

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 de Biologie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Biologiques

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biodiversité et Environnement

Thème

**Evaluation des paramètres physico-chimiques et
bactériologiques des eaux de trois sources
(Thianserine, Thala Bouada et Ait Naïm) dans la
région de Tizi-Ouzou**

Présenté par :

M^{elle} OUHAMOUCHE Charihane

M^{elle} ZANE Nacira

Évalué par le jury composé de :	Grade	Lieu d'exercice
Présidente : M^{me} SAHMOUNE F.	MAA	UMMTO
Promoteur : M^f MEZANI S.	MCB	UMMTO
Co-promotrice : M^{me} LARDJANE N.	MCA	UMMTO
Examineur: M^f BERRADJ O.	MCA	UMMTO

Année universitaire : 2020/2021

Remerciement

Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements pour notre promoteur Mr MEZANI S., Maître de Conférences Classe B à l'Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou et notre co-promotrice Mme LARDJANE N., Maître de Conférences Classe A à l'Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou d'avoir acceptés d'encadrer ce travail, ainsi que pour leurs rigueurs et leurs remarques pertinentes.

Nous remercions également notre présidente du jury Mme SAHMOUNE F., Maître Assistante classe A à l'Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou pour avoir porté un intérêt particulier pour notre modeste travail et d'avoir accepté la présidence de ce jury.

Un vif remerciement pour notre examinateur Mr BERRADJ O. Maître de Conférences Classe A à l'Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou d'avoir accepté d'évaluer ce travail. Recevez nos chaleureux remerciements et soyez assuré de notre profond respect.

Nous tenons à remercier tous les membres de l'établissement de laboratoire de l'algérienne des eaux, en particulier Mme LADJEL S., qui nous ont fournis une aide précieuse et une collaboration renforcée.

Nous remercions aussi à toutes les personnes qui nous ont soutenues jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de nous donner des conseils très importants en guise de reconnaissance.

Dédicace

A ma très chère mère...a la plus merveilleuse des mères, J'espère réaliser, en ce jour, l'un de tes rêves....Aucun mot ne saurait exprimer mon respect, ma considération et l'amour que je te porte...Puisse Dieu le tout puissant te donner santé et longue vie...

A mon très cher père...Aucune dédicace ne saurait exprimer à sa juste valeur tout l'amour, le respect, l'attachement et la reconnaissance que je te porte.

Tu m'as enseigné la droiture, le respect et la conscience du devoir.

Puisse Dieu, le tout puissant, te procurer santé, bonheur et longue vie...

A ma grande mère.

A ma chère sœur Tassadit, son mari Salem et leurs deux enfants Lounes et Fatima .

A ma chère sœur Fatrouze, son mari Idir et leurs fille Emma .

A mon chère frère Mezaine.

A ma chère sœur Ghezlane, son mari George et leurs fils Bassil

A mon chère frère Hakim

A ma chère sœur Djamela

A ma chère sœur Elouize

A la mémoire mes grand père , que le Dieu les accueille dans son vaste paradis.

A tous ceux qui me sont chers, mes amis, sans oublier toutes les connaissances et tous les condisciples de ma promotion pour l'entente cordiale et l'esprit de confraternité qui a régné durant toute la formation.

A mon binôme et sa famille

A mon très cher Boussad.



Charihane

Dédicace

Un moral d'acier et une volonté de fer décrivent bien mon parcours jusqu'ici. C'est dire combien il m'a été difficile de patienter toute une décennie pour prétendre à ce Master. Dieu merci, j'ai été bien entouré et je tiens à dédier ce travail.

A mes chers parents qui m'ont soutenu depuis mon premier jour dans ce monde et qui m'ont encouragé durant toutes mes études que dieu tout puissant me les garde.

A mes sœurs et frère

A ma nièce LYNA et mon neveu KHALIL

A ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans mes moments les plus difficiles

A tous mes amis.

NACIRA .Z

NACIRA .Z

Liste des abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux.

B.C.P.L : Bouillon lactose au pourpre bromocrésol.

D/C : Double Concentration.

DBO : Demande Chimique en Oxygène.

DCO : Demande Biochimique en Oxygène.

EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétracétique.

EVA : Ethyle Violet Acide bouillon.

HCl : Acide Chlorhydrique.

MES : Matières en suspension.

N.A : Norme Algérienne.

NPP : Nombre le plus probable.

NTU : Unité de Turbidité Nephelométrique.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

PCA : Plate Count Agar.

PH : Potentiel d'hydrogène.

RS : Résidus Secs.

S/C : Simple Concentration.

TA : Titre Alcalimétrique.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

T.G.E.A : Glucose Tryptone à l'Extrait d'Agar.

TH : Titre Hydrotimétrique.

USF : Unités Formant Colonies.

μS : micro siemens.

Liste des figures

Figure 1 : Photo de la source Thianserine	17
Figure 2 : Carte géographique de la région de Ouacif (GOOGLE EARTH, 2021).....	17
Figure 3 : photo de la source Ait Naïm	18
Figure 4: Carte géographique de la région d'Azeffoune (GOOGLE EARTH, 2021).....	18
Figure 5 : Photo de la source Thala Bouada	19
Figure 6 : Carte géographique de la région Bouzeguène (GOOGLE EARTH, 2021)....	20
Figure 7: Thermomètre	23
Figure 8: pH-mètre	23
Figure 9: Turbidimètre HACH 2100N	24
Figure 10: Conductimètre	25
Figure 11 : Spectrophotomètre à flamme	28
Figure 12: Spectrophotomètre HACH (photographie originale ,2021).....	28
Figure 13: Détermination d'oxydabilité ou permanganate de potassium (OUHAMOUCHE et ZANE, 2021).....	31
Figure 14: Dénombrement des coliformes totaux par Npp (OUHAMOUCHE et ZANE, 2021)	34
Figure 15 : variation du pH dans les trois sources étudiées durant les trois années (été2019, 2020 et 2021).	38
Figure 16 : variation de la conductivité dans les trois sources durant les trois années (été2019, 2020 et 2021).	39
Figure 17: Variation de la température dans les trois sources étudiées durant trois années (été2019, 2020 et 2021).	40
Figure 18 : Variation des résidus secs des trois sources étudiées durant les trois années (été2019, 2020 et 2021).	41
Figure 19: Variation de titre alcalimétrique dans les trois sources durant les trois années (été2019, 2020 et 2021).	42
Figure 20: Variation de la dureté totale dans les trois sources étudiées durant les trois années (été2019, 2020 et 2021).	43
Figure 21: Variation du calcium dans les trois sources étudiées durant les trois années (été2019, 2020 et 2021).	44
Figure 22: Variation de magnésium dans les trois sources étudiées durant les trois années (été2019, 2020 et 2021).	45
Figure 23: Variation du sodium dans les trois sources étudiées durant les trois années (été2019, 2020 et 2021).	46
Figure 24: Variation du potassium dans les trois sources étudiées durant les trois années (été2019, 2020 et 2021).	47
Figure 25 : Variation du chlorure dans les trois sources étudiées durant les trois années (été2019, 2020 et 2021).	48
Figure 26 : Variation du sulfate des trois sources étudiées durant les trois années (été2019, 2020 et 2021).	49
Figure 27 : Variation du bicarbonates les trois sources étudiées durant les trois années (été2019, 2020 et 2021).	51

Liste des figures

Figure 28: Variation du fer dans les trois sources étudiées durant trois années (été 2019,2020 et 2021).	52
Figure 29: Variation d'ammonium dans les trois sources étudiées durant les trois années (été 2019,2020 et 2021).	53
Figure 30: Variation des nitrates dans les trois sources étudiées durant trois années (été 2019,2020 et 2021).	54
Figure 31: Variation des phosphates dans les trois sources étudiées durant trois années (été 2019,2020 et 2021).	55
Figure 32: Variation de la matière organique dans les trois sources étudiées durant trois années (été 2019,2020 et 2021).	56

Liste des tableaux

Tableau 1 : Relation existante entre la minéralisation et la conductivité de l'eau.....	7
Tableau 2 : Classes de turbidité de l'eau (RODIER et <i>al.</i> , 2009).....	8
Tableau 3 : Potabilité d'une eau en fonction des résidus secs (RODIER et <i>al.</i> , 2009).....	8
Tableau 4:Matériels et méthodes utilisés pour les différents paramètres physico-chimiques..	22
Tableau 5: Résultats des analyses bactériologiques des eaux des trois sources étudiées.	57

Introduction.....	1
-------------------	---

Chapitre I : Généralités sur l'eau

1	Diffinition de l'eau.....	3
2	Propriétés de l'eau.....	3
3	Eau potable.....	3
4	Eaux de sources.....	4
5	Différentes types de sources.....	4
6	Traitement de l'eau de sources.....	5
7	Législation de l'eau.....	5
8	Paramètres et qualités d'une eau potable.....	6
8.1	Paramètres organoleptiques.....	6
8.2	Paramètres physico-chimiques.....	6
8.3	Paramètres bactériologiques.....	15

Chapitre II : Matériels et méthodes

1	Présentation des zones d'étude.....	17
1.1	Source Thianserine (Ouacif).....	17
1.2	Source Ait Naïm (Azeffoune).....	18
1.3	Source Thala Bouada (Bouzeguène).....	19
2	Echantillonnage.....	20
2.1	Echantillonnage pour l'analyse physico-chimique.....	21
2.2	Echantillonnage pour l'analyse bactériologique.....	21
2.2.2	Milieux de culture.....	21
3	Matériels et méthodes.....	22
4	Analyse physico-chimique.....	22
4.1	Mesure de la température.....	23
4.2	Mesure du potentiel d'hydrogène (pH).....	23
4.3	Mesure de la turbidité.....	24
4.4	Mesure de la conductivité.....	24
4.5	Analyse de la minéralisation globale.....	25
4.5.1	Dosage de l'alcalinité.....	25

4.5.2	Dosage de la dureté totale (titre hydrométrique TH)	26
4.5.3	Dosage des ions calcium.....	26
4.5.4	Dosage des ions de magnésium	27
4.5.5	Dosage des chlorures	27
4.5.6	Dosage du sodium et du potassium.....	27
4.5.7	Dosage des ions Sulfates.....	28
4.6	Analyse des paramètres de pollution.....	28
4.6.1	Dosage d'ammonium [NH ₄ ⁺].....	28
4.6.2	Dosage des nitrates	29
4.6.3	Dosage de phosphate.....	29
4.7	Analyse des éléments indésirables	30
4.7.1	Dosage de fer	30
4.7.2	Dosage de la matière organique.....	30
5	Analyse bactériologique	32
5.1	Recherche et dénombrement des germes totaux	32
5.2	Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux	33
5.3	Recherche et dénombrement des entérocoques.....	35

Chapitre III : Résultats et discussion

1	Paramètres organoleptiques.....	37
1.1	Couleur.....	37
1.2	Odeur.....	37
2	Paramètres physico-chimiques	37
2.1	PH.....	37
2.2	Conductivité	38
2.3	Température	39
2.4	Résidus secs.....	40
2.5	Paramètres de la minéralisation globale.....	41
2.5.1	Titre alcalimétrique complet (TAC)	41
2.5.2	Dureté totale.....	41
2.5.3	Dureté calcique et la dureté magnésienne.....	42
2.5.4	Sodium	44
2.5.5	Potassium	45

2.5.6	Chlorure	46
2.5.7	Sulfates.....	47
2.5.8	Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	48
2.6	Paramètres indésirables	49
2.7	Paramètres de pollution.....	50
3	Paramètres bactériologiques	54
3.1	Escherichia Coli	55
3.2	Coliformes totaux.....	55
3.3	Streptocoques fécaux.....	56
	Conclusion.....	57
	Références bibliographiques.....	60

Résume

L'eau est un élément indispensable pour la vie et pour le développement socio-économique réel et durable d'un pays, donc il est nécessaire d'avoir une meilleure connaissance sur les ressources en eau. La première est la vulnérabilité des ressources, la seconde est la nécessité de préserver et de maintenir la qualité de ces ressources destinées à la consommation.

Une eau potable ordinaire est une eau qui possède des qualités physiques, chimiques, bactériologiques et organoleptiques qui la rendent acceptable à la consommation humaine (GUIRAUD, 1980).

Une eau destinée à la consommation devrait respecter les directives de qualité de l'eau de boisson fixées par l'OMS. Ce sont des exigences raisonnables minimales s'appliquant à la pratique sans risque, destinées à protéger la santé des consommateurs (OMS, 2004).

Les eaux souterraines sont traditionnellement les ressources en eaux privilégiées pour les eaux potables. Ces eaux souterraines subissent des perturbations qui impliquent la détérioration de leur qualité hygiénique. Ainsi la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de consommation, qui a fait l'objet de plusieurs études, a montré le risque sanitaire sur la santé humaine.

La présente étude s'intéresse à l'évaluation des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux de trois sources au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou, à savoir Thala Bouada (Bouzeguène), Ait Naïm (Azeffoune) et Thianserine (Ouacif) durant l'été 2021. Les résultats obtenus sont comparés aux résultats de l'été 2019 et 2020 donnés par le personnel de laboratoire de l'Algérienne des eaux (A.D.E) de Tizi Ouzou.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la potabilité des eaux issues de ces trois sources, en se basant sur la réglementation algérienne en vigueur et celle fixée par l'O.M.S pour les eaux potables, sachant que ces eaux sont consommées par la majorité de la population et considérées comme eau « potable » et « minérale ».

Nous avons effectué un stage pratique d'une semaine au sein de laboratoire de l'établissement public de la distribution des eaux (Algérienne des eaux) unité de Boukhalfa, wilaya de Tizi Ouzou, où nous avons réalisé l'analyse de nos échantillons.

C'est ainsi que nous avons entrepris de mener ce présent travail qui est scindé en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les eaux naturelles ainsi que les paramètres d'une eau potable ;

Dans le deuxième chapitre nous allons exposer le matériel utilisé ainsi que la méthodologie expérimentale adoptée pour l'analyse de la qualité des eaux de ces trois sources.

Le troisième chapitre comporte des résultats obtenus et leur discussion.

Enfin, nous clôturons ce travail par une conclusion résumant les différents résultats obtenus avec quelques recommandations jugées utiles.

1 Définition de l'eau

L'eau est l'élément vital pour la vie, c'est la boisson naturelle par excellence. L'eau est un liquide, incolore, inodore, sans saveur et de pH neutre (PERRY ,1984). C'est un excellent solvant entrant dans la composition de la majorité des organismes vivants, sa formule chimique H_2O et on peut le trouve sous trois forme : liquide, solide ou gazeuse (BERNARD ,2007).

2 Propriétés de l'eau**2.1 Propriétés physiques**

L'eau se trouve sous trois états : liquide, solide, gazeux. L'eau est incolore, inodore, sans saveur quand elle est pure.

L'eau peut dissoudre de nombreuses matières pour donner des solutions elle repousse presque toutes les substances organiques (huile, pétrole) pour former des émulsions. En refroidissant, elle augmente de volume.

2.2 Propriétés chimiques

Les propriétés chimiques de l'eau résident dans les liaisons que les molécules d'eau peuvent former avec ses voisines. Les extrémités proches de l'atome d'Oxygène développent des charges négatives ; les extrémités proches des atomes d'Hydrogène développent des charges positives.

3 Eau potable**3.1 Définition d'une eau potable**

L'eau potable est une eau qui doit être exempte de microorganisme pathogènes et substances toxiques en vue de la préserves, contenir une certaines quantités de sels minéraux et de microorganisme saprophytes. Elle doit par ailleurs être limpide, incolore et ne présente aucun gout ni odeur désagréable (O.M.S,1986).

3.2 Normes de potabilité

D'après le code algérien des eaux du 16/07/1983 dans son article 57 chapitre 1, une eau dite potable lorsqu'elle n'est pas susceptible de porter atteinte à la santé de ceux qui la consomme, elle ne doit pas contenir de substances chimiques en quantités nuisible à la santé publique ni et germe pathogène, elle doit être inodore, incolore et agréable à boire.

En général, on adopte les normes de l'O.M.S, ces normes sont assez tolérantes vis-à-vis de certains critères. Les plus utilisés sont les critères physico-chimiques et les critères

toxicologiques. L'eau potable doit aussi répondre aux normes de qualité d'une eau potable sont données :

- Selon les normes algérienne relatives de l'eau de consommation humaine (décret exécutif n°11-125 JO N°18 du 23mars 2011).
- Selon les valeurs guide de L'OMS.

Elle doit répondre à une série de critères définis par l'arrêté du 11 janvier 2007 du ministère de la Santé :

- **Paramètres organoleptiques** : coloration, odeur, turbidité, saveur.
- **Paramètres physico-chimiques** : en relation avec la structure naturelle des eaux (température, pH, chlorures, sulfates).
- **Paramètres chimiques** : substances indésirables, toxiques.
- **Paramètres microbiologiques** : bactéries, parasites.
- **Paramètres micropolluants** : l'eau potable fait l'objet de contrôles sanitaires au point de captage, en production et en cours de distribution.

4 Eaux de sources

Les eaux de source sont des eaux qui, contrairement aux eaux minérales, doivent répondre à l'émergence, aux critères de potabilité et ne peuvent subir aucun traitement (DEGREMONT, 1989). Selon le décret exécutif N°04-195 du 15 juillet 2004 article 2, chapitre 1 de la législation algérienne, une eau de source est d'origine souterraine, apte à la consommation humaine, microbiologiquement saine et protégée contre les risque de pollution.

5 Différentes types de sources

Les principaux types de sources sont les suivants :

5.1 Sources d'affleurement

Les sources d'affleurement sont des sources, pour lesquelles l'approvisionnement se fait sur un fond imperméable dans une vallée (BOUZIANI, 2000).

5.2 Sources d'émergence

Bien que la couche perméable soit fissurée en direction du sol, on peut avoir un débit alimentant un trou d'eau, souvent envahi de végétation par une où plusieurs fractures ou l'on peut voir l'eau bouillonnée, généralement leur débit est faible (GOMELLA et GUERREE, 1980).

5.3 Sources de déversement

Les sources de déversement naissent sur les pentes ou des grandes hauteurs (au-dessus du fond de la vallée), généralement leur débit est faible (BOUZIANI, 2000).

