

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou



Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département d'Agronomie

Mémoire de fin d'étude

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

Option : Traitement et valorisation des ressources hydriques

Thème

**Caractérisation et Valorisation de quatre Sources
(Thimanithine, Ait Smail, Samta et El Ainseur) de la région de
Toudja wilaya de Bejaia.**

Réalisé par : M^r BOUAROURENE Mohammed
M^r SADI Mazigh

Présenté devant le jury :

Président : M^r BOUDJEMAA S. M.A.A à l'UMMTO
Examinatrice : M^{me} ABDELLAOUI K. M.A.A à l'UMMTO
Examinateur : M^r BERADJ O. M.A.A à l'UMMTO
Promotrice : M^{me} LOUNI D. M.A.A à l'UMMTO
Co-Promoteur : M^r RAHMOUNE Md.A. M.A.A à l'UMMTO

Promotion 2015-2016

Soutenu le 20 juillet 2016

Remerciements

Avant tout nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné santé, sérénité afin de réaliser ce modeste travail

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier nos deux familles et ami(e)s respectifs, qui nous ont toujours soutenues, épaulées et qui ont cru en nous.

*Nous tenons à remercier tout particulièrement notre Promotrice **M^{me} Louni.D** et notre Co-Promoteur **M^r Rahmoune M.A** d'avoir accepté de nous encadrer. Nous saluons leurs patiences, leurs remarques fructueuses, leurs orientations, leurs implications exemplaires et surtout leurs disponibilités pour notre travail.*

Nos remerciements sont également adressés à tous ceux et celles qui ont participé à la réalisation de ce travail de près ou de loin.

Mohammed et Mazigh

Dédicace

A chaque fois qu'on achève une étape importante dans notre vie, on fait une pose pour regarder en arrière et se rappeler toutes ces personnes qui ont partagé avec nous tous les bons moments de notre existence, mais surtout les mauvais.

Ces personnes qui nous ont aidés sans le leur dire, soutenus sans réserve, aimé sans compter, ces personnes à qui notre bonheur devient directement le leur, à qui un malheur en nous, en eux se transforme en pleur.

A toutes ces âmes ; sans les citer ; je dédie ce travail en signe de reconnaissance et de respect.

Mohammed

Liste des abréviations

- °F** : Degré français.
- ADE** : Algérienne Des Eaux.
- BCPL** : Bouillon lactosé au pourpre de bromocresol.
- CMA** : Concentration maximale admissible.
- D/C** : Double concentration.
- DPD** : Diethyl paraphenylene diamine.
- EDTA** : Acide Ethylène Diamine Tértaacitique.
- EVA** : Ethyl Violet Azide de sodium.
- Hcl** : Acide chlorhydrique.
- ISO** : Organisation Internationale de Standardisation.
- LM** : limite maximal.
- MES** : Matière en Suspension.
- MTH** : Maladies à Transmission Hydrique.
- N** : normalité.
- n°**: numéro.
- NA** : norme algérienne.
- NF** : Normes Françaises.
- NG** : Niveau Guide.
- nn** : nanomètre.
- NPP** : Nombre le plus probable.
- NTU** : Unité de Turbidité Néphéломétrique.
- OMS**: Organisation Mondiale de la Santé.
- P** : précipitation.
- pH** : Potentiel d'hydrogène.
- Pt/Co** : unité platine cobalt.
- S/C** : simple concentration.
- SAA**: Spectrophotomètre a absorption atomique.
- T** : température.
- TDS** : Solides Totaux Dissous.
- UFC**: Unités Formant Colonies.
- UV**: ultra-violet.
- μS**: micro siemens.
- bt/j** : bouteille par jour.

Liste des figures

Figure (01) : Répartition de l'eau sur la terre (Observatoire Régional de l'Environnement, 2014).

Figure (02) : Cycle de l'eau (**Site Internet 1**).

Figure (03) : Situation géographique de la commune de Toudja dans la Wilaya de Bejaia.

Figure (04) : Extrait d'assemblage des cartes topographiques de Bejaia au 1/25000m. Google earth: Toudja, Bedjaia, Algerie.

Figure (05) : Esquisse géologique de la zone d'étude (source ; territoire de Toudja au 1/50000m). Google earth: Toudja, Bedjaia, Algerie.

Figure (06) : Précipitations mensuelles moyennes en mm.

Figure (07) : Carte topographique montre Les quatre sources étudier.

Figure (8) : Photo de pH mètre (original).

Figure (9) : Photo du conductimètre (original).

Figure (10) : Photo de spectrophotomètre (photo original).

Figure (11) : Photo du Turbidimètre (original).

Figure (12) : Incubateur (photo original).

Figure (13) : Photo de la méthode par incorporation en milieu gélosé.

Figure (14) : Rampe de filtration (Photo original).

Figure (15) : variation des valeurs de la turbidité.

Figure (16) : variation des valeurs de pH.

Figure (17) : Variation de la température des eaux de Toudja.

Figure (18) : variation des valeurs de la conductivité.

Figure (19) : variation des valeurs de la Dureté totale.

Figure (20) : Variation de la dureté calcique en (mg/l) de CaCO_3 des eaux de sources de Toudja.

Figure (21) : les valeurs moyennes de la dureté Magnésienne en (mg/l).

Figure (22) : résultats obtenus lors du dosage des sulfates.

Figure (23) : variation des valeurs pour les chlorures.

Figure (24) : variation des valeurs du Fer.

Figure (25) : variation des valeurs du l'ammonium.

Figure (26) : Variation des teneurs en nitrates.

Figure (27) : Variation des teneurs en nitrites.

Figure (28) : Variation des Teneurs en TAC (mg/l de CaCO_3).

Figure (29) : Variation des résidus secs (mg/l) pour l'eau des sources de Toudja.

