2005)** : L'analyse de l'eau. Eaux naturelle, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer 8ème édition. Edition Dunod, 1381p.

- **Rodier et al.,(2005)** : L'Analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduares, Eaux de Mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats, EdDunod, paris, 384p.
- **Rodier J.,(2006)** : L'eau : sciences et techniques. Dunod.
- **Rejesk F.,(2002)** : Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques. Série sciences et techniques de l'environnement. Edition Scérén, 360p.
- **Samake H., (2002)** : Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001. Thèse de doctorat. Université de Bamako. Mali.77p.

Résumé :

Cette étude a été menée afin d'évaluer la qualité de l'eau de deux sources naturelles situées dans la wilaya de Tizi Ouzou, à savoir Tala Toulmouts et Tala Bechar. L'objectif principal est de déterminer si cette eau est conforme aux normes de potabilité en vigueur, tant sur le plan physico-chimique que bactériologique, et d'identifier les éventuels risques pour la santé publique.

Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que les paramètres mesurés tels que le pH, la température, la conductivité électrique, la turbidité, l'oxygène dissous, ainsi que les concentrations en nitrates, ammonium, et fer, sont globalement conformes aux normes établies par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et les recommandations algériennes relatives à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Ces données traduisent une bonne qualité physico-chimique, ce qui reflète une faible pollution d'origine chimique ou minérale.

Cependant, les analyses bactériologiques ont révélé une contamination significative, notamment par la présence de coliformes fécaux. Ces germes indicateurs d'une pollution d'origine fécale proviennent probablement de rejets domestiques ou de la proximité de zones d'élevage, et témoignent d'un risque réel pour la santé des consommateurs.

Mots clés : qualité de l'eau, sources naturelles, analyses physicochimique, contamination bactériologiques .

Abstract:

This study was conducted to assess the water quality of two natural springs located in the Tizi Ouzou province, namely Tala Toulmouts and Tala Bechar. The main objective was to determine whether the water meets current drinking water standards, both physicochemical and bacteriological, and to identify any potential public health risks.

The results of the physicochemical analyses showed that parameters such as pH, temperature, electrical conductivity, turbidity, dissolved oxygen, and concentrations of nitrates, ammonium, and iron are generally in compliance with the standards set by the World Health Organization (WHO) and Algerian guidelines for drinking water quality. These findings indicate good physicochemical quality, reflecting low levels of chemical or mineral pollution.

However, bacteriological analyses revealed significant contamination, particularly with the presence of fecal coliforms. These indicator organisms of fecal pollution likely originate from domestic wastewater or nearby livestock areas, posing a real health risk to consumers. This contamination renders the water unfit for direct consumption without prior treatment (disinfection or boiling), despite its good chemical quality.

keywords: water quality, natural springs, physicochemical analyses, bacteriological contamination