6 Traitements des sources

Les eaux de sources sont naturellement propres à la consommation humaine. Les seuls traitements qui sont permis d'être appliqués, afin d'éliminer les éléments instables (Gaz, le fer et le manganèse) sont l'aération, la décantation et la filtration (LUNC et LAGRADETTE, 2004).

7 Législation de l'eau

Dans le cadre du développement durable, l'Algérie s'est intéressée, ces dernières années, aux problèmes des eaux et leurs contaminations. Pour une meilleure protection et une rassurante gestion des ressources hydrique, l'Algérie a établi des lois, des décrets, des ordonnances et des arrêtés, parmi ces textes on peut citer :

7.1 Textes législatifs

- ❖ Loi n°83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux.
- ❖ Ordonnance n°96-13 de 15 juin 1996 modifiant et complétant le n°83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux.
- ❖ Loi n°05-12 du 04 Août 2005 relative à l'eau (183 articles).

7.2 Textes réglementaires

- ❖ Décret exécutif n°96-472 du 18 décembre 1996 création du conseil national de l'eau (J.O n°83/96) ;
- ❖ Décret exécutif n°01-101 du 21 avril 2001 portant création de l'algérienne des eaux (J.O n°24/2001) ;
- ❖ Arrêté du 17 novembre 2001 portant approbation de l'organisme interne de l'établissement public « office national de l'assainissement » (J.O n°04/2002) ;
- ❖ Décret exécutif n°93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquide industriel (J.O.n°81/93) ;
- ❖ Décret de janvier 1994 portant définition des eaux thermales et réglementant leur protection, leur utilisation et leur exploitation (J.O n°7/94) ;
- ❖ Arrêté interministériel du 26 Mai 1996 portant création, organisation et fonctionnement du comité national de lutte contre les maladies à transmission hydrique (J.O n°81/96) ;

- ❖ Décret exécutif n°04/196 du 27Joumad El Oula 1425 correspondant au 15 juillet 2004 relatif l'exploitation et la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source.

8 Paramètres et qualités d'une eau potable

8.1 Paramètres organoleptiques

8.1.1 Couleur

Une eau potable ne doit pas présenter une couleur, cette dernière généralement est due à la présence de certaines substances provenant essentiellement de :

- La décomposition de la matière végétale et l'eutrophisation des algues, substances minérales (Le fer et le manganèse).
- Certaines matières organiques dissoutes (acide humique).
- L'industrie chimique.

La source de la couleur doit être éliminée afin de rendre l'eau agréable à boire (DEGREMONT ,1989).

8.1.2 Odeur

Toute eau destinée à la consommation doit être inodore. Par conséquent, toute présence d'odeur est un signe de pollution ou de présence de matière organique en décomposition (RODIER ,2009).

8.1.3 Goût et saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque la boisson est dans la bouche.

La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (RODIER, 2005).

8.2 Paramètres physico-chimiques

8.2.1 Température

La température est un facteur écologique important pour la vie aquatique. Elle est également importante pour certains usages industriels (refroidissement) et l'eau potable (VALIRON, 1989). Elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout les gaz, dans la dissociation des sels dissous, donc sur les conductivités électriques pour la détermination de pH. D'une façon générale, la température des eaux de sources est influencée par la

température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profonde (RODIER, 1996).

8.2.2 Potentiel d'Hydrogène

Le pH est le paramètre le plus important dans la qualité de l'eau, il représente l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Le pH d'une eau naturelle se varie entre 4 et 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Un pH inférieur à 7 peut conduire à la corrosion du ciment ou des métaux des canalisations, avec entrainement des éléments indésirables comme le plomb et le cuivre (RODIER, 2005). Un pH élevé conduit à des dépôts de tartre dans les circuits de distributions. Au-dessus de pH 8, il y a une diminution progressive de l'efficacité de la décontamination bactérienne par le chlore. Par ailleurs, la chloration diminue le pH (RODIER, 1996).

8.2.3 Conductivité

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique, elle dépend de la nature des ions dissoutes et leur concentration (REJESK, 2002). La mesure des conductivités électriques permet d'évaluer rapidement, mais approximativement la minéralisation globale de l'eau ainsi d'avoir une idée sur la teneur en sels dissous (RODIER ,1984).La conductivité s'effectue à l'aide d'un conductimètre.

Le tableau 1 représente l'indication et la relation existante entre la minéralisation et la conductivité d'une eau (RODIER, 1996) :

Tableau 1 : Relation existante entre la minéralisation et la conductivité de l'eau (RODIER ,1996).

Conductivité (µS/cm)	Minéralisation
Cond < 100	Minéralisation très faible
100 <cond< 200	Minéralisation faible
200 <cond< 333	Minéralisation moyenne
333 <cond< 666	Minéralisation accentuée
666 <cond< 1000	Minéralisation importante
Cond > 1000	Minéralisation forte

8.2.4 Turbidité

La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide dû à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes.

Pour la sécurité de consommateur, l'eau destinée à la consommation doit présenter une turbidité inférieure à 5NTU (unité de turbidité néphélométrique) (RODIER,1984 ; REJSEK,2002 et RODIER ,2009).

Les classes de turbidité usuelle sont représentées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Classes de turbidité de l'eau (RODIER et al., 2009).

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

8.2.5 Dureté total TH

La dureté est la teneur en calcium et magnésium. Les eaux provenant de terrains calcaires et surtout des terrains gypseux peuvent avoir des duretés très élevées susceptible d'atteindre 1g/l de CaCO_3 , par contre les eaux en provenance de terrains cristallins, métamorphiques ou schisteux auront des duretés très faibles (RODIER ,2009).

8.2.6 Résidus secs

Les résidus secs nous renseignent sur la teneur en substances dissoutes non volatiles, obtenues après évaporation de l'eau. Une eau, dont la teneur en résidus secs est extrêmement faible, peut être inacceptable à la consommation en raison de son goût.

Tableau 3 : Potabilité d'une eau en fonction des résidus secs (RODIER et al, 2009)

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

8.2.7 Paramètres de la minéralisation globale

La minéralisation globale est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux de surface. Elle est en fonctions de la géologie des terrains traversés (RODIER ,2005) La minéralisation globale correspond à la concentration de l'ensemble des sels minéraux dissous, la somme des cations et des anions (DEGRAMEN ,2005).

8.2.7.1 Cations

8.2.7.1.1 Calcium (Ca^+)

L'eau potable de bonne qualité renferme de 100 à140mg/l de calcium (RODIER, 2005). Cet élément provient principalement de la dissolution des calcaires et des marnes. Sa présence en grandes quantités peut-être aussi due à la dissolution du gypse. Le calcium ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux douces peuvent entrainer des problèmes de corrosion des canalisations (GOUJOUS, 1995).

8.2.7.1.2 Magnésium

Le magnésium est un élément indispensable à la vie, jouant un rôle important dans la respiration, son origine est naturelle (dissolution des roches magnésites, basaltes, argiles...) ou industrielle (Industrie de la potasse de cellulose, brasserie). La dureté totale et le magnésium en excès donnent une saveur amère à l'eau (KEMMER, 1984).

8.2.7.1.3 Sodium

Le sodium est un élément alcalin et constant de l'eau, son origine peut-être :

- ✓ Naturelle (mer, terrain salé, ...)
- ✓ Humaine (10 à 15g NaCl dans leur urines / jours)
- ✓ Industrielle (potasse, industrielle pétrolière).

Les eaux très riche en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées (RODIER, 2005).

8.2.7.1.4 Potassium

Les eaux naturelles contiennent pratiquement toujours de potassium qui provient de roches métamorphiques (gneiss et micaschistes), magmatiques et de certains rejets industriels. Le potassium, généralement est peu concentré dans les eaux naturelles. 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 10mg/l (CHERY, 2006).

8.2.7.2 Anions**8.2.7.2.1 Chlorures**

Les chlorures sont naturellement présents dans les eaux. Elles sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Elles peuvent aussi provenir de la pollution par les pesticides organochlorés et les détergents. Habituellement, la teneur en ions chlorures des eaux naturelles est inférieurs à 5mg/l, mais dans certaines régions, la traversée de marnes salifères peut conduire à des teneurs exceptionnelles jusqu'à 1000 mg/l (RODIER, 1996). Les directives de l'Union Européennes et de l'OMS précisent qu'au-delà d'une concentration de 200mg/l de chlorure, des risques peuvent s'apercevoir sur le plan sanitaire (BOUZIANI, 2000).

8.2.7.2.2 Sulfates

Ils proviennent des argiles, des marnes, des matières d'origines animales (matière fécales) et des détergents. On les trouve dans l'eau de consommation surtout sous forme de sulfates calciques, à des fortes concentrations, les sulfates peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux (en particulier chez l'enfant), et conférer à l'eau un goût désagréable (DEGREMENT, 1989) La valeur limite recommandée par l'OMS est de 25mg/l de sulfates, la valeur guide algérienne est de 200 mg/l (LADJEL et GUEDDACHI, 2008).

8.2.8 Paramètres indésirables

Les paramètres indésirables sont des substances qui peuvent créer soit un désagrément pour le consommateur :

- Goût et odeur (matière organique, phénols, fer) ;
- Couleur (fer, manganèse, cuivre, zinc....).

Soit causer des effets gênant pour la santé (nitrates, nitrites, fluor.....) (DEVILLERS et *al.* 2005).

8.2.8.1 Fer

Le fer se trouve d'une manière importante dans les eaux souterraines car c'est l'élément de la croûte terrestre. Il provient de multiples origines : fer sous formes de pyrites (FeS_2), est couramment associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes et argiles) et aux roches métamorphiques (CHERY, 2006). Dans l'eau potable la teneur maximale acceptable est de 0,3mg/l (RODIER, 2005).

8.2.8.2 Manganèse

La teneur en Mn^{2+} est limitée à 0,05mg/l (la teneur souhaitable est inférieurs ou égale à 0,01 mg/l) dans les eaux potable pour le goût qu'il peut donner, pour les tâches et les dépôts qu'il peut occasionner et aussi parce qu'il favorise la croissance de certains micro-organisme (DEGREMONT, 2005).

8.2.8.3 Aluminium

L'aluminium est très répondu sur terre. Les rejets industriels, l'érosion, le lessivage des minéraux et des sols sont à l'origine de l'aluminium dans les eaux (POTELON, 1998).

8.2.8.4 Cuivre

La teneur normale en cuivre ne doit pas dépasser 0.005 mg/l. La concentration en cuivre pour laquelle est détectée une mauvaise saveur est située entre 1 et 2mg/l, et la concentration supérieure à 5mg/l rend l'eau imbuvable (DEGREMONT ,1984).

8.2.8.5 Zinc

Le zinc présente une concentration dans les eaux souterraines inférieures à 0.01mg/l .Une teneur supérieure à 10 mg/l est possible dans l'eau stagnante provenant de l'installation domestique galvanisée neuves (SAMAKE, 2002).

8.2.9 Paramètres de toxicité

Selon DEGREMENT (2005), les éléments considérés comme toxique dans les eaux destinées à la consommation humaine sont :

8.2.9.1 Arsenic (As)

Les Arsenics sont naturellement présents dans certaines eaux. Ils présentent des risques toxiques pour l'homme et provoque le cancer cutané mais ceux-ci se varient en fonction de leur solubilité dans l'eau (POTELON ,1998).

8.2.9.2 Cadmium

Le cadmium est un élément toxique même à faible dose. Son principal danger réside dans son effet cumulatif (POTELON ,1998).

8.2.9.3 Plomb

Le plomb est un métal qui peut provenir du sol, des rejets industriels (peinture, gaz d'échappement des voitures). Il peut être aussi véhiculé par les eaux des ruissèlements et des lessivages des rues (TARDET et BEAUDRY, 1984).

Les eaux de surfaces peuvent atteindre des concentrations de l'ordre de 600 mg/l. Le plomb est facilement éliminé par certains traitements classiques (POTELON, 1998).

8.2.9.4 Sélénium

Le sélénium est très répondu dans la nature. Il est toxique pour l'Homme au niveau du foie, des ongles et des cheveux. Le sélénium est limité dans les eaux potables à une concentration de 10µg/l par l'OMS.

8.2.9.5 Fluor

La teneur en fluor dépend beaucoup de temps de contact de l'eau avec les minéraux fluore l'aquifère. Elle est plus élevée dans les nappes captives. Dans la nappe de la craie, les ions F⁻ sont fournis principalement par les minéraux phosphatés (apatites). Sa teneur ne doit pas excéder 1,5mg/l (BEAUCHAMP, 2006).

8.2.10 Paramètres de pollution**8.2.10.1 Définition de la pollution de l'eau**

Une eau est dite polluée lorsque sa composition ou son état est directement ou indirectement dégradé. L'eau souterraine, qui est jugée la plus potable, est la ressource la plus couramment utilisée dans les pays en développement. Cependant, cette eau est aussi très vulnérable à la pollution (KENNETH, 1976).

8.2.10.2 Différents types de pollution de l'eau

Selon le type de polluant, on distingue :

✓ Pollution physique

La pollution physique est essentiellement industrielle, secondairement domestique, on peut distinguer trois types de polluants ayant un caractère physique : les polluants mécaniques, polluants thermiques et les polluants atomiques (AROUYA, 2011).

✓ Pollution chimique

La pollution minérale des eaux résulte de la libération dans ces dernières des divers métaux toxiques et des substances inorganiques telles que les nitrates, les phosphates et autres sels minéraux nutritifs utilisés en agriculture comme fertilisants, enfin de divers résidus rejetés par les métallurgies et d'autres activités (RAMADE, 2005).

✓ Pollution organique

L'eau se charge en matières organiques fermentescibles constitués de glucides, lipides et protides issus d'effluents domestiques, agricoles ou des industries agro-alimentaires et constituent un milieu nutritif favorable au développement des micro-organismes, notamment pathogènes (RAMADE, 1992).

✓ Pollution microbiologique

La pollution microbiologique des eaux se traduit par une forme de contamination par de nombreux agents pathogènes, bactéries et virus. Elle soulève dans bien des cas de redoutables problèmes d'hygiène publiques qui ne sont pas limités aux seuls pays du tiers monde (RAMADE, 2005).

8.2.10.3 Mode de contamination des eaux**✓ Contamination des eaux de surface**

Les eaux de surface peuvent être contaminées par deux origines :

• Rejets directs

La contamination des eaux de surface est causée par les charges apportées par les activités artisanales et les établissements industriels, qui vont se diluer dans des cours d'eau.

La façon dont cette charge sera diluée et sa persistance dans la rivière vont définir le niveau d'exposition aux toxiques que subiront les organismes aquatiques (BOUCHSEICHE et *al.*, 2002).

• Pollution diffuse

A la différence des rejets directs, il est difficile de localiser précisément les sources produites toxiques (BEAUCHAMPS, 2006), car ces substances subissent des transformations entre la source et le milieu durant lequel les polluants sont potentiellement fixés ou dégradés (RAMADE, 1994).

✓ Contamination des eaux souterraines

La contamination des eaux souterraines par des composés toxiques organiques, même à faible concentration, peut compromettre l'exploitation de la ressource pour son exploitation en eau potable pour de très longues périodes (DEGREMENT, 1989).

La contamination peut également résulter de gisement naturel riche en fer, sulfures, manganèses et d'autres substances toxiques comme l'arsenic (VILAGINES, 2003).

Afin de déterminer une pollution, il y a plusieurs paramètres qui indiquent sa présence dans l'eau et de leurs quantités. Parmi ces paramètres, 6 sont plus utilisés.

- **Ammonium**

L'ammonium est la forme réduite et toxique de l'azote, il provient principalement de la décomposition des protéines naturelles contenues dans le phytoplancton et le micro-organisme. Il est peut être issu des rapports enfilant urbains épurés, des rejets industriels ou agricoles. Il se trouve dans des eaux naturelles à des concentrations qui se varient de 0.1 à plus 1mg/l.

- **Nitrite**

Les nitrites provient essentiellement de l'oxydation incomplètes de la matière organique .il est considérée comme un élément toxique. Son origine est liée à l'agriculture et aux rejets urbains et industriels (AOUISSI et HOUHAMDI ,2014).

- **Nitrate**

Les nitrates sont présents dans les eaux par lessivage des produits azotés dans le sol, par la décomposition de la matière organique ou les engrais de synthèses ou naturelles. Les nitrates proviennent aussi de l'oxydation de l'ammoniac.

Matières organiques et microorganismes → ammoniac → nitrites → nitrates.

(SAMAKE, 2002).

- **Phosphate**

Leur présence dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés, à la décomposition de la matière organique et aux rejets urbains. Des teneurs supérieures à 0,5mg/l doivent constituer un indice de pollution (RODIER, 1996).

L'eau riche en phosphate favorise le développement du phytoplancton (l'eutrophisation) entraînant des dépôts de matières organiques dans les réseaux de distribution et confère à l'eau une odeur et un goût désagréable (DEGREMONT, 2005).

- **Demande chimique en oxygène (DCO)**

La DCO est la consommation en dioxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales qui existent dans l'eau. La DCO est la méthode la plus utilisée pour évoluer la charge globale de la pollution organique d'une eau. La DCO étant en fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives et des possibilités d'oxydation (TARDAT-HENRY, 1992).

8.2.10.4 Demande biochimique en oxygène (DBO)

La demande biochimique en oxygène (DBO) représente la quantité d'oxygène utilisée par les bactéries pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement les matières biochimiques oxydables présentes dans l'eau. L'indicateur utilisé est généralement la DBO5 qui correspond à la quantité d'oxygène (exprimée en mg/l) nécessaire aux microorganismes décomposeurs pour dégrader et minéraliser en 5 jours la matière organique présente dans un litre d'eau polluée. Plus la DBO5 est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée (BERMOND et VUICHARD ,1973).

8.3 Paramètres bactériologiques

L'eau destinée à la consommation humaine contient une multitude de microorganismes pathogènes, agents d'infections humaines redoutables. Ce sont des bactéries, des virus, voire des champignons et des algues (HASLAY et LECELER ,1993).