Figure (30) : Dénombrement des Coliformes totaux et fécaux et E.coli.

Figure (31) : Dénombrement des Streptocoques fécaux (photo original).

Liste des tableaux

Tableau I : Principales différences entre les eaux de surface et souterraines.

Tableau II : Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée.

Tableau III: Les éléments indésirables des eaux potables.

Tableau IV : Principales maladies d'origine bactérienne.

Tableau V : Principales maladies d'origine virale.

Tableau VI : Principales maladies d'origine parasitaire.

Tableau VII : Précipitations mensuelles moyennes en 2008 (en mm).

Tableau VIII : Températures inter annuelle moyennes : station de Cap Afiah.

Tableau IX : Teneur en TA (mg/l de CaCO₃) des eaux de sources de Toudja.

SOMMAIRE

Partie bibliographique

Introduction	1
Chapitre I : Généralités sur les eaux naturelles	
I .1. Eau sur terre	3
I .2. Cycle de l'eau (cycle hydrologique).....	4
I .3. Différentes sources d'approvisionnement en eau.....	5
I .4. Caractéristiques générales des eaux souterraines.....	7
I .5. Normes de potabilité des eaux souterraines.....	7
I .6. Principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines....	7
I .7. Captage des eaux souterraines.....	9
I .8. Adduction de l'eau.....	11
I .9. Ressources en eaux en Algérie	11
Chapitre II : paramètres de qualité d'une eau potable	
II .1. Définition de l'eau potable	12
II .2. Paramètres globaux de la qualité des eaux	12
II .2.1. Caractères organoleptiques	12
II .2.2. Paramètres physico-chimiques	13
II .2.3. Paramètres de Pollution organique	18
II .2.4. Paramètres indésirables	19
II .2.5. Paramètres de toxicité	20
II .2.6. Paramètres bactériologiques	22
Chapitre III : Pollution des eaux et impact sur la santé	
III .1. Définition de la pollution d'une eau	25
III .2. Principales sources de pollution	25
III .3. Composés polluants	26

III .4. Contamination des eaux souterraines	26
III .5. Rôle protecteur du sol.....	27
III .6. Eau et maladies	27

Partie expérimentale

Chapitre I : Présentation de la région d'étude

I .1. Situation géographique de la région de Toudja.....	31
I .1.1. Délimitation de la zone d'étude.....	31
I .1.2. Eau et savoir-faire à Toudja.....	31
I .2. Description de l'état initial du site et de son environnement.....	32
I .2.1. Les reliefs littoraux.....	32
I .2.2. Les reliefs montagneux de l'arrière-pays.....	33
I .3. Hydrographie.....	33
I .4. Géologie.....	34
I .5. Etude climatique.....	34
I .5.1. Les précipitations.....	34
I .5.2. Les températures.....	36
I .5.3. Les vents.....	36

Chapitre II : matériel et méthodes

II .1. Echantillonnage.....	37
II .1.1. Echantillons destinés aux analyses physico-chimiques.....	38
II .1.2. Echantillons destinés aux analyses bactériologiques.....	38
II .2. Transport des échantillons.....	38
II .3. Matériel et méthodes.....	38
II .4. Mesure des paramètres physico-chimiques.....	38
II .5. Analyse par spectrophotométrie d'adsorption atomique (SAA).....	45
II .5.1. Définition	45

II .5.2. Dosage de métaux par (SAA).....	46
II .6. Analyse bactériologique.....	46
II .6.1. Méthodes d'analyses bactériologiques.....	46
II .6.2. Principaux germes recherchés.....	47

Chapitre III : Résultats et discussions

III .1. Résultats et interprétations des analyses organoleptiques.....	50
III .1.1. Odeur.....	50
III .1.2. Couleur.....	50
III .1.3. Turbidité.....	50
III .2. Résultats et interprétations des analyses physico-chimiques.....	51
III .2.1. Potentiel Hydrogène (pH).....	51
III .2.2. Température.....	51
III .2.3. Conductivité.....	52
III .3. Résultats et interprétations de l'analyse de la minéralisation globale.....	53
III .3.1. Dureté Totale (TH).....	53
III .3.2. Dureté calcique.....	54
III .3.3. Dureté magnésienne.....	54
III .3.4. Sulfates (SO_4^{2-}).....	55
III .3.5. Ions chlorures.....	56
III .3.6. Ions Fer (Fe^{2+}).....	56
III .4. Résultats et interprétations de l'analyse des paramètres de pollution.....	57
III .4.1. Ammonium (NH_4^+).....	57
III .4.2. Les Nitrates (NO_3^-).....	58
III .4.3. L'ion nitrite (NO_2^-).....	58
III .5. Résultats et interprétations de l'analyse d'autres paramètres.....	59
III .5.1. Titre alcalimétrique (TA).....	59
III .5.2. Titre alcalimétrique complet (TAC).....	59
III .5.3. Résidus sec.....	60

III .6. Résultats et interprétation d'analyse des métaux lourds.....	61
III .6.1. Plomb (Pb).....	61
III .6.2. Nickel (Ni).....	61
III .7. Résultats et interprétations d'analyses bactériologiques.....	62
III .7.1. Les Coliformes totaux et fécaux.....	62
III .7.2. Les Streptocoques fécaux.....	63
III .7.3. Les Germes totaux.....	63

Conclusion

Perspectives

Introduction

Introduction

Le thème de l'eau est l'un des plus importants en ce début du XXI^e siècle car, au fur et à mesure que la population de la terre augmente, la demande en eau s'accroît. Notamment, on constate de plus en plus de déséquilibre entre les quantités disponibles et la consommation par l'Homme (**ROUGIER et WACKERMANN, 2009**).