8.3.1 Vibrions

Les vibrions font partie de la famille de vibrionaceae. Dans les pays où le cholera est pratiquement disparu, il est rare que la recherche des vibrions cholérétiques dans les eaux d'alimentation présente un intérêt. Leur recherche se fait uniquement en cas de présence d'un cas suspect (DELLARAS, 2003).

8.3.2 Salmonelles

Les salmonelles sont des entérobactéries lactose négatifs, bacilles à gram négatif, anaérobies facultatifs habituellement mobiles. Les salmonelles se cultivent bien dans les milieux nutritifs ordinaires et donnent des colonies de 2 à 3 mm de diamètre. Les salmonelles sont présentes dans les intestins de l'homme et des animaux et présentes de la variation importante de pathogénicité en fonction de la nature de l'hôte.

8.3.3 Germes totaux

Les germes totaux sont des germes qui se développent dans des conditions aérobies, leur présence est indicatrice de pollution bactérienne, leur dénombrement donne une information sur la qualité hygiénique de l'eau destinée à la consommation humaine (BOURGEOIS et al, 1991). Ainsi, ils renseignent sur le degré de protection des nappes souterraines d'où provient l'eau à l'analyse (RODIER, 2005).

8.3.4 Coliforme

Les coliformes regroupent un nombre d'espèces bactériennes appartiennent à la famille des enterobactériacea (RODIER et al., 2005).

Le terme coliforme correspond aux organismes en bâtonnets, non sporogène, Gram(-), oxydase négatif, aéroanaérobie facultatif, capable de fermenter le lactose avec production d'acide et gaz. Leur présence dans l'eau est un signe d'une contamination fécale. Certaines souches peuvent être pathogènes (FEERON, 1976).

8.3.5 *Escherichia-coli*

Escherichia-coli fait partie de la famille des enterobactériacea. On peut la retrouver au niveau des diverses muqueuses chez l'Homme. *E. Coli* n'existe pas normalement dans le sol et l'eau. Leur présence est considérée comme un signe de certaines pollutions fécales récentes d'où l'intervention immédiate est exigée.

1 Présentation des zones d'étude

1.1 Source Thianserine (Ouacif)

1.1.1 Situation géographique

La source de Thianserine (figure 1) est localisée dans la daïra de Ouacif, une circonscription administrative algérienne située dans la wilaya de Tizi-Ouzou (Région de Kabylie), au flanc de la montagne de Djurdjura à une altitude de 729m (figure 2). Sa superficie est de 71,18km² et sa population est estimée à 26741 habitants, la daïra de Ouacif est subdivisée en trois communs : Ait Toudert, Ait Boumehdi et Ouacif, elle est limitée à :

- L'est par la commune d'Iboudraren ;
- L'ouest par Ouadhias ;
- Nord par Béni yenni ;
- Sud par massif de Djurdjura.



Figure 1 : Photo de la source Thianserine.



Figure 2 : Carte géographique de la région d'Ouacif.

1.1.2 Situation climatique

Cette région est connue par son été chaud et son hiver pluvieux et humide ainsi qu'une fréquente neige à partir de 800 mètres d'altitude. Le climat de cette région est de type méditerranéen subhumide.

1.1.3 Couvert végétal

En amont de la source Thianserine, on distingue un couvert végétal de type forestier, constitué d'espèces appartenant au groupement de chêne vert (*Quercus ilex*) caractérisé par une formation en maquis, recouvrant presque totalement le sol, se sont pour la plupart des espèces pérennes sempervirents. Nous signalons qu'il y'a aucune habitation ou agglomération sur le versant en amont de la source qui pourrait la souiller (BESSALEM ,2017).

1.2 Source Ait Naïm (Azeffoune)

1.2.1 Situation géographique

La source de Ait Naïm (figure 3) est localisée dans la commune d'Azeffoune, une ville côtière algérienne de la wilaya de Tizi Ouzou, située à 70km au nord de Tizi Ouzou et à 95 km à l'ouest de Bejaïa à une altitude de 586m, sa superficie est de 126,66km² et sa densité est estimée à 133 hab. /km² (figure 4).



Figure 3 : photo de la source Ait Naïm.



Figure 4: Carte géographique de la région d'Azeffoune.

1.2.2 Situation climatique

Le climat d'Azeffoune est de type méditerranéen. Il est caractérisé par un hiver froid, humide, pluvieux et un été chaud et sec avec des températures qui dépassent parfois 40°C. La pluviométrie se rapproche des 800 mm par an.

1.2.3 Couvert végétal

La végétation est un facteur déterminant en hydrologie, elle influence le ruissellement superficiel et l'infiltration des eaux dans le sol. Au niveau de la source Ait Naïm on rencontre les essences suivantes : chêne liège (*Quercus suber*) ; Eucalyptus (*E.globulus*, *E.sideroxylon*, *E.gomphocephala*, *E.cladacalyx*, *E.botrioides*, *E.maideni*.); le maquis de gradé à base de *Calycotome Spinosa* et d'*Oleastre (Olea europea)* ainsi que les pins (*Pinus pinaster*, *P.pinea*, *P.canariensis*) (MEDDOUR ,2010).

1.3 Source Thala Bouada (Bouzeguène)

1.3.1 Situation géographique

La source de Tala Bouada (figure 5) est localisée dans la daïra de Bouzeguène, une circonscription administrative algérienne, située dans la wilaya de Tizi Ouzou (Kabylie) à une altitude de 690m (figure 6). Son chef lieu est situé dans la commune éponyme de Bouzeguène. Elle est limitée comme suit :

- Au nord par la commune de Yakourène ;
- à l'est par la wilaya de Bejaïa ;
- Au sud par la commune de Ain El- Hammam ;
- à l'Ouest par la commune d'Azazga.

La daïra est constituée de quatre communes : Bini ziki, Bouzeguène, Idjeur et Illoula Oumalou. La population totale de la daïra est de 50945 habitants pour une superficie de 209,97km².



Figure 5 : Photo de la source Thala Bouada.



Figure 6 : Carte géographique de la région de Bouzeguène.

1.3.2 Situation climatique

Le climat de la zone est de type méditerranéen. Il est caractérisé par un hiver froid et humide et un été chaud et sec. Les températures varient d'une saison à une autre ; elles sont généralement élevées de juin à septembre. Les précipitations sont importantes, elles atteignent environ plus de 800mm d'eau par an. Mais elles sont caractérisées par une très forte irrégularité intra-annuelle. Elles sont généralement abondantes en hiver et en automne

1.3.3 Couvert végétal

En amont de la commune de la source de Thala Bouada, nous distinguons un couvert végétal de type forestier, constitué d'espèces appartenant au groupement de chêne liège (*Q. suber*) ; chêne zêne (*Quercus faginea*) ; chêne afares (*Quercus afares*) (AIT ABDELAZIZ, 2016).

2 Echantillonnage

Les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques d'une eau (destinée à la consommation humaine), constituent une base essentielle pour juger de sa qualité. L'échantillonnage est primordial car il conditionne la pertinence de l'analyse qui doit être de qualité et également représentative de ce que l'on veut analyser.

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, car il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'analyse des échantillons a été effectuée au sein de laboratoire de l'algérienne des eaux au niveau de l'unité de Tizi-Ouzou, sa mission est d'autocontrôle, c'est-à-dire contrôle

les eaux distribuées sur le plan physico-chimique et bactériologique en se référant aux méthodes normalisées.

Nous avons effectué les prélèvements d'eau pour nos trois sources Thala Bouada (Bouzeguène) ; Thala Ait Naïm (Azeffoune) et Thianserine (Ouacif) en mois de juin 2021.

2.1 Echantillonnage pour l'analyse physico-chimique

Les échantillons sont recueillis dans des bouteilles en plastique (polyéthylène) de 1.5 litres, rincées préalablement avec de l'eau distillée au moment de prélèvement, les flacons seront de nouveau rincés trois fois avec l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord pour éviter la pénétration de l'air.

2.2 Echantillonnage pour l'analyse bactériologique

Les prélèvements sont effectués dans des conditions aseptiques. Les flacons utilisés sont en verre de 250ml, soumis en lavage et à une stérilisation préalable.

Les flacons sont remplis à 5/6 de leurs volumes pour maintenir en vie les bactéries aérobies. Pour chaque prélèvement, tous les flacons et toutes les bouteilles portent une étiquette ou sont mentionnées les indications suivantes :

- Le nom de la source ;
- La date et l'heure de prélèvement ;
- Température.

2.2.1 Conservation et transport des échantillons

Le transport des échantillons s'est fait dans des glacières à une température d'environ 4°C afin de maintenir la composition initiale de l'échantillon et empêcher la multiplication des germes. L'analyse bactériologique est réalisée dans un délai de 8 heures après le recueil de l'échantillon, car la variation de ce dernier est susceptible de modifier la population bactérienne.

2.2.2 Milieux de culture

Les milieux de culture qui sont servis pour l'isolement des germes sont :

- ✓ Gélose, Tryptophane, Glucose, extrait de levure(T.G.E.A) pour la numérotation des germes totaux ;
- ✓ Bouillon de lactose au pourpre de brome de Crésols (B.C.P.L) à simple et double concentration, pour les coliformes ;

- ✓ Milieu indole manitol (milieu de SEHUBERT) pour *Escherichia coli* ;
- ✓ Bouillon lactose à l'acide de sodium à simple et double concentration (milieu de Roth), pour les streptocoques fécaux ;
- ✓ Bouillon lactose à l'éthyle de violet et à l'acide de sodium (EVA), pour confirmer la présence de streptocoque Fécaux.

3 Matériels et méthodes

Le matériel et les méthodes utilisés pour doser les paramètres physico-chimiques sont représentés dans le tableau n°:4

Tableau 4:Matériels et méthodes utilisés pour les différents paramètres physico-chimiques.

Paramètres mesurés	Méthodes	Appareillage
Ph	Potentiométrique	pH mètre WTW pH 450GLP Multi cal.
Turbidité	/	Turbidimètre HACH 2100N
Conductivité	/	Conductimètre
Alcalinité	Volumétrique	/
Dureté	Titrimétrie	/
Calcium	Titrimétrie à l'EDTA	/
Magnésium	/	/
Chlorure	Mohr	/
Ammonium	Spectrophotométrie d'absorption	Spectrophotomètre (HACH)
Nitrates	Spectrophotométrie d'absorption	Spectrophotomètre (HACH)
Nitrite	Spectrophotométrie d'absorption	Spectrophotomètre (HACH)
Sulfates	Spectrophotométrie d'absorption	Spectrophotomètre (HACH)
Phosphates	Spectrophotométrie d'absorption	Spectrophotomètre (HACH)
Potassium	Spectrophotométrie d'émission à flamme	Spectrophotomètre d'émission a flamme (Sherwood flamme photomètre410)
Sodium	Spectrophotométrie d'émission à flamme	Spectrophotomètre d'émission a flamme (Sherwood flamme photomètre410)
Fer	Spectrophotométrie d'absorption	Spectrophotomètre (HACH)
Aluminium	Spectrophotométrie d'absorption	Spectrophotomètre (HACH)
Matières organique	Méthode a chaud en milieu Acide	/

4 Analyse physico-chimique

La caractérisation des eaux souterraines englobe l'analyse des paramètres fondamentaux (pH, température, conductivité), ainsi que les méthodes de dosages utilisés en analyse de l'eau

qui font presque toujours intervenir la réaction chimique, soit pour le dosage soit pour purifier l'échantillon.

4.1 Mesure de la température

La température de l'eau est mesurée sur site. Nous avons prélevé un volume de l'eau à analyser, ensuite nous avons immédiatement fait plonger le thermomètre (figure 7), enfin nous avons accédé à la lecture après une immersion de 10 minutes.



Figure 7: Thermomètre.

4.2 Mesure du potentiel d'hydrogène (pH)

La mesure du pH est effectuée par un pH mètre électronique (figure 8) relié avec une électrode en verre. Nous avons étalonné l'électrode dans une solution tampon de pH égale à 7 et à 4, ensuite nous avons introduit l'électrode dans l'eau à analyser. Enfin, nous avons effectué la lecture directement sur l'enregistreur électronique quand l'affichage est stabilisé.



Figure 8: pH-mètre.

4.3 Mesure de la turbidité

Nous avons réalisé cette opération par un turbidimètre appelé néphélogéométrie (figure 9), nous avons utilisé des cuves en verre bien nettoyées et bien séchées, nous les avons remplies avec de l'eau à analyser. Puis nous avons effectué la lecture après stabilisation de l'appareil. Les résultats sont exprimés en unité de turbidité néphélogéométrique (NTU).



Figure 9: Turbidimètre HACH 2100N.

4.4 Mesure de la conductivité

Nous avons étalonné l'appareil (figure 10) avec un seul étalonnage de 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, puis nous avons rincé plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec l'eau distillée puis la plongée dans l'eau à analyser. Ensuite, nous avons agité cette eau afin que la concentration ionique des deux électrodes sera la même avec celle du liquide ambiant. Enfin, nous avons effectué la lecture rapidement.



Figure10:conductimètre.

4.5 Analyse de la minéralisation globale

4.5.1 Dosage de l'alcalinité

L'alcalinité consiste à Déterminer des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser deux niveau de pH 8.3 et 4.3 de volume d'eau à analyser en présence d'indicateur coloré. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA) et la seconde sert à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

➤ Dosage du titre alcalimétrique

✓ Principe

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un volume d'eau par un acide chlorhydrique (HCl) dilué en présence de la phénophtaléine. Le but est de mesurer la teneur en hydroxyde libre et en carbonate « $1/2\text{CO}_3^{2-}$ ».

✓ Mode opératoire

Dans un erlenmayer de 250ml, nous avons prélevé 100ml d'eau à analyser, puis nous avons rajouté 2 gouttes de solution phénophtaléine, nous avons obtenu une couleur rose donc la réaction est positive (Dans le cas contraire le TA est nul) $\text{TA}=[\text{OH}^-]*[\text{CO}_3^{2-}]$

➤ Dosage du titre alcalimétrique complet

✓ Principe

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par acide (HCl), dilué en présence de méthyle orange. Le but est de déterminer la teneur en hydrogénocarbonates (HCO_3^-) dans l'eau.

✓ Mode opératoire

Nous avons utilisé l'échantillon titré précédemment, s'il n'y a pas eu de coloration. Puis nous avons ajouté 2 gouttes de solution de méthyl orange, ensuite nous avons titré à nouveau avec le même acide (HCl) jusqu'au virage du jaune au jaune orangé à pH=4.3, enfin nous avons noté le volume de HCl nécessaire pour ce titrage.

4.5.2 Dosage de la dureté totale (titre hydrométrique TH)**✓ Principe**

La dureté totale détermine la concentration en calcium et du magnésium dissous. Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amènes à former un complexe de type chélate par le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra-acétique (EDTA). L'indicateur utilisé est le noir ériochrom qui donne une couleur rose en présence des ions calcium et magnésium.

✓ Mode opératoire

Dans un erlenmayer de 250ml, nous avons pris 10 ml d'eau à analyser, puis nous avons rajouté 0.5ml de la solution tampon (pH=10) après l'avoir chauffée au bain marie à une température d'environ 60°C, ensuite nous avons rajouté 3 gouttes d'indicateur coloré (noir Eriochrome T), enfin nous avons effectué un titrage avec l'EDTA en continuant à agiter constamment jusqu'au virage violet au bleu. à la fin, nous avons noté le volume de l'EDTA nécessaire pour le titrage.

4.5.3 Dosage des ions calcium**✓ Principe**

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

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

✓ Mode opératoires

Nous avons Prélevés une prise d'essai de 50ml de l'échantillon, ensuite nous avons rajouté 2 ml de la solution d'hydroxyde 2 N et une pincée d'indicateur HSN (Murexide), et bien mélanger le tout. Enfin, nous avons effectué un Titrage avec la solution d'EDTA, en versant lentement et nous agitions la solution.

Le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement violette .La couleur ne doit pas changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution.

4.5.4 Dosage des ions de magnésium

✓ Principe

Connaissant la dureté totale d'une part et la dureté calcique d'autre part, il est facile par différence de calculer la dureté magnésienne qui est donnée par la formule suivante :

$$C_{Mg} \text{ (mg/l)} = C_{(Ca+Mg)} - C_{Ca}$$

C_{Mg} (wig/l) : teneur en magnésium (mg/l) ;

$C_{(ca+Mg)}$: teneur globale en calcium et en magnésium ;

C_{ca} : teneur en calcium.

4.5.5 Dosage des chlorures

✓ Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium, la fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

✓ Mode opératoire

Nous avons introduit dans un erlenmayer de 250ml, 10ml de l'eau à analyser, puis nous avons ajouté 3 gouttes de chromate de potassium à 10 %, ensuite nous avons effectué un titrage avec le nitrate d'argent ($AgNO_3$) jusqu'au virage au rouge brique. Enfin, nous avons noté le volume des nitrates d'argent utilisé.

4.5.6 Dosage du sodium et potassium

4.5.6.1 Dosage de sodium

Nous avons dissocié 2.54g de NaCl dans l'eau distillées et compléter à un litre .cette solution a une concentration de 1000mg/l de sodium que nous avons conservé par dilution, ensuite nous avons préparé une solution de 10mg/l, que nous avons fait passer au photomètre à flamme trois fois, ça doit afficher « 10 », à la fin nous avons fait passer notre échantillon dans le spectrophotomètre à flamme (figure 11). Dans le cas ou la concentration en sodium dépasse 10g/ml, Nous procédons à la dilution de l'échantillon.

4.5.6.2 Dosage de potassium

Nous avons effectué une dissociation du 1.907 g de KCl dans un litre d'eau distillée. Cette solution a ainsi une concentration égale à 1000mg/l de potassium. Puis, nous avons préparé une solution de 10ml/l, ensuite nous avons passé au photomètre à flamme cette solution de 10mg/l trois fois, et ça doit être affichée « 10 », enfin nous avons passés notre l'échantillon au spectrophotomètre à flamme (figure 11). Si la concentration en potassium dépasse 10mg/l alors nous procédons à la dilution de l'échantillon.



Figure 11 : spectrophotomètre à flamme.