Les eaux douces, qui constituent une source potentielle d'approvisionnement en eau potable, particulièrement les eaux de sources, sont sujettes à une pollution domestique, agricole, et industrielle. Cette pollution est à l'origine d'une surconsommation et des effets néfastes sur la santé humaine, la diversité biologique et l'environnement (**DEFRANCECHI, 2001**).

Le contrôle de la qualité et la surveillance de la conformité des eaux de sources des régions à faible approvisionnement en eau potable, dont la presque totalité de l'eau de consommation provient des sources naturelles, est une activité fondamentale de prévention, il est même d'un intérêt stratégique pour la protection de la santé de la population consommatrice.

La pollution affecte la qualité des ressources en eau disponible et souvent hypothèque l'approvisionnement en eau potable dans la région kabyle, il est ainsi primordial de trouver des sources potable ou traitable pour la consommation humaine.

Notre présent travail a mis l'accent sur l'évaluation et la valorisation de quatre eaux de source du massif d'Arbalou de la région de Toudja (Wilaya de Bejaïa).

Au cours de notre étude, nous nous sommes basés sur le contrôle de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux des sources «THIMANITHINE, AIT SMAIL, EL AINSER ET SAMTA» afin d'évaluer leurs potabilité et leurs origines. Cependant ces différentes analyses nous permettrons de connaître l'impact indésirable sur la santé des villageois a court-terme et ou à long-terme, sachant que ces derniers consomment cette eau quotidiennement et depuis longtemps dans l'absence d'une étude complète qui permet d'évaluer la qualité de cette eau souterraine.

Cette étude est structurée en deux parties, une partie bibliographie scindée en trois chapitres, Le premier rappellera quelques généralités sur les eaux naturelles, le deuxième chapitre s'intéresse aux paramètres de qualité d'une eau potable et le troisième sera consacré à la pollution des eaux et impact sur la santé.

Introduction

Quant à la partie expérimentale, elle est subdivisée en trois chapitres, le premier est consacré à la présentation de la région d'étude, le deuxième est consacré à la présentation des matériels et méthodes utilisés, et le troisième a pour objet de l'évaluation, comparaison, l'interprétation et la discussion des résultats des principaux paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau.

Enfin, notre travail se termine par une conclusion et des perspectives à venir.

Partie

Bibliographique

Chapitre I
Généralités
sur les
eaux
naturelles

I.1. Eau sur terre

Nom féminin du latin aqua, l'eau est un corps incolore, inodore, insipide, liquide à la température ordinaire et composé d'hydrogène (H₂O). L'eau était considérée par les anciens comme l'un des quatre éléments de base avec le feu, l'air et la terre. Elle constitue un élément indispensable à la vie. Elle est le substrat fondamental des activités biologiques et le constituant le plus important des êtres vivants (70% de leurs poids en moyenne).

L'eau se rencontre dans l'écosphère sous trois états : solide, liquide et gazeux dépendant des conditions particulières de température et de pression. L'eau a des propriétés physico-chimiques assez particulières par rapport aux autres liquides car elle est un excellent solvant, elle solubilise de nombreux gaz, corps minéraux et organiques, ionise les électrolytes et disperse les colloïdales électro-chargés (**MICHARD. G, 2002**).

Le changement d'état de l'eau solide, liquide, et gazeux, permet sa circulation entre tous les réservoirs et son transfert par évaporation entre les océans et les continents (**SCHRIVER-MAZZUOLI, 2012**).

La majeure partie de l'eau (97%) est contenue dans les océans (Figure 1), et est salée, ce qui la rend inutilisable pour l'Homme. Les 3% d'eau douce restants ne sont toutefois pas entièrement disponibles pour l'Homme. En effet, environ 68,3% de celle-ci se présente à l'état solide dans les glaciers et 31,4% seulement se trouve à l'état liquide dans les nappes phréatiques, les lacs d'eau douce, les rivières et l'eau contenue dans la matière vivante...etc. Une faible proportion de ces 31,4% est sous forme de vapeur d'eau dans l'atmosphère (**ASSOULINE S. et ASSOULINE J., 2007**).