4.5.7 Dosage des ions Sulfates

✓ Principes

Les ions sulfates de l'échantillon réagissent avec le baryum du sulfate pour former un précipité de sulfate de baryum.

✓ Mode opératoire

Nous avons prélevé une prise d'essai de 100 ml de l'eau à analyser, puis nous avons ajouté 5ml de la solution stabilisante ainsi que 2 ml de chlorure de baryum. Ensuite, nous avons agité pendant 1min, puis nous avons passé la solution au spectrophotomètre d'absorption (Figure 12) à une longueur d'onde $\lambda=420\text{nm}$.



Figure 12: Spectrophotomètre HACH.

4.6 Méthodes d'analyse des paramètres de pollution

4.6.1 Dosage d'ammonium $[\text{NH}_4^+]$

✓ Principe

La mesure spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium.

✓ Mode opératoire

Nous avons pris 40ml de l'échantillon d'eau, ensuite nous avons ajouté 4ml du réactif coloré puis nous avons bien mélangé le tout. Nous avons obtenu une coloration jaune. Ensuite, nous avons ajouté 4 ml de la solution de dichloroisocyanurate de sodium, et après avoir homogénéisé la solution, nous avons ajouté 2ml d'eau distillée. Après une heure de réaction, nous avons obtenu une coloration verdâtre. Enfin, nous avons effectué les mesures spectrophotométrique (figure 12) à une longueur d'onde $\lambda=6.55\text{nm}$.

4.6.2 Dosage des nitrates**✓ Principe**

Le nitrate présent dans l'échantillon réagit avec l'acide chromo tropique en condition fortement acide pour former un produit jaune.

Le dosage se base sur la réaction des nitrates avec le diméthyl-2,6 phénol en présence des acides sulfuriques et phosphoriques, avec production nitro-4dimethyl-2,6 phénol.

✓ Mode opératoire

Nous avons introduit 35ml du mélange acide dans une fiole, puis nous avons ajout 5ml de l'échantillon d'eau et 5ml de diméthyl-2,6phénol .Nous avons mélangé soigneusement le contenu et nous avons laissé se reposer pendant 10min. Nous avons obtenu une coloration jaune qui indique la présence des NO_3^- , la concentration en nitrate est la valeur donnée par le spectrophotomètre annoncé au début à une longueur d'onde $\lambda=324$, après que nous avons passé la solution.

4.6.3 Dosage de phosphate**✓ Principe**

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

✓ Mode opératoire

Nous avons prélevé 40ml d'échantillon d'eau, ensuite nous avons ajouté 1ml d'acide ascorbique et 2ml de réactif mélange dans une fiole, nous avons incubé pendant 10min et juste après, nous avons obtenu une coloration bleue qui indique la présence du phosphate. Enfin, nous avons mesuré l'absorbance à une longueur d'onde $\lambda=880\text{nm}$.

4.7 Méthode d'analyse des éléments indésirables

4.7.1 Dosage de fer

✓ Principe

Le fer réagit avec la phénantroline-1.10 (indicateur) du réactif pour développer une coloration orange proportionnelle à la concentration de fer.

✓ Mode opératoire

Nous avons prélevé comme prise d'essai 50ml de l'échantillon d'eau dans une fiole de 100ml, puis nous avons ajouté 1ml de la solution chlorhydrate hydroxylamine et nous avons mélangé soigneusement.

Nous avons ajouté ensuite 2.0ml de tampon acétate pour obtenir un pH entre 3.5 et 5.5 (de préférence 4.5). Puis nous avons ajouté 2.0ml de la solution phénantroline et conservé pendant 15min à l'obscurité. Enfin, nous avons effectué la mesure de l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre UV visible à 510nm (figure12).

4.7.2 Dosage de la matière organique

✓ Principe

Le principe consiste au :

- Chauffage de 100ml d'échantillon d'eau en présence de 20ml de permanganate de potassium et de 20ml d'acide sulfurique pendant 10min.
- Réduction d'une partie de permanganate par la matière oxydable présente dans l'échantillon.
- Détermination de l'excès de permanganate par addition de 20ml de la solution d'oxalate de sodium ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$), suivi par un titrage de l'oxalate en excès par le permanganate de potassium.

✓ Mode opératoire

Nous avons prélevé une prise d'essai de 100ml d'échantillon d'eau dans un ballon de 250ml, puis nous avons ajouté 20ml d'acide sulfurique (2mol/l) ensuite nous avons bien mélangé en agitant doucement. Nous avons placé le béccher sur une plaque chauffante pour l'ébullition, ensuite nous avons ajouté 20ml de la solution étalon (2mmol/l) de permanganate de potassium et nous avons laissé la solution bouillir pendant 10min, après 10min nous avons rajouté avec une pipette 20ml de la solution étalon d'oxalate de sodium (5mmol/l) afin que la solution se décolore, ensuite nous avons retiré le ballon de la plaque et le posé sur l'agitateur

après avoir, au préalable placé une feuille blanche sur ce dernier. Puis nous avons effectué un titrage pendant que la solution est encore chaude, avec la solution titrante de permanganate de potassium (2mmol /l) jusqu'à ce que nous avons obtenus une coloration rose pâle persistante environ 30s. Enfin, nous avons noté le volume V_1 de permanganate consommé (figure13).

Effectuer parallèlement à la détermination, un essai à blanc en utilisant le même mode opératoire mais en remplaçant l'échantillon (eau de la source) par 100ml d'eau distillée et noté V_0 le volume de la solution de permanganate consommé.

Au blanc titré, nous avons ajouté 5 ml de la solution d'oxalate de sodium (5 mmol/l). Nous avons réchauffé la solution une à deux minutes et titré avec le permanganate (2 mmol/l) jusqu'à l'apparition d'une coloration rose persistante 30 s. nous avons noté le volume V_2 de solution de permanganate consommé.



Figure 13: Détermination d'oxydabilité au permanganate de potassium.

✓ Calcul

Indice de permanganate, **IMn**, exprimé en milligramme d'oxygène par litre, est calculé selon

la formule : $IMn = \frac{V_1 - V_0}{V_2} * f$

V_0 : Volume, en millilitres, solution de permanganate consommé dans le dosage a blanc ;

V_1 : Volume, en millilitre, solution de permanganate consommé dans un dosage da la prise d'essai ;

V_2 : Volume, en millilitre, de la solution de permanganate consommé lors de la vérification de la solution titrante,

F : Facteur correctif, compte tenu des unités, pour exprimer les résultats en milligramme d'oxygène par litre.

5 Méthode d'analyse bactériologique

Les analyses bactériologiques effectuées comportent la recherche des germes suivants :

- Les germes totaux ;
- Les coliformes totaux et fécaux ;
- Les streptocoques fécaux.

5.1 Recherche et dénombrement des germes totaux

Cette méthode consiste en la recherche et dénombrement du micro-organisme viable par comptage des colonies après incubation à 22°C.

Les milieux les plus utilisés pour le dénombrement sont les milieux PCA (plate count Agar) ou TGEA (Tryptone Glucose Extrait de Viande Agar), ce sont des milieux ordinaires.

✓ Mode opératoire

○ Le principe des dilutions

- Nous avons agité vigoureusement le flacon contenant la solution mère puis nous avons prélevé une prise d'essai de 1ml d'échantillon à l'aide d'une pipette graduée, dans la zone d'asepsie ;
- Nous avons ensuite pris des tubes contenant 9ml d'eau physiologique stérile, puis nous avons introduit le volume prélevé dans les tubes, après avoir flambé l'ouverture sur la paroi sans toucher le liquide (dilution au 1/10);
- Nous avons agité le tube, puis nous avons prélevé 1ml et le versant dans un autre tube contenant 9ml de l'eau physiologique stérile. L'opération est renouvelée en changeant de pipette et en versant de nouveau 1ml dans un nouveau tube contenant 9ml d'eau physiologique stérile et ainsi de suite, jusqu'à ce que la concentration en bactéries devienne relativement faible. Enfin, nous avons procédé à Homogénéisation des tubes entre chaque dilution.

✓ Mise en culture

En zone stérile, nous avonsensemencé en masse deux séries de boîtes de pétri en versant 1ml d'inoculum et de la ses dilution décimales successives ; nous avons coulé la gélose TGEA maintenu en surfusion mais légèrement refroidie ; nous avons homogénéisé avec un mouvement circulaire. Puis nous avons laissé refroidir la gélose sans bouger en zone stérile ; nous avons incubé une série de la boîte de pétri durant 24 heures à 37°C (recherche des germes pathogènes) et l'autre série durant 72 heures à 22°C (recherche des germe saprophytes).

Nous avons Compté les colonies en marquant chaque colonie sur le fond de la boîte avec un marqueur indélébile. Nous considérons que les colonies sont dénombrables si leur nombre est compris entre 30 et 300. Les résultats sont exprimés en nombre des USF (unité formant colonie) par 1ml.

5.2 Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux

La recherche de la présence de bactéries fécales permet d'évaluer la qualité sanitaire globale. Les coliformes fécaux ou thermotolérant constituant un bon indicateur de contamination des eaux par les matières fécales .Cette recherche se pratiquent en deux méthodes.

5.2.1 Méthode de dénombrement en milieu liquide par détermination du nombre le plus probable(NPP)

La recherche et le dénombrement des coliformes, coliforme thermotolérants et des *Escherichia coli* dans les eaux, en milieu liquide par la technique de NPP, se fait en deux étapes consécutives :

5.2.1.1 Teste présomptif

Un dénombrement présomptif des coliforme totaux est réalisé sur bouillon lactose ou pourpre de bromocrésol(BCPL) .Cette méthode est sensible mais peu spécifique.

✓ Mode opératoire

Nous avonsensemencé une série de 09 tubes contenant de milieu de BCLP (avec cloche du Durham), dont 3 tubes de 10ml diluée de l'eau a analyser, 3 tubes de 10ml diluée avec 1ml de l'eau a analyser et 3 tubes du 10ml diluée avec 0.1ml d'eau. Ensuite, nous avons chassé l'air éventuellement présent dans les cloches du Durham et nous avons bien mélangé le milieu et l'inoculum, puis incubé à 37°C pendant 48h (Figure 14).

✓ Lecture

Nous avons effectué la lecture après incubation, les tubes considérés comme positifs présents :

- Un trouble dans toute la masse liquide, avec un virage d'un violet au jaune ;
- Evaluation du nombre de coliforme
- Un dégagement de gaz.



Figure 14: Dénombrement des coliformes totaux par Npp.

5.2.1.2 Test confirmatif

Le test de confirmation est basé sur la recherche des coliformes thermotolérants parmi lesquels *E. coli*. La mise en évidence et le dénombrement d'*E. Coli* sont effectués à partir des tubes positifs (BCPL) par le test de Mackenzie.

✓ Mode opératoire pour les coliformes thermo tolérante

Nous avons pris Les tubes de BCPL trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes totaux, puis nous avons repiqué dans les tubes du B.L.V.B muni d'une cloche du Durham, ensuite nous avons bien mélangé le milieu et enfin, nous avons incubé à 37 °C pendant 24h.

✓ Lecture

Après incubation, nous avons obtenu :

- Un trouble microbien, avec virage du violet au jaune ;
- Un dégagement gazeux dans la cloche.

✓ **Mode opératoire pour les *Escherichia coli***

Nous avons sélectionné les tubes de BCPL ; que nous avons trouvés positifs lors de dénombrement des coliformes totaux, ensuite nous avons repiqué dans les tubes contenant du Tryptophane, puis nous avons incubé à 44°C pendant 24h.

✓ **Lecture**

Après incubation, nous avons effectués une lecture, puis nous avons obtenu : Un anneau rouge en surface ; témoin de la production d'indole par *Escherichia coli* après que nous avons ajouté 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs.

5.2.2 Méthode par filtration sur membrane

Cette méthode consiste en la recherche et le dénombrement des coliformes et les *Escherichia coli* éventuellement présents dans l'échantillon d'eau à analyser, par compactage des colonies obtenues en milieu solide après 24h à 48h d'incubation à 37°C puis à 44°C.

Nous avons stérilisé l'entonnoir ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen, puis nous avons refroidi immédiatement avec l'eau à analyser. à l'aide d'une pince stérile, nous avons mis en place de façon aseptique une membrane de porosité de 0.45 µm entre la membrane poreuse et l'entonnoir, puis nous avons fixé ce dispositif avec la pince correspondante, ensuite nous avons déposé aseptiquement 100ml d'eau à analyser, nous avons actionné ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane ,enfin nous avons relié l'entonnoir, puis nous avons transféré immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince à bout arrondi stérile, sur la surface d'une plaque de gélose rapide coli (RC) préalablement préparé .Cette dernière sera incubée à 37°C pendant 24h voire 48h.

Après incubation, les colonies ayant une réaction négative à l'oxydase sont des coliformes qui portent une coloration rouge et celles ayant une réaction négative à l'oxydase, mais positive à l'indole, sont des E. Coli, elles portent ainsi une coloration bleu.

5.3 Recherche et dénombrement des entérocoques

Les principes généraux de la méthode sont ceux décrit précédemment pour la colimètre en milieu liquide. Cette recherche se pratique en deux étapes : test présomptif sur bouillon de Roth, test confirmatif sur bouillon de Litsky en cas d'obtention d'un résultat positif dans le premier test.

5.3.1 Test présomptif

Le test présomptif est réalisé à l'aide de milieu Roth. La forte intuitivité du milieu est due à la présence d'une forte proportion de polypeptone ainsi que le glucose. L'acide de sodium inhibe la croissance des micro-organismes à Gram négatif par action bactériostatique et favorise la culture des streptocoques fécaux.

✓ Mode opératoire

Nous avonsensemencé une série de 9 tubes contenant de milieu de Roth, puis nous avons dilué 3 tubes de 10ml avec 10ml de l'eau à analyser, puis nous avons pris 3 d'autres tubes et nous les avons dilués avec 1 ml d'eau. Ensuite, nous avons dilué les trois derniers tubes avec 0.1ml de l'eau à analyser. Puis, nous avons bien homogénéisé tous les tubes et enfin, nous les avons incubés à 37°C pendant 48h.

✓ Lecture

Après incubation, nous avons obtenus :

Les tubes qui présentes un trouble microbien pendant cette période sont présumés contenir un streptocoque fécal et sont soumis au test confirmatif.

5.3.2 Test confirmatif

✓ Mode opératoire

Après avoir agité les tubes, nous avons prélevé de chacun d'eux successivement quelques gouttes avec une pipette pasteur pour les reporter dans des tubes de milieu Litsky à l'éthyle violet d'acide de sodium, ensuite nous avons incubé les tubes à 37°C pendant 24h.

✓ Lecture

L'apparition d'un trouble avec une pastille violette au fond du tube traduit la présence des streptocoques fécaux.

1 Paramètres organoleptiques

1.1 Couleur

Les eaux des trois sources étaient incolores en été 2019 ; 2020 et 2021, ceci est dû à l'absence des substances dissoute dans l'eau telles que les ions métalliques, fer ferreux (Fe^{2+}) et le fer ferrique (Fe^{3+}).

1.2 Odeur

Les eaux des trois sources étaient inodores pendant la période étudiée ceci est lié principalement à la présence probable des produits chimique, de la matière organique en décomposition et de protozoaire.

2 Paramètres physico-chimiques

2.1 PH

D'après la figure 15, les eaux des trois sources présentent un pH presque neutre en l'été 2019 ; été 2020 et l'été 2021. Les valeurs du pH enregistrées au niveau des trois sources se situent entre [6.97-8.04]. L'histogramme montre que la valeur du pH à Thala Bouada en été 2021 (8.04) est légèrement neutre et alcalin par rapport aux autres sources.

Cette légère augmentation de pH au niveau de la source Thala Bouada en été 2021, peut être s'expliquée par une augmentation de la température ainsi que la nature calcaire de la région. Cette augmentation en pH peut entrainer des problèmes organoleptiques. D'après la norme algérienne qui fixe les valeurs de pH entre [6.5-9], les valeurs que nous avons enregistrées sont conformes à cette norme.

Nos résultats concordent avec les travaux de BESSALEM et HASSANI (2017) sur l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques sur deux périodes d'échantillonnages de deux sources d'eau (Thabout et Thala Ainsar) au niveau des deux communes « Ouacif et Ouadhias » (résultats varient entre 7.44-8.1), ainsi que le travail de AMICHI et AMIRI (2020) sur l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de source Thabout « Ouadhias, Wilaya de Tizi-Ouzou »[résultats varient entre (7.2-8.0)]. Ces valeurs montrent que les eaux de ces sources sont presque neutres et sont similaires avec celles trouvées dans notre travail.

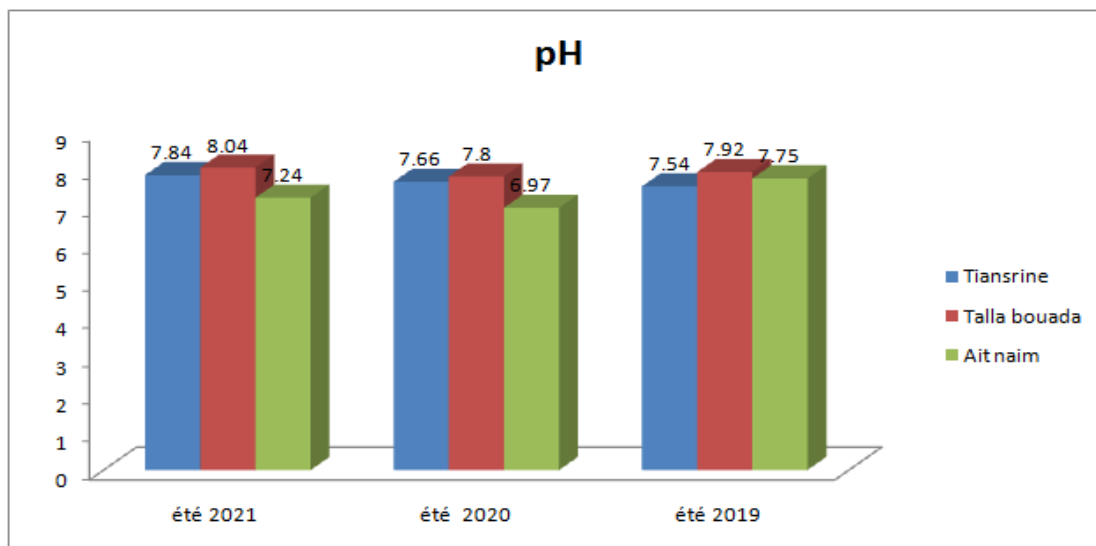


Figure 15: Variation du pH dans les trois sources étudiées durant les trois années (été 2019, 2020 et 2021).