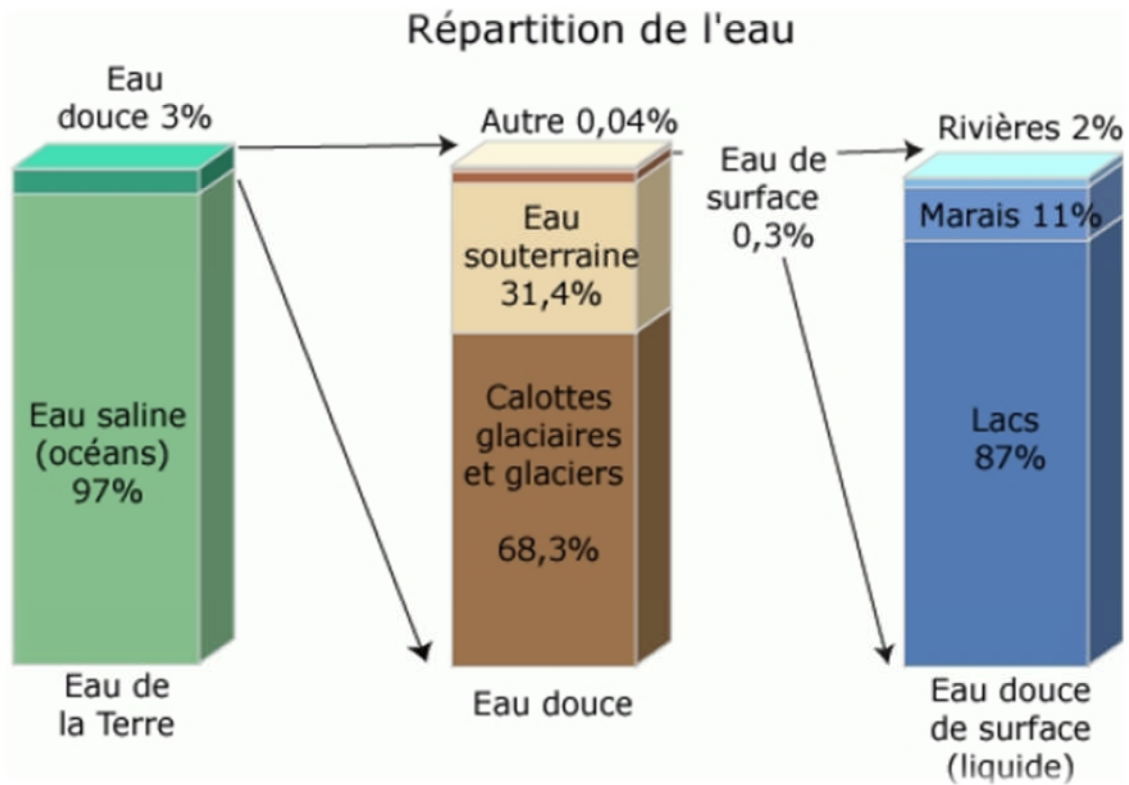


Figure (01) : Répartition de l'eau sur la terre (Observatoire Régional de l'Environnement, 2014).

I.2. Cycle de l'eau (cycle hydrologique)

Le cycle de l'eau on l'appelle aussi le cycle hydrologique mettant en jeu évaporation, précipitation et ruissellement par le cycle externe de l'eau, ceci par opposition au cycle interne de l'eau, qui correspond à l'infiltration de l'eau dans les pores et les fractures du manteau terrestre (SCHRIVER-MAZZUOLI, 2012).

En effet, le cycle de l'eau (figure 2) prit dans son ensemble, regroupe deux phases bien distinctes et bien couplées entre elles : le cycle de l'eau dans l'atmosphère et le cycle de l'eau dans le sol. La première phase, atmosphérique, est la partie la plus visible du cycle (nuages, précipitations...), elle est caractérisée par une circulation rapide de l'eau, essentiellement sous forme de vapeur (CHOISNEL, 1999).

Cette vapeur d'eau, qui est transportée sur les continents sous forme de pluie a l'originalité de ne déplacer que l'eau dans l'atmosphère. En effet, lors de l'évaporation la quasi-totalité des minéraux restent dans l'océan (seulement certains éléments volatils, tels que le mercure (Hg) ou des molécules organiques s'évaporent). Ceci conduit à une concentration des éléments minéraux dans l'eau de mer (ATTEIA, 2015).

Par contraste, la deuxième partie, qui est le cycle de l'eau dans le sol se passe essentiellement en phase liquide, elle est marquée par une vitesse de circulation de l'eau relativement lente (CHOISNEL, 1999).