2.2 Conductivité

Les valeurs enregistrées (figure 16) indiquent que la conductivité au niveau de Thala Ait Naïm est relativement élevée, elle est comprise entre [941-990 $\mu\text{s}/\text{cm}$] par rapport à la conductivité enregistrée à Thala Bouada et Thianserine qui est comprise entre [237-263 $\mu\text{s}/\text{cm}$] en été 2019, 2020 et 2021.

Les teneurs en conductivité révélées au niveau de Thala Ait Naïm sont probablement dues à la température élevée, qui favorise la des sels et gaz, cela permet de déduire que l'eau de cette source est beaucoup plus minéralisée. Les teneurs de la conductivité révélée à Thala Bouada et Thianserine nous permettent de déduire que ces eaux sont moyennement minéralisées.

Toutefois, les valeurs enregistrées se situent dans les normes algériennes recommandées des eaux de consommation, fixées à 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et à celle de l'O.M.S à 2100 $\mu\text{s}/\text{cm}$

Nos résultats concordent avec ceux de HOUMEL (2017) sur l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques sur deux périodes d'échantillonnages de deux sources d'eau (Thala Toulmouts, Thala Oumazar) au niveau de deux communes « Tizi-Ouzou, Ait Toudert » Willaya de Tizi-Ouzou [Résultats varient entre (413-817 $\mu\text{s}/\text{cm}$)].

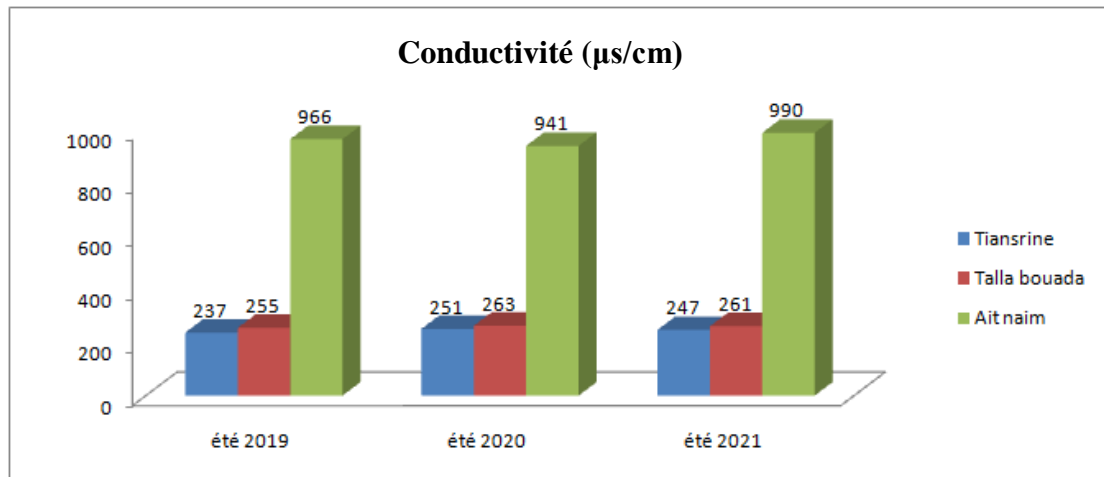


Figure 16: Variation de la conductivité dans les trois sources durant les trois années (été 2019, 2020 et 2021).

2.3 Température

La figure 17 montre que les valeurs de la température varient durant la période d'étude (été 2021) et les deux années précédentes (été 2019 et 2020) dans un intervalle compris entre [23 et 26.40°C] pour l'eau de la source Thala Ait Naïm. La température varie entre [19.10 et 23.50°C] pour l'eau de Thala Bouada et concernant celle de l'eau de Thianserine, elle est comprise entre [18.50 et 19.10°C].

D'après nos résultats (été 2021) et les résultats de l'été 2019, été 2020, nous remarquons une élévation de températures pour les eaux des trois sources. Nous constatons par cela que la nature de ces eaux est de type mésothermal, et nous constatons aussi, que la température d'une eau suit la température de l'air qui dépend du climat de la région. Les valeurs enregistrées sont conformes à la norme fixée par l'O.M.S (1986) (25°C) et à la norme algérienne (30°C).

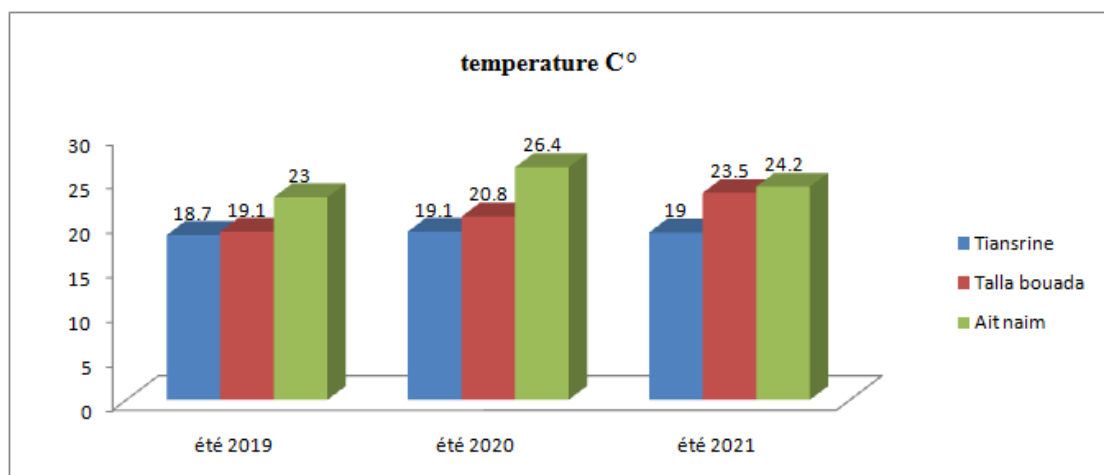


Figure 17: Variation de la température dans les trois sources étudiées durant trois années (été 2019, 2020 et 2021).

2.4 Résidus secs

D'après l'histogramme (figure 18), nous remarquons que les valeurs des résidus secs au niveau de Thala Ait Naïm sont comprises entre [529 et 579mg/l] durant la période d'étude (été 2021) ainsi que les deux années précédentes (été 2019 et 2020), ces valeurs sont élevées par rapport aux valeurs enregistrées au niveau de Thala Bouada et Thianserine qui sont dans un intervalle de [122 et 165mg/l] durant les trois années (été 2019, 2020 et 2021).

Les teneurs en résidus secs enregistrées au niveau de Thala Ait Naïm dépassent légèrement la norme recommandée par l'algérienne des eaux (500 mg). Selon RODIER et *al.*, (2009), cela est dû probablement aux minéraux apportés par l'eau qui traverse les terrains fortement minéralisés. Selon nos résultats, les eaux du Thala Bouada ainsi que Thianserine sont des eaux qualifiées comme eaux potables, à-propos de l'eau de Thala Ait Naïm c'est une eau de qualité passable parce que la teneur des résidus secs dépasse un peu la norme fixée par l'Algérienne des eaux.

Les travaux réalisés sur la même problématique par HOUMEL (2017) [résultats varient entre (273.14 et 534.14 mg/l)], ainsi que les travaux de BESSALEM et HASSANI (2017) [résultats varient entre (146.97 et 216.17mg/l)], sont similaires aux résultats trouvés dans notre étude.

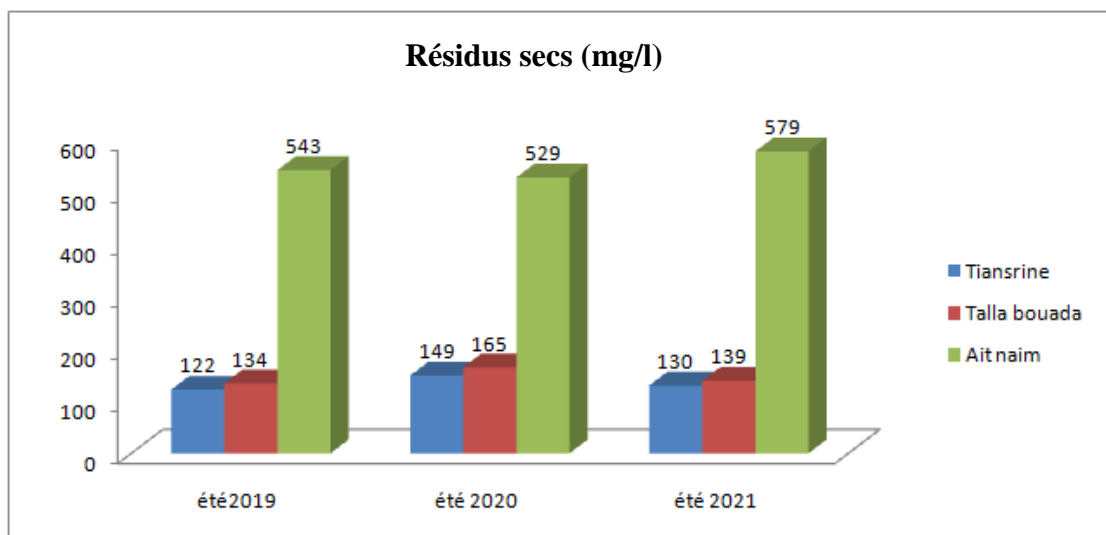


Figure 18 : Variation des résidus secs des trois sources étudiées durant les trois années (été 2019, 2020 et 2021).

2.5 Paramètres de la minéralisation globale

2.5.1 Titre alcalimétrique complet (TAC)

Les valeurs indiquées dans la figure 19 montrent que, les teneurs de TAC sont relativement élevées au niveau de la source de Thala Ait Naïm qui sont comprises entre [286 et 312mg/l CaCO₃], par apport aux deux autres sources Thala Bouada et Thianserine [100 et 118mg/l CaCO₃] durant la période d'étude (été 2021) et les années précédentes (été 2019 et 2020).

Ces valeurs ne dépassent pas les valeurs maximales fixées à 500 mg/l CaCO₃. Cette légère augmentation en concentration du TAC dans l'eau de Thala Ait Naïm peut s'expliquer par l'augmentation de la concentration des ions de calcium et magnésium.

A la lumière des résultats de TAC obtenus de AMICHI et AMIRI (2020) [résultats varient entre (170-200 mg/l CaCO₃)], qui montrent que les valeurs de TAC trouvés répondent aux normes algériennes des eaux, ce qui a été le cas dans notre travail.

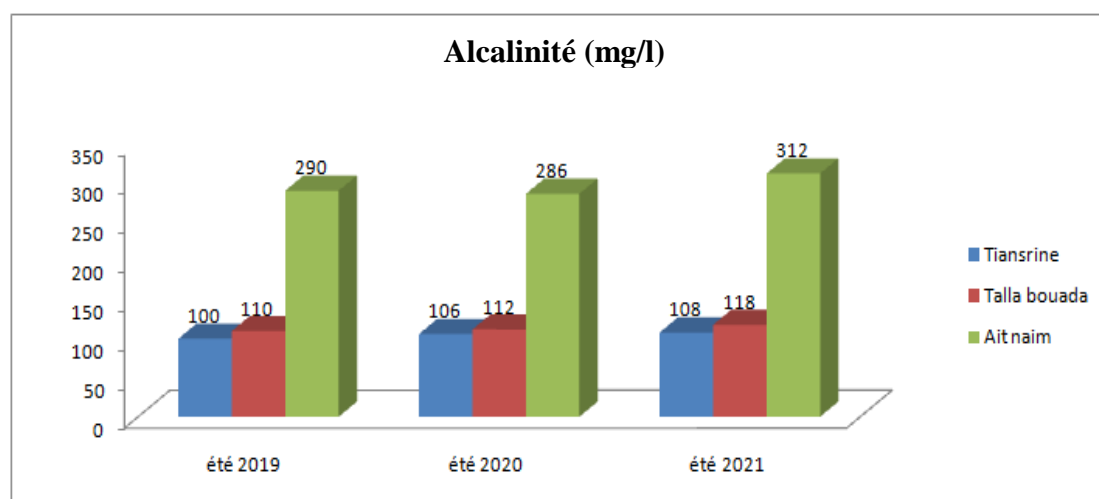


Figure 19 : Variation de titre alcalimétrique dans les trois sources durant les trois années (été 2019, 2020 et 2021).

2.5.2 Dureté totale

D'après la figure 20, nous remarquons que la dureté totale varie de 350mg/l CaCO₃ à 392mg/l CaCO₃ pour l'eau de Thala Ait Naïm, et que la dureté totale pour les sources Thala Bouada et Thianserine est comprise entre [120-134mg/l CaCO₃] pour l'année d'étude (été 2021) ainsi que les deux années précédentes (été 2019 et 2020).

Cette légère augmentation de la teneur de TH au niveau de Thala Ait Naïm, peut être expliquée par la nature des terrains traversés, et la teneur de calcium et magnésium.

D'après les résultats obtenus, nous constatons que les eaux des trois sources répondent à la norme indiquée par la réglementation algérienne et celle de l'O.M.S (< à 20°F), et selon la classification de RODIER et al., (2009), nous constatons que l'eau de Thala Ait Naïm est une eau dure, et les eaux de Thala Bouada et Thianserine sont moyennement douce.

Nos résultats concordent avec les travaux de HOUMEL (2017) [résultats varient entre (246-384mg/lCaCO₃)], ainsi que les travaux d'AMICHI et AMIRI (2020) (résultats varient entre 174-210 mg/l CaCO₃).

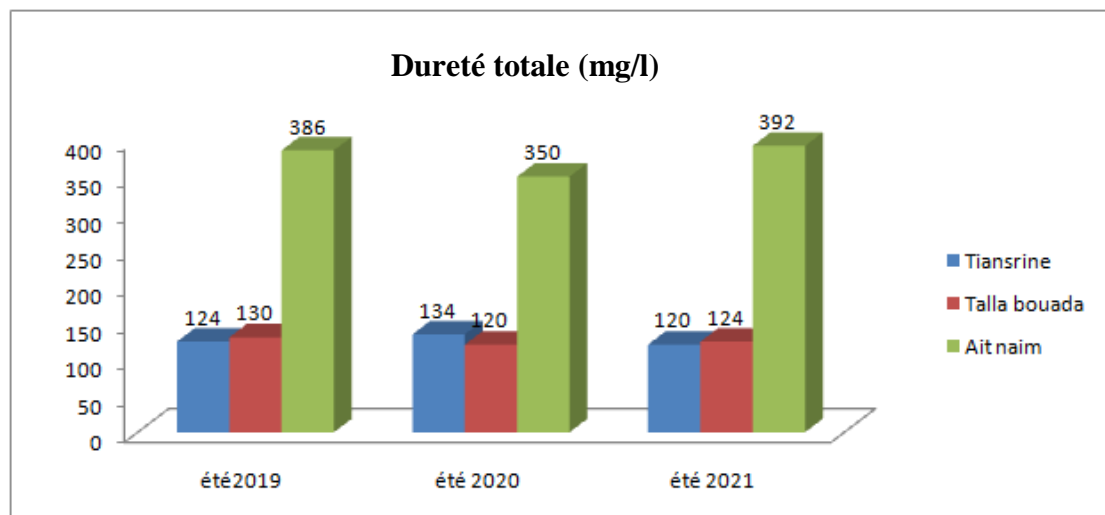


Figure 20: Variation de la dureté totale dans les trois sources étudiées durant les trois années (été 2019, 2020 et 2021).

2.5.3 Dureté calcique et la dureté magnésienne

Le calcium et le magnésium constituent les éléments significatifs de la dureté de l'eau ; ils sont très réponsus dans la nature.

2.5.3.1 Dureté Calcique

La figure 21 représente les valeurs de calcium des trois sources étudiées durant les trois années. Les résultats des analyses indiquent que la teneur en calcium enregistrée pour les trois sources durant les trois années (été 2019, 2020 et 2021) est un peu élevée au niveau de Thala Ait Naïm et elle est comprise entre [51 et

113mg/l], tandis que dans les eaux des sources Thala Bouada et Thianserine, elle est comprise entre [35 et 44mg/l].

Ces valeurs montrent que les eaux des trois sources présentent une stabilité calcique qui est due peut être à la nature géologique des terrains traversés. Ces résultats sont conformes à la norme Algérienne (200mg/l).

D'après les résultats trouvés dans les travaux réalisés sur la même problématique par HOUMEL (2017) [résultats varient entre (74.55 et 124.25mg/l)], sont presque similaires à ceux trouvés au niveau de la source Ait Naïm en été 2021 et 2020 (113mg/l-97mg/l), contrairement aux résultats trouvés au niveau de Thala Bouada et Thianserine qui présentent une légère différence qui est probablement due à la nature des terrains traversés. D'après les résultats trouvés dans les travaux de BESSALEM et HASSANI (2017) [résultats varient entre 43.29 mg/l et 61.72mg/l, nous déduisons que ces résultats sont presque similaires avec ceux trouvés dans les trois sources de notre travail.