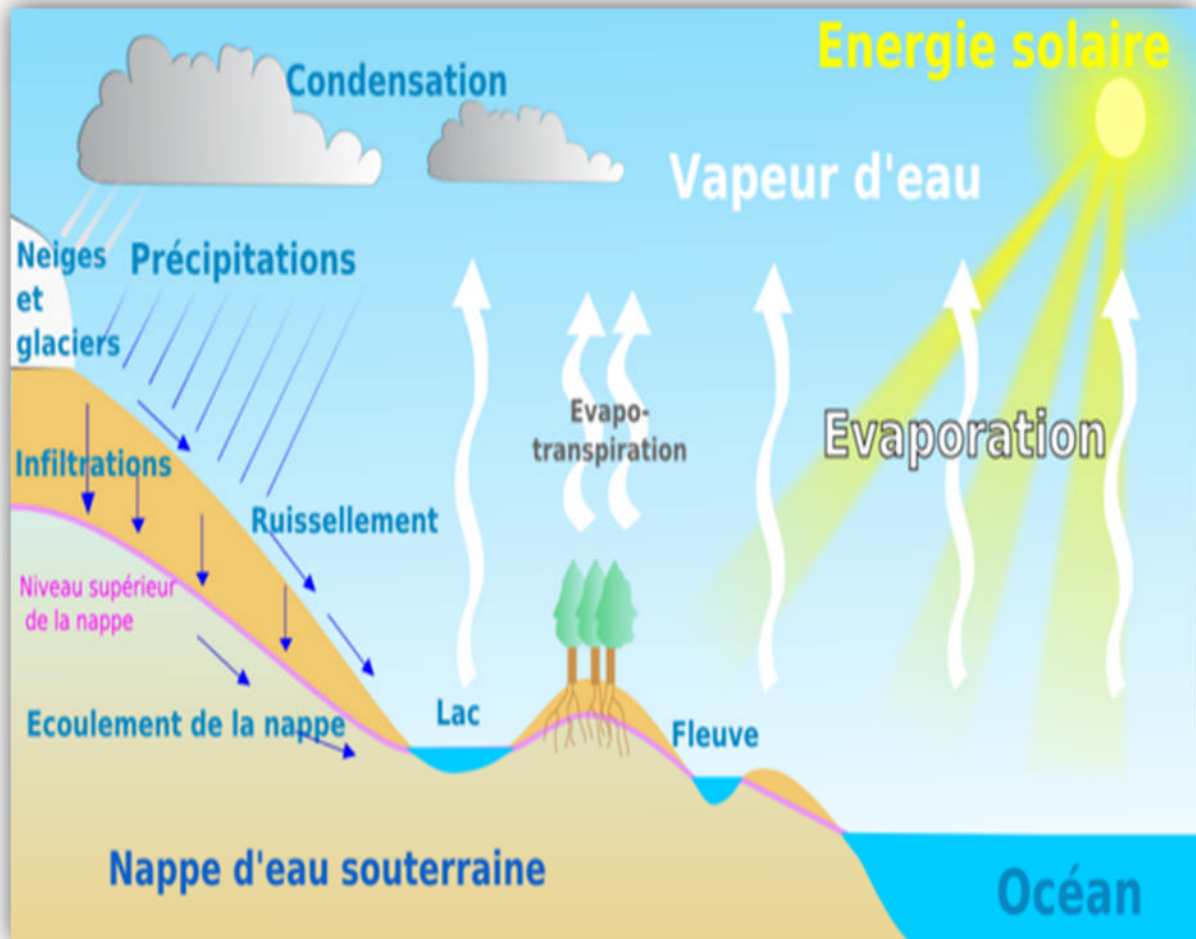


Figure (02): Cycle de l'eau (Site Internet 1).

I.3. Différentes sources d'approvisionnement en eau

Depuis l'Antiquité, l'Homme réalise des aménagements pour assurer l'alimentation en eau potable et des cultures. Il ira chercher cette eau dans des différents emplacements en utilisant plusieurs techniques.

I.3.1. Eaux de pluie

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles sont saturées en oxygène et en azote et ne contiennent aucun sel dissous, comme le sel de magnésium et de calcium ; elles sont donc très douces. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques. La distribution des

pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités utilisent cette source d'eau (**DESJARDINS, 1997**).

I.3.2. Eaux de surface

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines, dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement (**CHAUSSADE *et al*, 2005**).

Ces eaux sont constituées par des ruisseaux, rivières, fleuves, étangs, lacs, barrages réservoirs et glaciers. Bien qu'il semble s'agir de masses d'eau bien individualisées solides ou liquides, immobiles ou en mouvement, on ne doit pas oublier qu'elles se trouvent en contact étroit avec le sol d'un côté et avec l'atmosphère de l'autre côté (**VILAGINES, 2003**).

Les eaux de surfaces sont rarement potables sans aucun traitement. Elles sont toujours plus ou moins polluées par divers rejets d'origine :

- Urbaine provenant de la collecte des eaux résiduaires urbaines.
- Industrielle parmi lesquels on trouve les polluants organiques (hydrocarbures, solvants, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniacque, produits toxiques).
- Agricole comme les engrais, pesticides (herbicides, insecticides, fongicides).
- Bactériologique provenant des humaines et des animaux (**CHAUSSADE *et al*, 2005**).

I.3.3. Eaux de mer

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Elles sont caractérisées par leur concentration en sels dissous. La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33 000 à 37 000 mg/L (**DESJARDINS, 1997**).

I.3.4. Eaux souterraines

Les nappes souterraines sont contenues dans des terrains réservoirs appelés aquifères. La porosité et la structure du terrain déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine.

Une nappe peut être libre (ou phréatique si elle est suffisamment proche de la surface pour être accessible par puits). Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de pluie. Le niveau de cette nappe fluctue en fonction de la quantité d'eau retenue.

Un cas particulier est représenté par les nappes alluviales dans les terrains alluvionnaires sur lesquels circule un cours d'eau. La quantité de ces eaux est alors directement influencée par la qualité de l'eau de la rivière.

Une nappe peut être captive si elle est emprisonnée entre deux couches de terrains imperméables. Les nappes de ce type sont les plus fréquentes et généralement profondes ; elles sont dites artésiennes quand ce niveau se situe au-dessous de la surface du sol (CHAUSSADE *et al*, 2005).

L'eau provenant de précipitations s'infiltré dans le sol, circule verticalement jusqu'à la zone de saturation (nappe phréatique) et se déplace vers la zone naturelle de résurgence (les cours d'eau) situés en aval (MYRAND *et al*, 2003).

I.4. Caractéristiques générales des eaux souterraines

D'après Chaussade *et al* (2005), la nature géologique du terrain à une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau retenue. A tout instant, l'eau est en contact avec le sol dans lequel soit elle stagne soit elle circule : Il s'établit donc un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau. Les eaux circulant dans un sous-sol sablonneux ou granitique sont acides et peu minéralisées, celles circulant dans des sols calcaires sont bicarbonatées calciques.

Parmi les caractéristiques de ces eaux, il faut retenir une faible turbidité, une température et une composition chimique constantes, absence d'oxygène. Dans le cas de nappes en milieu fermé, principalement en circulation de type karstique, on peut cependant relever des variations brutales dans la composition de l'eau, avec apparition de turbidité et de pollutions diverses. Ces variations sont liées à celle du débit des nappes engendrées par les précipitations. En outre, ces eaux sont souvent d'une grande pureté bactériologique.

I.5. Normes de potabilité des eaux souterraines

Les eaux souterraines ont, pendant longtemps, été synonymes « d'eaux propres » et répondant naturellement aux normes de potabilité. Lorsqu'une nappe souterraine est polluée, il est très difficile de récupérer sa pureté originelle : les polluants ayant contaminé la nappe sont en effet non seulement présents dans l'eau, mais également fixés et adsorbés sur les roches et minéraux du sous-sol (CHAUSSADE *et al*, 2005).

I.6. Principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines

Chacun de ces deux types d'eau présente des caractéristiques spécifiques qui le différencient de l'autre type, et c'est ce qu'on veut mettre en évidence à travers le tableau I

qui récapitule l'ensemble de ces différences. On notera que les variances peuvent être physiques, chimiques ou microbiologiques.

Tableau I : Principales différences entre les eaux de surface et souterraines (CHAUSSADE *et al.* 2005).