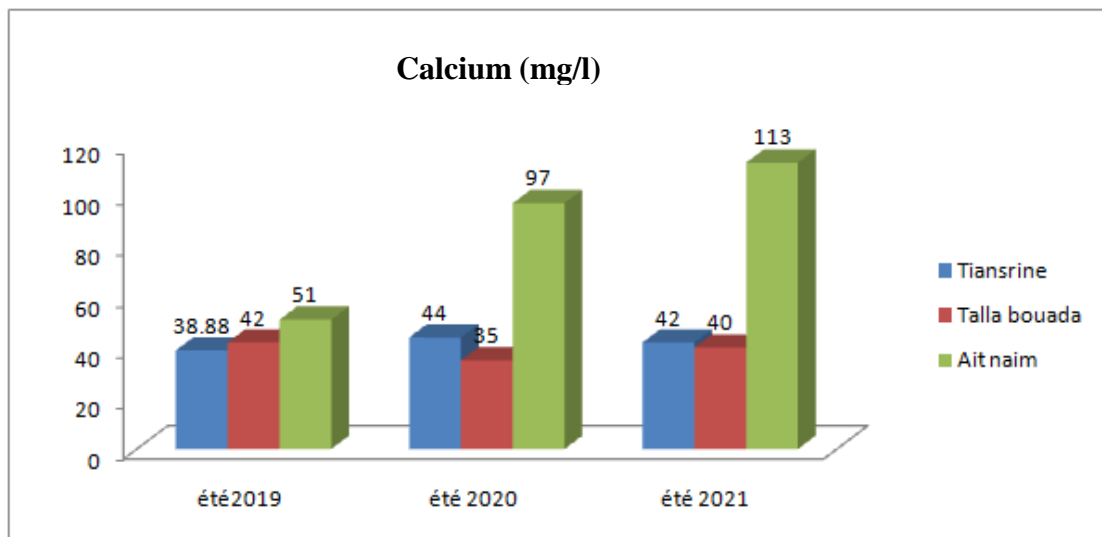


Figure 21: Variation du calcium dans les trois sources étudiées durant les trois années (été 2019, 2020 et 2021).

2.5.3.2 Dureté magnésienne

La figure 22 représente les valeurs de magnésium des trois sources étudiées durant les trois années. Dans nos trois sources étudiées, la figure 22 montre que la teneur en magnésium est un peu élevée au niveau de Thala Ait Naïm (26-63mg/l) par rapport aux sources Thianserine et Thala Bouda [3-8mg/l] et ce durant l'année étudiée (été 2021) et les deux années précédentes (été 2019 et 2020).

Ces valeurs sont inférieures à la valeur préconisée par la réglementation algérienne qui exige une concentration située entre 30mg/l et 150mg/l. Les valeurs trouvées sont probablement liées au lessivage des terrains traversés qui est dû à la nature dolomitique et métamorphique, ainsi que l'écoulement rapide des eaux de surface et la nature calcaire des terrains.

D'après les résultats obtenus par HOUMEL (2017) [résultats varient entre (11.67-20.91mg/l)], ainsi que les résultats trouvés dans les travaux de BESSALEM et HASSANI (2017) [les résultats varient entre (3.89-11.78mg/l)], nous déduisons que ces résultats ne sont pas similaires avec ceux trouvés dans notre travail.

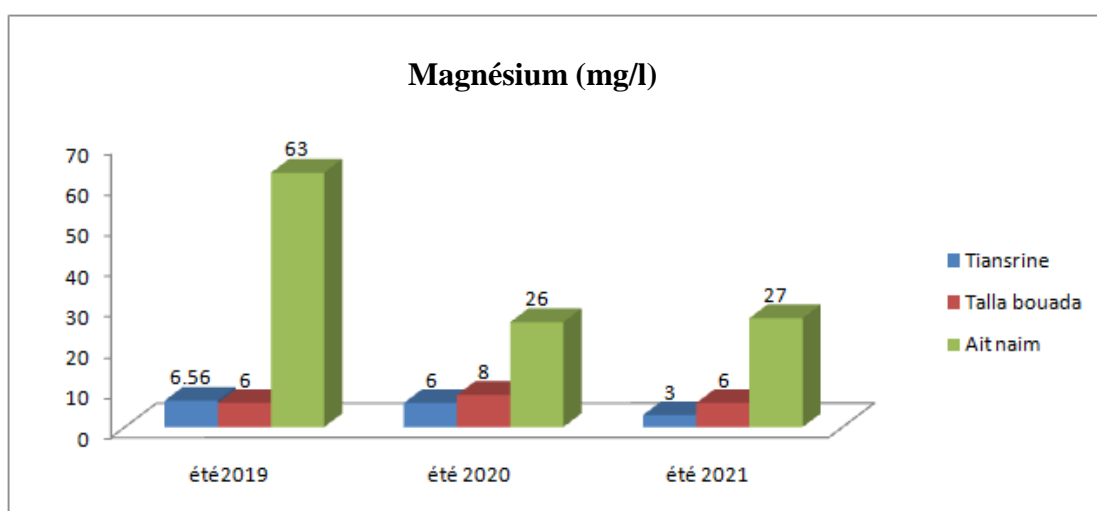


Figure 22 : Variation de magnésium dans les trois sources étudiées durant les trois années (été 2019, 2020 et 2021).

2.5.4 Sodium

La figure 23 représente les valeurs de sodium des trois sources étudiées durant les trois années. Les valeurs de sodium trouvées au niveau de Thala Bouada et Thianserine sont faibles [2 et 18mg/l]. tandis que dans la source de Thala Ait Naïm, nous remarquons que la teneur en sodium est très élevée, elle est comprise entre [58 et 60mg/l] et ce durant la période étudiée (été 2021) et les deux années précédentes (été 2019 et 2020).

Les valeurs enregistrées au niveau de Thala Bouada et Thianserine sont inférieures à la valeur minimale recommandée par l'Algérie et l'O.M.S [20-200mg/l] cela est probablement dû à l'absence du sodium dans les terrains traversés par cette eau. Concernant les valeurs enregistrées au niveau de l'eau de la source Ait Naïm peut être expliquée par le lessivage des dépôts de chlorure de sodium ainsi que les

silicates du sodium qui sont présents dans les terrains traversés durant cette période. Les résultats obtenus pour les trois sources sont conformes à la norme prescrite par l'O.M.S et l'Algérienne des eaux (200 mg/l).

Nos résultats sont similaires aux travaux de HOUMEL (2017 [les résultats varient entre (8 et 50mg/l)]. Cet auteur note que les valeurs de sodiums trouvés répondent aux normes algériennes des eaux, ce qui a été le cas dans notre travail.

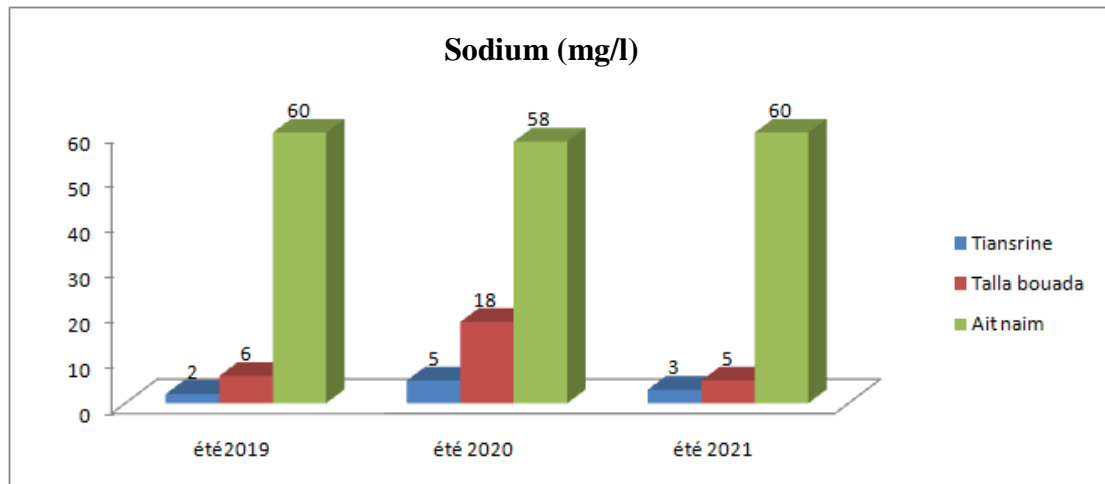


Figure 23 : Variation du sodium dans les trois sources étudiées durant les trois années (été 2019, 2020 et 2021).

2.5.5 Potassium

La figure 24 montre que la valeur de potassium varie du 0 à 3mg/l, dans les trois sources durant la période étudiée (été 2021) et les deux années précédentes (été 2019 et 2020).

Ces concentrations de potassium sont au dessous des concentrations minérales admissibles recommandées par les normes algériennes et celles fixées par l'O.M.S (10mg/l).

Ces teneurs faibles enregistrées en potassium sont probablement liée à la difficulté de la mobilisation des ions de potassium dans les eaux souterraines, et les concentrations ne dépassent généralement pas les 10mg/l.

Nos résultats concordent avec les travaux réalisés par AMICHI et AMIRI (2020) [résultats varient entre (1-2.5 mg/l).

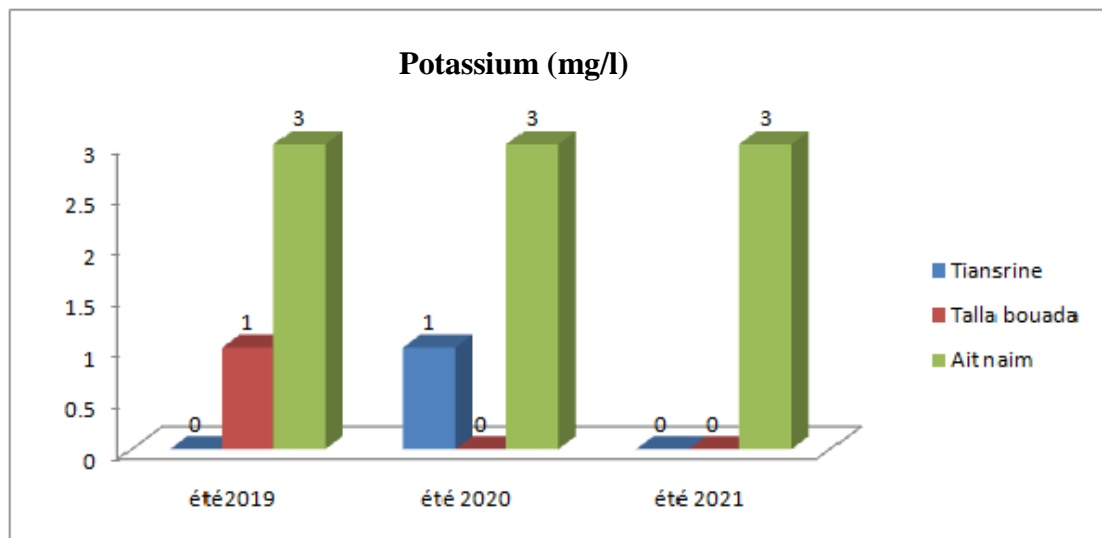


Figure 24: Variation du potassium dans les trois sources étudiées durant les trois années (été 2019, 2020 et 2021).

2.5.6 Chlorure

La figure 25 représente les valeurs du chlorure dans les trois sources étudiées durant les trois années. Les eaux des sources Thala Bouada et Thianserine, présentent des teneurs faibles en chlorures qui sont comprises entre [9-13mg/l] par rapport à la source Ait Naïm dont la teneur en chlorure est un peu plus élevée [93-125mg /l] et ce pendant la période d'étude (été 2021) et les deux années précédentes (été 2019 et 2020). Les teneurs en chlorures trouvées au niveau des trois sources, durant notre période d'étude (été 2021) et les années précédentes (été 2019 et 2020) répondent à la valeur guides algérienne de 200mg/l.

Les résultats trouvés pourraient s'expliquer par le parcours de cet eau qui serait réduit, et un séjour dans les nappes qui a une courte durée, qui permet au chlore de dissoudre dans l'eau (REJSEK, 2002).

Nos résultats concordent avec les travaux de HOUMEL (2017) [les résultats varient entre (9.5-13.33mg/l)], ainsi que les travaux de BESSALEM et HASSANI (2017) [les résultats varient entre (8.15-8.23mg/l)], ces résultats sont similaires avec ceux que nous avons trouvés au niveau des sources Thala Bouada et Thianserine, mais ne concorde pas avec ceux trouvés au niveau des eaux Ait Naïm.

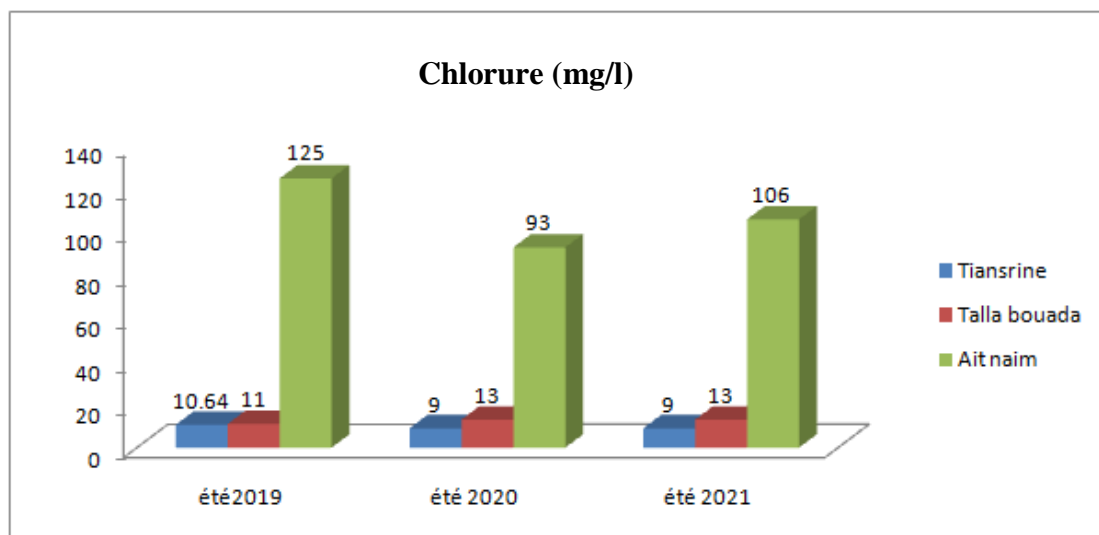


Figure 25: Variation du chlorure dans les trois sources étudiées durant les trois années (été 2019, 2020 et 2021).

2.5.7 Sulfates

D'après l'histogramme, nous remarquons que la concentration en sulfates est élevée pour l'eau de la source Ait Naïm, les teneurs sont comprises entre [56 et 72mg/l] durant la période étudiée (été 2021) et les deux années précédentes (été 2019 et 2020). Concernant les sources Thala Bouada et Thianserine, la figure 12 nous montre que la teneur en sulfate est extrêmement faible en été 2021 et été 2019 [1 et 3mg/l]. En été 2020, nous remarquons que la concentration en sulfate est un peu élevée par rapport aux autres années (15mg/l) pour l'eau de Thianserine et 65mg/l pour l'eau de Thala Bouada.

Les teneurs en sulfates trouvées dans les trois sources, sont inférieures à la concentration minimale et maximale admissible, recommandées par la norme algérienne [200-400mg/l]. Cette diminution en sulfate est peut être dûe à la nature des terrains traversés qui présentent un faible taux de gypse ainsi qu'au temps réduit de contact eau- roche.

À la lumière des résultats des sulfates obtenus par HOUMEL (2017) [les résultats varient entre (16.5 et 65mg/l)], l'auteur note que les valeurs de sulfate trouvées répondent aux normes fixées par l'Algérienne des eaux (200-400mg/l), ce qui concorde avec nos résultats.

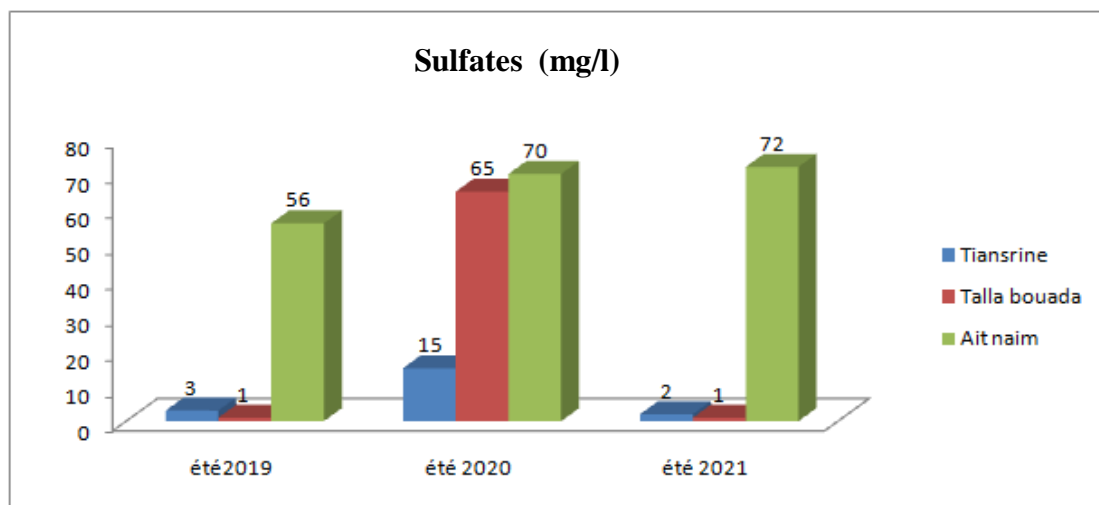


Figure 262: Variation du sulfate les trois sources étudiées durant les trois années (été 2019, 2020 et 2021).

2.5.8 Bicarbonates (HCO_3^-)

La figure 27 représente la valeur des bicarbonates des trois sources étudiées dans les trois années.

D'après l'histogramme, nous remarquons que la valeur des bicarbonates est élevée (349 et 381mg/l) au niveau de la source Ait Naïm par rapport aux valeurs enregistrées à Thala Bouada et Thianserine qui est comprise entre (122 et 144mg/l) durant l'année étudiée (été 2021) et les deux années précédentes (été 2019 et 2020).

Les résultats trouvés au niveau de la source Ait Naïm pourrait s'explique par la nature des terrains traversés ainsi que l'augmentation de la température. Les résultats trouvés au niveau de Thianserine et Thala Bouada sont probablement dû à la faible minéralisation de ces eaux.