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	variable suivant les saisons	relativement constante
Turbidité, MES	variable, parfois élevée	faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	liée surtout aux MES (argiles, algues...) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	liée surtout aux matières en solution (acides humiques) ou due à une précipitation (Fe-Mn)
Goûts et odeurs	Fréquents	rars (sauf H ₂ S)
Minéralisation globale (ou : salinité, TDS ...)	variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets ...	sensiblement constante ; en général, nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fe et Mn divalents (à l'état dissous)	généralement absents, sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation	généralement présents
CO₂ agressif	généralement absent	Souvent présent en grande Quantité
O₂ dissous	le plus souvent au voisinage de la saturation: absent dans le cas d'eaux très polluées	absent la plupart du temps
H₂S	généralement absent	souvent présent
NH₄	présent seulement dans les eaux polluées	présents fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	peu abondants en général	teneur parfois élevée
Silice	teneur en général modérée	teneur souvent élevée
Micropolluants minéraux et organiques	présents dans les eaux de pays industrialisés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Solvants chlorés	rarement présents	peuvent être présents (pollution de la nappe)
Caractère eutrophie	possible: accentué par les températures élevées	Non

MES : Matières En Suspension ; TDS : Solides Totaux Dissous.

I.6.1. Définition de MES :

Les Matières En Suspension désignent l'ensemble des matières solides insolubles présentes dans une eau (sables, argiles, matières organiques, débris en tous genres...).

Des teneurs élevées en MES peuvent provoquer la détérioration des ouvrages d'assainissement (obstruction des réseaux par la décantation, abrasion, dégradation des pompes ...). En cas de rejet au milieu naturel, elles peuvent troubler l'eau, diminuant ainsi le rayonnement lumineux indispensable pour une bonne croissance des végétaux au fond des cours d'eau (c'est la turbidité), diminuer l'oxygène dissous et ainsi limiter le développement de la vie aquatique. **(Service études travaux et exploitation réseaux,(reins métropole, 2014)**

I.6.2. Définition de TDS :

TDS signifie total des solides dissouts et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau incluent le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium qui sont tous des cations et des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates qui sont tous des anions. Des cations sont des ions chargés positivement et des anions sont des ions chargés négativement. Ces minéraux peuvent provenir des sources d'eau minérales contenus dans l'eau avec un taux élevé de solides dissouts parce qu'elles ont coulé à travers des régions où les roches contiennent beaucoup de sel. L'eau dans les prairies contient beaucoup de solides dissouts dus aux fortes quantités de calcium et magnésium dans le sol. Ces minéraux peuvent aussi provenir d'activités humaines **(ANONYME, 4)**.

I.7. Captage des eaux souterraines

I.7.1. Les sources

On utilise le plus souvent l'exutoire naturel qu'on dégage afin de saisir l'eau à la sortie de la formation. Il s'agit le plus souvent d'ouvrages de maçonnerie protégés des eaux de ruissellement par des drains superficiels ou des canaux de déviation des eaux **(VILAGINES, 2003)**.

Une source peut être définie comme l'apparition à la surface du sol de l'eau d'une nappe aquifère souterraine. Toute source est alimentée par une portion de la nappe aquifère qui lui a donnée naissance **(GOMELLA G. et al. 1974)**.

❖ Les différents types de sources

Les principaux types de sources sont les suivants :

A) Sources d'affleurement

Lorsque la couche imperméable inférieure d'une nappe aquifère affleure le sol d'une vallée, l'eau de cette nappe apparaît à la surface sous forme d'un chapelet de sources. Elles apparaissent surtout dans des terrains calcaires ou cristallins, les sources thermo minérales appartiennent à cette catégorie (**VILAGINES R., 2000**).

B) Sources de déversement

Ce type de sources se rencontre dans les terrains fissurés en surface, calcaires et surtout granites (le réseau de fissures vient rencontrer la surface du sol, avec une pente qui permet d'y conduire l'eau). Généralement leur débit est faible, pratiquement constant et peuvent facilement tarir. Aussi n'envisagera-t-on leur captage qu'en l'absence d'autres possibilités (**BONNIN J., 1982**).

C) Sources d'émergence

Bien que la couche perméable soit fissurée en direction de sol, on peut avoir un débit alimentant un trou d'eau, souvent envahi de végétation par une ou plusieurs fractures ou l'on peut voir l'eau bouillonner. Le débit localisé de ces sources est souvent important, leur risque de tarissement est inégal (**GOMELLA G. et GUERREE H., 1980**).

I.7.2. Captage par galeries

Selon **Salesse (2011)**, les galeries de captage émergentes sont des ouvrages dont la fonction est d'exploiter l'eau souterraine et de la ramener à la surface sans le secours d'un système de puisage consommateur d'énergie. Ce captage s'obtient en creusant à partir de la surface une galerie toujours montante, mais d'une pente inférieure à celle de la surface topographique.

I.7.3. Captage par drains

Ce sont des tuyaux en poterie présentant des orifices. Ils sont posés dans des tranchées et entourés de pierres et de graviers. Les tranchées sont ensuite comblées avec du sable, protégées par une couche d'argile, l'ensemble étant recouvert d'une couche de terre meuble. Leurs ramifications, de diamètre croissant, aboutissent à un tronc commun. Cette méthode est généralement utilisée pour l'exploitation de nappes peu profondes (**VILAGINES, 2003**).

I.7.4. Captage par puits

D'après **Vilagines (2003)**, ce sont les ouvrages de captage les plus répandus. Ils vont du simple puits individuel à des forages très profonds susceptibles de fournir de gros débits.

I.8. Adduction d'eau

L'adduction d'eau désigne l'ensemble des techniques permettant de transporter l'eau de sa source à son lieu de consommation. Elle est constituée :

- de la source (rivière, plan d'eau, nappe) à partir de laquelle on pompe l'eau ;
- du réseau de transport (canalisations) ;
- du stockage (bassin, château d'eau) ;
- du réseau de distribution qui amène l'eau aux consommateurs (robinet, fontaine, etc.).

Différents systèmes d'adduction sont utilisés : l'adduction par refoulement qui emploie un système de pompes pour créer une pression dans le réseau et l'adduction gravitaire qui utilise les différences d'altitude de l'eau (**SALESSE, 2011**).

I.9. Ressources en eau en Algérie

L'Algérie est un pays semi-aride, voire aride dont la pluviométrie moyenne annuelle varie de 200 à 400 mm. Les ressources en eau sont faibles, irrégulières et localisées dans la bande côtière. Les disponibilités en eau sont estimées à 17 milliards de m³/an dont 12 milliards de m³ dans les régions du Nord. Les ressources superficielles sont estimées à 15 milliards de m³ et celles souterraines à 2 milliards de m³ (**KETTAB, 2001**).

Selon **Kadi (1997)**, la gestion de l'eau en Algérie pose un problème épineux aux autorités. Les ressources disponibles sont en deçà des besoins. La vétusté des réseaux d'adduction et la capacité de stockage déficiente entravent la bonne distribution de l'eau aux consommateurs. La dotation journalière par habitant reste faible par rapport aux normes internationales.

Chapitre II

Paramètres

de qualité

d'une eau

potable

II.1. Définition de l'eau potable

L'OMS définit l'eau potable comme étant celle dont la consommation est sans danger pour la santé. Pour que l'eau soit qualifiée de potable, elle doit satisfaire à des normes relatives aux paramètres organoleptiques, physico-chimiques, microbiologiques et à des substances indésirables et toxiques. Pour chaque paramètre, des valeurs limites à ne pas dépasser sont établies. Le fait qu'une eau soit potable ne signifie pas qu'elle soit exempt d'agents pathogènes mais que leur teneur a été jugée insuffisante pour déclencher une maladie.

II.2. Paramètres globaux de la qualité des eaux

L'eau destinée à la consommation humaine doit répondre aux règlements généraux d'hygiène et à toutes les mesures propres pour préserver la santé de l'homme.

II.2.1. Caractères organoleptiques

Ces différents caractères doivent être appréciés au moment du prélèvement : certaines odeurs peuvent, par exemple, disparaître pendant le transport, ou l'aspect de l'échantillon se modifier au cours du stockage (apparition d'une coloration, de précipités, etc.).

II.2.1.1. Couleur

Une eau potable ne doit pas présenter de couleur. Cependant, la coloration de celle-ci est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration (**RODIER *et al*, 2009**).

La couleur des eaux souterraines est due, généralement, à des substances colorées d'origines variées :

- Des Substances humiques ou fulviques provenant de la décomposition de la matière végétale
- D'algues pouvant donner une coloration variable en fonction des pigments qu'elles contiennent ;
- Des Substances minérales, en particulier le fer et le manganèse, dont les formes précipitées sont colorées (**REJSEK, 2002**).

II.2.1.2. Odeur et saveur

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont

en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire. Le sens olfactif peut seul, parfois, le déceler (**RODIER et al, 2009**).

La saveur d'une eau est due à la combinaison de nombreux facteurs, parmi lesquels interviennent la minéralisation de l'eau (sels minéraux qui donnent des goûts particuliers à l'eau), les matières organiques dissoutes provenant de la décomposition des matières organiques végétales et des résidus agricoles, et les métabolites de certains micro-organismes vivants dans l'eau (**REJSEK, 2002**).

II.2.1.3. Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence de particules en suspension notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques ...etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace.

Les eaux souterraines qui subissent la filtration par le sol ont une turbidité faible (**RODIER et al, 2009**).

II.2.2. Paramètres physico-chimiques

L'eau est un produit alimentaire qui a une composition et des caractéristiques qui sont objet de certaines modifications qui peuvent parvenir au cours de transport et de stockage.

II.2.2.1. Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH. De plus, la vitesse des réactions chimiques et biochimiques varie en fonction de la température de l'eau (**RODIER et al, 2009**).

II.2.2.2. pH

Le pH est lié à tous les paramètres de qualité de l'eau. En effet, il constitue un paramètre important car non seulement il contrôle la corrosion mais montre aussi la stabilité de l'eau (**MAIGA, 2005**). Son importance est aussi mise en évidence au cours du traitement de l'eau, en particulier lors de la désinfection par le chlore (**REJSEK, 2002**).

Selon le même auteur, le pH sert à quantifier la concentration en ions H^+ de l'eau qui lui confère son caractère acide ou basique. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés et varie habituellement entre 7,2 et 7,6. Les eaux très calcaires ont un pH

élevé et celles provenant des terrains pauvres en calcaire ou siliceux ont un pH de l'ordre de 7 et parfois un peu inférieur.

Ce paramètre est également important dans la détermination de l'équilibre calcocarbonique. Une baisse de pH est due à la chloration par du chlore gazeux, ce qui rend l'eau agressive. Cette agressivité peut conduire notamment à la mise en solution de certains éléments absorbés sur les matières en suspension. De plus, l'eau agressive est à l'origine de la dégradation de sa qualité durant son transfert dans les canalisations, redissolution des dépôts protecteurs, corrosion etc (VILAGINES, 2003).

II.2.2.3. Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogènes (H^+) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-). La norme ISO 9963 définit différents types d'alcalinités :

- Titre Alcalimétrique Complet (TAC) : correspondant à l'alcalinité totale au pH de 4,5, ce qui revient à déterminer les ions HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- .
- Titre Alcalimétrique simple (TA) (alcalinité composite) : elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{2-} . Cette alcalinité est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égale à 8,3 (REJSEK, 2002).