Les résultats trouvés dans les travaux réalisés sur la même problématique par HOUMEL (2017) [(les résultats varient entre (291.58 et 424.56mg/l)], concordent avec les résultats que nous avons trouvés au niveau de la source Ait Naïm. Les résultats trouvés par BESSALEM et HASSANI (2017) [(les résultats varient entre 175.68 et 216.18mg/l)], sont similaires avec ceux qui nous avons trouvé au niveau de

Thala Bouada et Thianserine, mais ces résultats ne concorde pas avec ceux trouvés au niveau des eaux Ait Naïm.

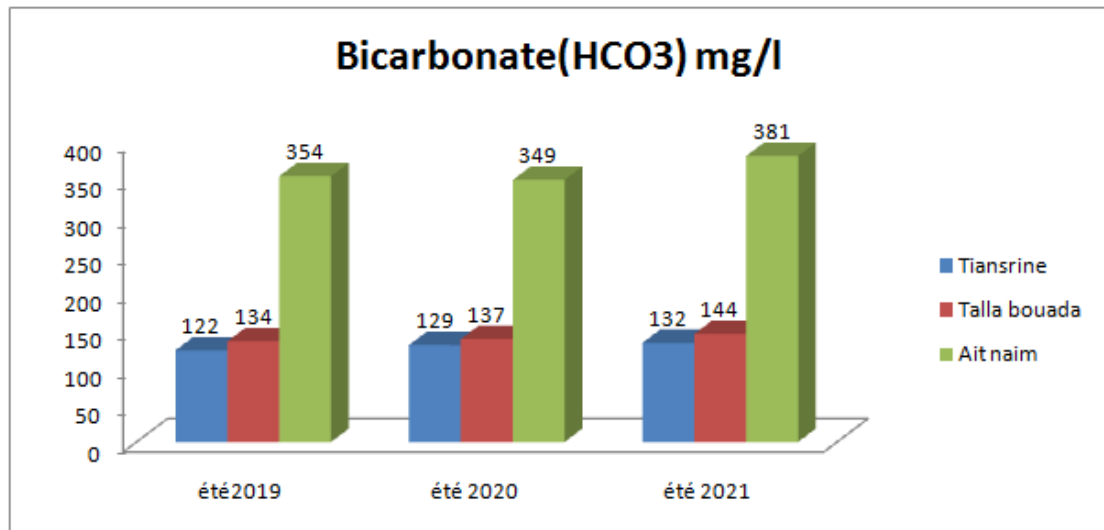


Figure 27: variation des bicarbonates dans les trois sources étudiées durant les trois années (été 2019, 2020 et 2021).

2.6 Paramètres indésirables

2.6.1 Le fer ferreux (Fe^{2+})

La figure 28 représente les valeurs de fer des trois sources étudiées dans les trois années.

Les résultats obtenus mentionnés dans la figure 13 dans nos trois sources pour l'année étudiée (été 2021), comparés aux deux années précédentes (été 2019 et 2020), montrent que les teneurs en fer dissous sont situées dans un intervalle de [0.01 et 0.06mg/l].

Les valeurs enregistrées en fer sont très faibles et conformes à la limite fixée par l'Algérie pour les eaux potables qui est de l'ordre de 0.3mg/l, ce qui correspond à une bonne qualité d'une eau et qui permet d'éliminer les désagréments qui engendrent la production du fer.

Les résultats des travaux effectués par HOUMEL (2017) [(les résultats varient entre 0.04 et 0.06mg/l)], ainsi que les travaux de BESSALEM et HASSANI (2017) [les résultats varient entre (0.05 et 0.06mg/l)], montrent que ces valeurs sont au-dessous de la norme indiquée par l'Algérie qui est inférieure à 0.3mg/l. Ces résultats reflètent les résultats que nous avons trouvés dans notre travail.

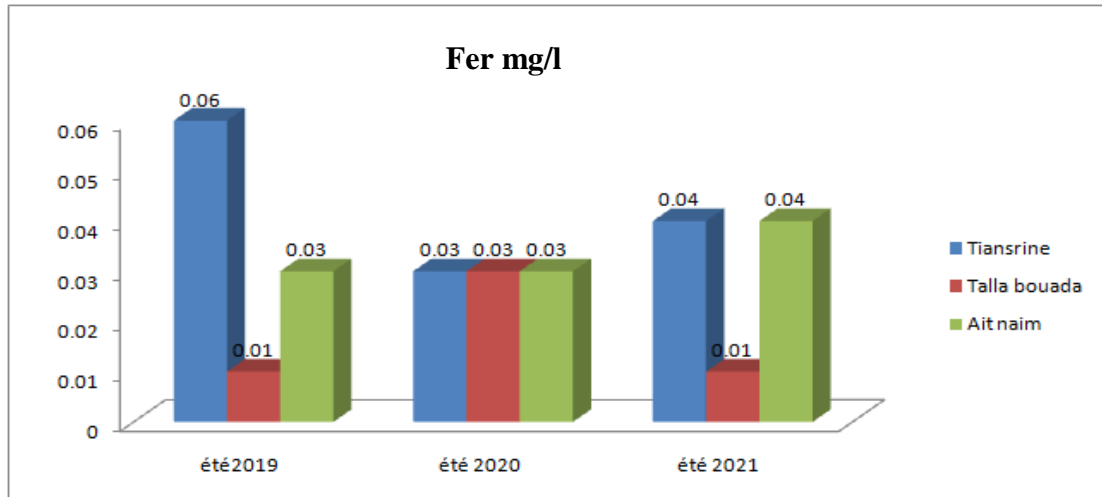


Figure 28: Variation du fer dans les trois sources étudiées durant trois années (été 2019,2020 et 2021).

2.7 Paramètres de pollution

2.7.1 L'ammonium

La figure 29 représente les valeurs de l'ammonium des trois sources étudiées durant les trois années.

D'après l'histogramme, nous remarquons l'absence de l'ammonium dans les eaux des trois sources, à l'exception de la source Thala Bouada en été 2020 qui marque une concentration de 0.15mg/l, ainsi que la source Ait Naïm en été 2021 qui marque une valeur de 0.11mg/l.

Les deux teneurs faibles enregistrées en ammonium, sont probablement dû à la présence d'une pollution au niveau de Thala Bouada (été 2020), ainsi que la source Ait Naïm (été 2021).

Les valeurs enregistrées dans les eaux des trois sources, ne dépassent pas la norme Algérienne fixée à 0.5mg/l, ce qui nous permet de qualifier, cette eau comme eau potable.

Nos résultats sont similaires aux résultats trouvés par HOUMEL (2017) [les résultats varient entre (0 et 0.01mg/l)], ainsi que les travaux de BESSALEM et HASSANI (2017) (les résultats sont nuls).

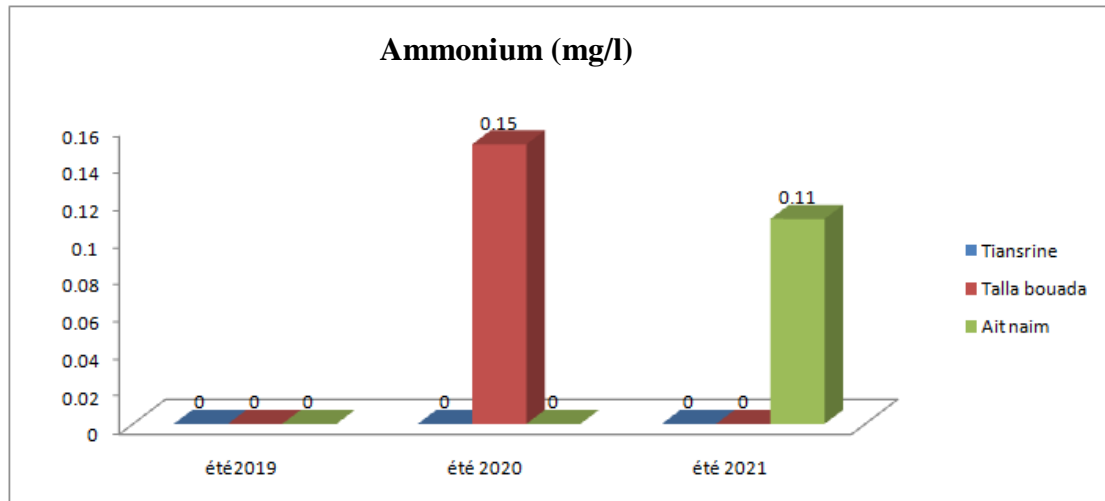


Figure 3: Variation d'ammonium dans les trois sources étudiées durant les trois années (été 2019, 2020 et 2021).

2.7.2 Nitrates

Les résultats de nos analyses ont révélés que la teneur en nitrates est élevée pour l'eau de la source Ait Naïm [7.03 et 7.96mg/l] durant l'été 2019, 2020 et 2021. Pour les eaux de Thala Bouada et Thianserine, les teneurs en nitrate sont faibles, elles sont dans un intervalle de [2.64 et 3.76mg/l] pour l'été 2020 et l'été 2021, tandis que la concentration est nulle en été 2019.

La présence des nitrates résulte probablement de la décomposition des matières organiques et minérales. D'après l'histogramme, nous remarquons que thala Bouada et Thianserine, sont moins riche en nitrite par rapport à la source Ait Naïm, cela peut s'expliquer au fait que ces deux sources sont vulnérables à une pollution.

Nos résultats concordent avec les travaux réalisés par HOUMEL (2017) [les résultats varient entre (1.32 et 17.26mg/l)], ainsi que les travaux de BESSALEM et HASSANI (2017) [les résultats varient entre (2.65 et 5.75mg/l)], ces résultats et nos résultats sont conformes aux normes algériennes et celles fixées par l'O.M.S(50mg/l).

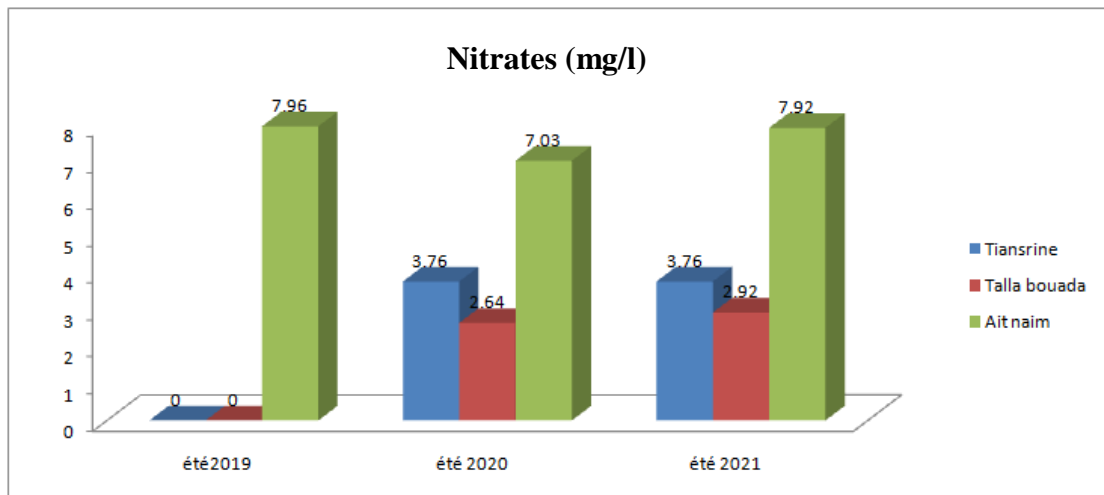


Figure 30: variation des nitrates dans les trois sources étudiées durant trois années (été 2019,2020 et 2021).

2.7.3 Phosphates

D'après la figure 31, les deux sources Thala Bouada et Thala Ait Naïm contiennent quelque traces de phosphate (0.01 et 0.02mg/l) en été 2019, tandis que les teneurs en phosphate sont nulles au niveau de la source Thianserine. Nous avons enregistré des teneurs nulles en été 2020 et 2021 au niveau Thala Ait Naïm et Thala Bouada et Thianserine.

Les valeurs enregistrées ne peuvent résulter que d'une pollution humaine (eau de rejets, engrais.....etc.). Les normes de l'O.M.S fixent comme limite supérieure la valeur de 0.5 mg/l, ceci nous renseigne sur l'absence totale d'une pollution organique.

à la lumière des résultats de phosphate obtenus par HOUMEL (2017) [les résultats varient entre (0.0-0.13mg/l)], ainsi que les travaux de BESSALEM et HASSANI (2017) [(les résultats varient entre (0.05-0.15mg/l)], ces résultats sont similaires avec ceux trouvés dans notre travail.

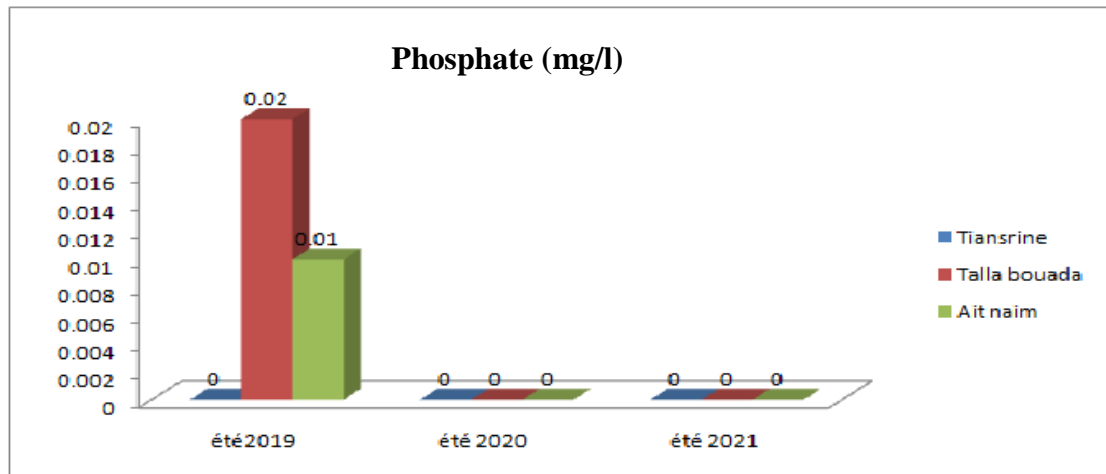


Figure 314: Variation des phosphates dans les trois sources étudiées durant trois années (été 2019, 2020 et 2021).

2.7.4 Matières organiques oxydables en milieu acide

La figure 32 représente les valeurs de la matière organique dans les trois sources étudiées durant les trois années.

Les résultats obtenus par les analyses effectuées, nous montrent la présence d'une faible concentration en matières organiques, elle est comprise entre [0.04 et 2.83 mg/l] pour les eaux des trois sources durant l'année étudiée (été 2021) et les deux années précédentes (été 2019 et 2020).

Les résultats montrent que les eaux des sources Ait Naïm (été 2020), Thala Bouada (été 2019 et 2021) et Thianserine (été 2019, été 2020, été 2021) se caractérisent d'une faible concentration en matières organiques, elle est inférieure à 1mg/l. Selon RODIER(2006), nous qualifions ces eaux comme des eaux pures.

Les valeurs mentionnées au niveau de la source Ait Naïm (été 2019) et Thala Bouada (été 2020), sont comprises entre 1 et 2mg/l. Selon la classification de RODIER(2006), ces eaux sont qualifiées comme des eaux potables.

La valeur mentionnée pour l'eau de la source Ait Naïm en été 2021 dépasse 2mg/l, cette eau est suspecte, donc cette source est exposée à une pollution organique.

La présence des faibles teneurs en matières organiques est probablement causée par la décomposition, d'origine animale ou végétale élaborées sous l'influence des micro-organismes.

Les travaux réalisés sur la même problématique par HOUMEL (2017) [les résultats varient entre (0.91 et 2.94mg/l)], ainsi que les travaux de BESSALEM et HASSANI (2017) [les résultats varient entre (0.99 et 3.3mg/l)], montrent que ces eaux contiennent des faibles teneurs en matière organique, ce qui est le cas dans notre travail.

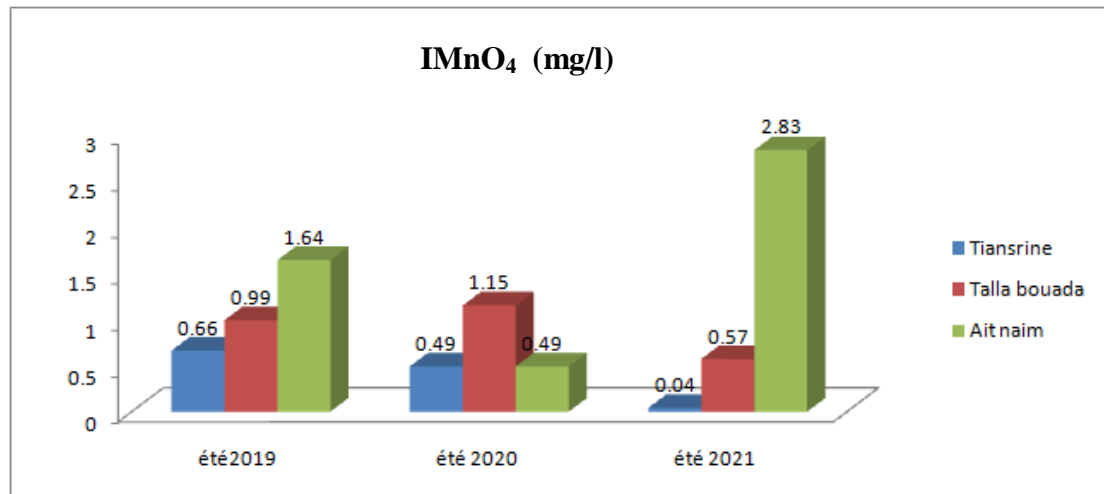


Figure 325: Variation de la matière organique dans les trois sources étudiées durant trois années (été 2019, 2020 et 2021).

3 Paramètres bactériologiques

Le tableau 1 représente les résultats des analyses bactériologiques des sources d'eau étudiées durant l'an 2021 et comparé aux deux autres années.

Tableau 5: Résultats des analyses bactériologiques des eaux des trois sources étudiées.

Sources d'eau	Thianserine			Thala Bouada			Thala ait Naïm			Norme algérienne
	Eté 2019	Eté 2020	Eté 2021	Ete2019	Eté2020	Ete2021	Eté 2019	Ete2020	Eté 2021	
Germes										
Coliformes totaux (C/100ml)	61	99	34	0	31	22	0	128	332	<50
E-Coli (C/100ml)	61	0	0	0	1	0	0	0	1	<20
Streptocoques fécaux(C/100ml)	19	0	0	1	1	0	0	0	0	<20

C : Colonies

3.1 Variation des paramètres biologiques

3.1 Escherichia Coli

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que le taux des Escherichia Coli est élevé pour l'eau de Thianserine (61n/100ml), en été 2019, comparés à l'été 2020 et 2021 qui révèlent des valeurs nulles. La source Thala Bouada et Ait Naïm mentionnent des valeurs nulles et une valeur de 1n/100ml pour la source Thala Bouada en été 2020 et 1n/100ml pour Ait Naïm en été 2021.

Les résultats trouvés au niveau de Thianserine (été 2019) dépasse les normes algériennes ce qui nous laisse soupçonner une présence d'une contamination fécale qui est probablement dûe à la présence des facteurs qui favorisent la croissance des Escherichia Coli d'origine domestique. Concernant les résultats trouvés au niveau de Thala Bouada (été 2020) et Ait Naïm (été 2021), ne dépassent pas les normes algériennes.

Les résultats trouvés par HOUMEL (2017) [les résultats varient entre (0-04C/100mg)] concordent avec les résultats que nous avons trouvés au niveau des deux sources Thala Bouada et Ait Naïm ainsi que Thianserine en été 2020 et 2021 sauf en été 2019 (61 C/100mg). Les résultats trouvés par BESSALEM et HASSANI (2017) [(résultats varient entre (12-224C/100mg)], ne sont pas similaires avec ceux que nous avons trouvés dans notre travail.

3.2 Coliformes totaux

D'après le tableau 1, nous constatons que la charge des coliformes totaux est élevée pour l'eau de Thianserine (61n/100ml et 99n/100ml, respectivement) en été 2019 et 2020, et elle est très élevée au niveau de l'eau de la source Ait Naïm avec les valeurs de 128n/ml et 332n/ml en été 2020 et 2021, respectivement. Pour les eaux de Thala Bouada les valeurs trouvées sont 32n/ml et 22n/ml, respectivement en été 2020 et 2021.

Les résultats trouvés au niveau de Thala Bouada se caractérisent d'une faible teneur en coliformes totaux qui ne dépassent pas les normes algériennes. Concernant les résultats mentionnés pour les sources Ait Naïm (été 2020 et 2021) ainsi Thianserine (été 2019 et 2020) dépassent la norme algérienne, ceci peut être expliqué par la présence d'une contamination fécale au niveau de ces sources.

Les travaux réalisés sur la même problématique par HOUMEL (2017) [(résultats varient entre (0-4C/100ml)] ne sont pas similaires aux nôtres. Les résultats trouvés par BESSALEM et HASSANI (2017) [résultats entre (2-1100C/100ml)] sont similaires avec ceux que nous avons trouvés dans notre travail.

3.3 Streptocoques fécaux

Les résultats des analyses montrent que le taux des streptocoques enregistré au niveau de Thianserine (19n/ml) en été 2019 ne dépassent pas la norme algérienne (<20n/100ml), cela confirme la présence d'une légère contamination bactériologique fécale. Nous avons enregistré une valeur nulle au niveau de l'eau de Thala Bouada et Ait Naïm durant la période d'étude (été 2021) ainsi que Thianserine (en été 2020 et 2021). Cela nous laisse à dire que cette eau est potable.

Les travaux réalisés sur la même problématique par HOUMEL (2017) [(résultats varient entre 0-4C/100ml)], sont similaires à ceux que nous avons trouvés au niveau des trois sources étudiées à l'exception de la source Thianserine en été 2019 (19C/100ml). Les résultats trouvés par BESSALEM et HASSANI (2017) (résultats varient entre 0-195C/100ml) ne sont pas similaires avec ceux que nous avons trouvés dans notre travail.

Au cours de notre travail nous avons effectuées des analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de trois sources à savoir Thianserine (Ouacif), Thala Bouada (Bouzeguène) et Ait Naïm (Azeffoune) et il ressort de cette étude que, sur le plan organoleptique, l'eau des trois sources sont inodores et incolores pendant la période d'étude et les deux années précédentes.

Sur le plan physico-chimique, l'eau de la source Ait Naïm présente une minéralisation très élevée par rapport aux deux autres sources Thala Bouada et Thianserine qui présentent une minéralisation moyenne durant la période d'étude et les deux années précédentes. Cette minéralisation se traduit par la présence d'une forte teneur en résidus secs (529 et 597 mg/l) ainsi qu'une élévation de la conductivité (941 et 990 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

Les eaux des deux sources Thala Bouada et Thianserine sont moyennement dure par rapport à l'eau de la source d'Ait Naïm qui est dure pendant la période étudiée et les deux années précédentes.

Nous avons marqué une stabilité calcique (35 et 97 mg/l) et magnésienne (3 et 63mg/l) pour les eaux des trois sources (Ait Naïm, Thala Bouada et Thianserine), ainsi que des teneurs faibles en sodium (2 et 60mg/l) qui est inférieure aux normes algérienne et celle fixée par l'O.M.S (200mg/l) pour les eaux de sources Thala Bouada et Thianserine contrairement à l'eau de la source Ait Naïm qui est conforme aux normes, et ce en été 2019,2020 et 2021.

Les eaux des trois sources marquent une présence faible en potassium (1 et 3mg/l) qui ne dépasse pas la valeur recommandée par l'O.M.S ainsi que les normes algériennes (10mg/l) et ce pour les trois années (été 2019,2020 et 2021).

La concentration des chlorures (9 et 106 mg/l) et les sulfates (1 et 72mg/l) sont inférieures aux normes algériennes et celles fixées par l'O.M.S au niveau des eaux de sources Thala Bouada et Thianserine, ce qui les rend vulnérable à une éventuelle pollution par les micro-organismes que la source Ait Naïm qui marque une concentration conforme aux normes algériennes et celles fixées par l'O.M.S (200mg/l).

Les teneurs en fer enregistrées au niveau des trois sources pendant l'année d'étude (été 2021) et les deux années précédentes (été 2019 et 2020) sont conformes aux normes algériennes et l'O.M.S (0.3mg/l).

Sur le plan pollution organique, les eaux des trois sources marquent une absence de la pollution ammoniacale à l'exception des deux sources Thala Bouada été 2020(0.15 mg/l) et Ait Naïm été 2021(0.11mg/l). Cette étude révèle aussi une pollution nitrique au niveau des trois sources à l'exception des deux sources Thala Bouada et Thianserine (été 2019). La présence d'une pollution organique dans les eaux des trois sources et ce en été 2021 et les deux années précédentes (été 2019 et 2020) nous laisse penser que ces eaux sont suspectes et exposées à une pollution organique.

D'après les résultats de l'analyse physico-chimique nous déduisons que les eaux des trois sources sont des eaux potables et de nature bicarbonatée calcique et sulfatée.

Sur le plan bactériologique, nous avons marqué la présence des coliformes totaux dans les eaux des trois sources pendant l'été 2020, 2021 et 2019 pour Thianserine, les valeurs des coliformes totaux enregistrées pour Ait Naïm et Thianserine dépassent la valeur maximale fixée par l'algérienne des eaux (50C/100ml), cela rend cette eau comme suspecte ,pour les valeurs enregistrées au niveau de Thala bouada sont négligeables. Absence des coliforme totaux pour les eaux de source Thala Bouada et Ait Naïm et ce en (été 2019) cela signifie que cette eau était de bonne qualité en cette période.

Les eaux des trois sources ne révèlent aucune présence de streptocoque ni d'*Escherichia coli* et ce en été 2019, 2020 et 2021 (ces eaux qualifié comme eau potable) à l'exception de Thianserine (été 2019) où nous avons enregistré une valeur qui dépasse la norme algérienne (20 C/100ml) en *Escherichia coli* ce qui la rend comme une eau suspecte.

Sur le plant bactériologique nous constatons, que l'eau de la source Ait Naïm est suspecte et que les eaux de deux sources Thala Bouada et Thianserine sont potables.

Enfin, nous pouvons annoncer quelques recommandations jugées utiles pour la préservation des eaux de sources :

- Sensibilisation des populations contre la consommation des eaux non-contrôlées et leurs expliquées les risques éventuelles ;
- Amélioration des réseaux d'évacuations des eaux usées ;
- Conception et mise en œuvre d'un programme de surveillance de la qualité et de l'assurance de la conformité ;
- Préservation et protection des eaux de sources contre la pollution ;
- Contrôle continue des eaux de sources par la réalisation de plusieurs prélèvements à différentes périodes de l'année ;

1. **AIT ABDELAZIZ F., (2016)** : contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de trois sources d'eau de trois communes « Abi Yousef, Yakouréne et Bouzeguène » mémoire de master protection de l'environnement faculté des sciences biologiques et agronomiques UMMTO.110p.
2. **AMICHI Z. et AMIRI K., (2020)** : contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de la source Thabout « Ouadhias, Willaya de Tizi Ouzou » mémoire de master biodiversité et environnement faculté des sciences biologique et agronomiques UMMTO.121p.
3. **AOUISSI A. et HOUHAMDI M., (2014)** : contributions à l'étude de la qualité de l'eau de quelques sources et puits dans les communes de Belkheir et Boumahra Ahmed (wilaya de Guelma, Nord-est Algérien).1^{er} séminaire national sur la santé et bio-surveillance des écosystèmes aquatique, 12 p.
4. **AROUYA K., (2011)**. Pollution des eaux .Edition universitaires européennes, 195p.
5. **BEAUCHAMP J., (2006)** : qualité des eaux souterraine. Thèse de doctorat. Université de Picardie Jules V^{ème}.335p.
6. **BERMOND R. et VUICHARD R., (1973)** : Paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française OSPEPE, Paris, 178p.
7. **BERNARD C. ,(2007)** : Introduction à l'étude de la médecine expérimentale. Édition Bibliobazaar .Iic.382p.
8. **BESSALEM Z. et HASSANI S., (2017)** : contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques sur deux périodes d'échantillonnage de deux sources d'eau au niveau de deux communes « Ouacif et Ouadhias » wilaya de Tizi Ouzou .mémoire de master protection de l'environnement faculté des sciences biologiques et agronomiques UMMTO.95p.
9. **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.
10. **BOURGEOIS C.M., MERSCLE J. F et ZUCCA J., (1991)** : Microbiologie alimentaire : aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. Tome 1.édition : Lavoisier .Tec et Doc. 312p.
11. **BOUZIANI M., (2000)** : l'eau, de la pénurie à la maladie. Edition Ibn-Khaldoun, Algérie, 195p.
12. **CHERY.L., (2006)** : La qualité des eaux souterraines : méthodes de caractérisation des états de références des aquifères Français .Edition brgm .Paris. 238p.

13. **DE VILLERS J., SQUILBIN M., YOURASSOWSKY C., (2005)** : qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre générale. Les donnes de l'IBGE : «L'eau à Bruxelles », pp .22-16.
14. **DEGREMONT, (1989)** : Mémento technique de l'eau Tome I et II : Edition, cinquanteaire, Paris .137p.
15. **DEGREMONT, (1989)** : Mémento technique de l'eau, 2^{ème} édition. Lavoisier. Tec et Doc .592p.
16. **DEGREMONT, (2005)** : Mémento technique de l'eau Tome I.10^{ème} édition. Lavoisier. Tec et Doc. Paris 105p.
17. **DELLARAS C., (2003)** : Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux : Réglementation .Prélèvement . Analyse 225p.
18. **FERRON A., (1978)** : Bactériologie à l'usage des étudiants en médecine. 8^{ème} édition, CROUAN ET ROQUES, Lille, France, 403p.
19. **GOMELLA G.et GUERREE H., (1980)** : La distribution d'eau dans les agglomérations urbaines et rurales. 3^{ème} Edition, Eyrolles, Paris, 277p.
20. **GOUJOUS D., (1995)** : La pollution des milieux aquatique .Aide-mémoire .2^{ème} édition, Tec et Doc Lavoisier, Paris, France ,220p.
21. **GUIRAUD J.P., (1998)** : l'eau usage et polluants. Edition DUNOD. Paris .247p
22. **HASLAY C. et LECELER H.,(1993)** : Microbiologie des eaux d'alimentation. Edition Tec et Doc. Lavoisier .Paris, 1375p.
23. **HOUMEL T., (2017)** : la contribution à l'étude des paramètres physico-chimique et bactériologiques sur deux périodes d'échantillonnage de deux sources d'eau (Thala Toulmouts, Thala Oumazar) au niveau de deux communes « Tizi-Ouzou, Ait Toudert ». Mémoire de master protection de l'environnement. Faculté des sciences biologiques et agronomiques. UMMTO.105p.
24. **KEMMER F., (1984)** : Manuelle de l'eau. Edition : Lavoisier technique et documentation. Lavoisier. Paris, 520p.
25. **KENNETH M., (1979)** : Biologie de la pollution. Edition Librairie Vuibert. Paris.
26. **LADJEL N. et GUEDDACHI K., (2008)** : Contribution à l'étude physico-chimique et bactériologique des sources émergentes au voisinage du contact socle- couverture sédimentaire de la région de Souama _ ait yahia. (Est de la grande Kabylie, Algérie). Mem d'ing. d'état. Univ Mouloud Mammeri de la wilaya de Tizi-Ouzou .78p.

27. **LUNC J. et LAGRADETTE M., (2004) :** l'eau potable et l'assainissement. Edition Johannes. Paris.113p.
28. **MARSILY G., (1995) :** L'eau .Collection Dominos, Edition Flammarion.128P.
29. **MEDDOUR R.,(2010) :** Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie exemple des groupements preforestiers de la Kabylie djurdjurenne. Thèse de doctorat .université UMMTO.461P.
30. **OMS. ,(1986) :** Directives de qualité pour l'eau de boisson. Volume 2 : 1^{ère} Edition, Genève ,134p.
31. **PERRY J., (1984) :** Microbiologie : Cours et question de révision. Edition Dunods. Pris.880p.
32. **POTELON JEAN-LUE, (1998) :** Le guide des analyses de l'eau potable. Edition Lettre du Cadre Territorial, France, 120p.
33. **RAMADE F., (2005) :** -Dictionnaire encyclopédie des sciences de l'eau. Edition. Ediscience international, Paris. 528p.
34. **RAMADE F.,(1992) :**Précis d'écologie. Edition. Ediscience internationale.300p.
35. **REJESK., (2002) :** Analyse des eaux. Aspect réglementaire et technique. Série science et technique de l'environnement .Edition Scérén, Paris ,359p.
36. **RODIER J., (1984) :** L'analyse de l'eau. : Eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer.5^{ème} édition, Dunod, Paris, 1500p.
37. **RODIER J., (1996) :** L'analyse de l'eau. : Eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. Edition, Dunod, Paris, 1383p.
38. **RODIER J., (2005) :** L'analyse de l'eau. : Eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. 8^{ème} édition, Dunod, Paris, 1381p.
39. **RODIER J., (2009) :** L'analyse de l'eau. : Eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. 9^{ème} édition, Dunod, Paris, 1526p.
40. **RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., BRUNET R., (2009) :** L'analyse de l'eau. 9^{ème} édition, Dunod, Paris.2981p.
41. **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.

42. **TARDAT-HENRY (1992)** : Chimies des eaux .2^{ème} édition, Le Griffon d'argile Québec, 537p.
43. **VALIRON F., (1989)** : Gestion des eaux : alimentation en eau, assainissement. Edition PENPC (Ecole de presse national des ponts et chaussées) .870p.
44. **VILAGINES R., (2003)** : Eau, Environnement et Santé Publique. Introduction l'hydrologie.2ème édition, TEC et DOC, Lavoisier, Paris, 198p.

Résumé

L'objectif de notre cette étude est d'évaluer les paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de trois sources naturelles à savoir Thianserine (Ouacif), Thala Bouada (Bouzeguène) et Ait Naïm (Azeffoune), en se référant aux normes algériennes et l'O.M.S. [La méthodologie adoptée consiste à effectuer des analyses physico-chimiques et bactériologiques déterminant la qualité de l'eau. Cette étude a été réalisée au sein de laboratoire de l'établissement public de la distribution des eaux (Algérienne des eaux) unité de Boukhalfa (Tizi-Ouzou)]. Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que les eaux des trois sources sont des eaux potable et de nature bicarbonatées(122 et 381mg/l) calciques(35 et 113mg/l), ceci est lié à la nature des terrains traversés. Cependant les résultats obtenus sont conformes aux normes de la potabilité algérienne et l'O.M.S. Les résultats des analyses bactériologiques ont révélé une absence de streptocoques fécaux ainsi que les *Escherichia coli* pour les eaux des trois sources durant les trois années, cependant les résultats obtenus obéissent aux normes algériennes des eaux et l'O.M.S donc ces eaux sont qualifier comme eau potabe. à l'exception de *Escherichia coli* pour la source Thianserine en été 2019 et les coliformes totaux qui dépassent la norme.

Mots clés : Eau de source, norme de potabilité, analyses physico-chimiques, analyses bactériologiques, Tizi-Ouzou.

Summary

The objective of this study is to evaluate the physico-chemical and bacteriological parameters of the water of three natural springs, namely Thianserine (Ouacif), Thala Bouada (Bouzeguène) and Ait Naïm (Azeffoune), with reference to Algerian and who standards. This study was carried out in the laboratory of the public water distribution establishment (Algérienne des eaux) unit of Boukhalfa (Tizi-Ouzou). The results of the physico-chemical analyses showed that the waters of the three springs are drinking waters and of a bicarbonate nature (122 and 381mg/l) and calcic (35 and 113mg/l), this is linked to the nature of the terrain crossed. The results of the bacteriological analyses revealed an absence of faecal streptococci as well as *Escherichia coli* for the waters of the three springs during the three years, however the results obtained obey the Algerian standards of water and the O.M.S. thus these waters are qualified as drinking water. with the exception of *Escherichia coli* for the Thianserine spring in summer 2019 and the total coliforms which exceed the standard.

Key words: Spring water, potability standard, physico-chemical analyses, bacteriological analyses, Tizi-Ouzou.