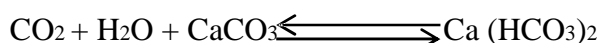
➤ Intérêt de la détermination de l'alcalinité

C'est un paramètre très important pour l'eau distribuée dans les canalisations du fait de son action sur celle-ci. En effet, le TAC ne doit pas être considéré seul mais doit être pris en compte dans un ensemble de paramètres tels que la minéralisation, le pH, la température et la dureté de l'eau. Cette ensemble de paramètres permet de définir le caractère de l'eau par rapport à l'équilibre calco-carbonique (REJSEK, 2002).

II.2.2.4. Equilibre calco-carbonique

En considérant une eau contenant du CO_2 et mise en contact avec du carbonate de calcium ($CaCO_3$) solide en excès, ce dernier est attaqué par le CO_2 .

Au bout d'un certain temps, un équilibre physico-chimique se produit alors qu'il reste encore du $CaCO_3$ solide et du CO_2 dissous. La réaction prépondérante est la suivante:



Il existe donc un équilibre de saturation du $CaCO_3$ et un pH de saturation du $CaCO_3$ puisque le pH dépend du rapport : CO_2 libre / CO_2 des hydrogénocarbonates. Si la totalité d'anhydride carbonique contenue dans une eau est supérieure à la dose d'anhydride carbonique agressif, ce dernier, en détruisant les carbonates, empêche le dépôt carbonaté protecteur sur les parois métalliques en contact avec les eaux (RODIER *et al*, 2009).

Ont situé le problème de façon suivante:

CO₂ libre > CO₂ équilibrant = présence de CO₂ agressif = eau agressive.

CO₂ libre = CO₂ équilibrant = absence de CO₂ agressif = eau en équilibre.

CO₂ libre < CO₂ équilibrant = déficit en CO₂ équilibrant = eau incrustante.

II.2.2.5. Dureté

La dureté d'une eau exprime l'aptitude de cette dernière à réagir et à faire mousser du savon. A l'heure actuelle, on appelle dureté ou titre hydrotimétrique (TH) la somme des cations alcalino-terreux présents dans une eau. En pratique, on ne considère que les cations dont les concentrations sont supérieures à 1 mg. L⁻¹, c'est le cas des ions calcium et magnésium. Ces ions sont présents dans l'eau sous forme de sels de chlorure, de sulfate ou d'hydrogencarbonate. En fonction de la valeur du TH, **REJSEK (2002)** a déterminé le caractère de dureté de l'eau :

- entre 00 et 10 °F : eau très douce ;
- entre 10 et 20 °F : eau moyennement douce ;
- entre 20 et 30 °F : eau dure ;
- supérieur à 30 °F : eau très dure.

Selon le même auteur, les sels de calcium se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles. La teneur est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par l'eau et peut varier de 1 à 150 mg/l. Dans les régions à substrat acide, on trouve des valeurs faibles, de l'ordre de 2 à 8 mg/l. En pays calcaires, les concentrations se situent entre 70 et 120mg/l.

$$1^{\circ}\text{F} = 10 \text{ mg CaCO}_3/\text{l} = 0,2 \text{ mEq/l}$$

Remarque : Une eau est qualifiée de dure lorsqu'elle contient beaucoup d'ions calcium (Ca²⁺) ou d'ions magnésium (Mg²⁺)

Une eau dure présente différents inconvénients :

- Elle mousse difficilement et demande donc beaucoup de savon pour les opérations de lavage.
- Elle entartre les circuits d'eau chaude par dépôt de calcaire (carbonate de calcium)

Mais elle peut aussi présenter quelques avantages :

- Elle est riche en minéraux et apporte donc à l'organisme le calcium et le magnésium qui lui sont nécessaire (**REJSEK, 2002**).

II.2.2.6. Conductivité électrique

La conductivité est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle dépend de la nature des ions dissous et de leurs concentrations. La température et la viscosité influent également sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité.

La conductivité s'exprime en Siemens par mètre et elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en Ohm par mètre.

La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau et de suivre son évolution. Le tableau III donne une relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux naturelles.

Tableau II : Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée (REJSEK, 2002).

Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation de l'eau
< 100	Très faible
Entre 100 et 200	Faible
Entre 200 et 333	Moyenne
Entre 333 et 666	Moyenne accentuée
Entre 666 et 1000	Importante
>1000	Elevée

II.2.2.7. Chlorures

Les chlorures sont très répandus dans la nature, généralement sous forme de NaCl, KCl ou CaCl₂.

Les teneurs rencontrées dans les eaux naturelles sont généralement de 10 à 20 mg/l mais peuvent atteindre des valeurs plus importantes au contact de certaines formations géologiques (REJSEK, 2002).

Une concentration élevée en chlorures affecte le goût de l'eau et accélère la corrosion des métaux dans le réseau en fonction de l'alcalinité de l'eau. Cela peut entraîner une augmentation de la concentration de certains métaux dans cette dernière (MAIGA, 2005).

II.2.2.8. Matière en suspension

Les solides en suspension sont constitués par la matière en suspension dans l'eau. Ils proviennent des sources naturelles, d'effluents municipaux et industriels, du lessivage des terres agricoles et des retombées de matières particulaires atmosphériques. On distingue les matières décantables, qui se séparent de l'eau par gravité, des matières colloïdales séparées par coagulation. Les matières en suspension limitent la pénétration de la lumière dans l'eau,

diminuent la teneur en oxygène dissous en freinant les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à la ré-aération de l'eau (ETCHEBER *et al*, 2011).

II.2.2.9. Minéralisation globale

Les eaux très minéralisées, du fait de leur teneur en sodium, en calcium, en magnésium, en chlorures, en sulfates et en hydrogénocarbonates, semblent bien contribuer à l'homéostasie de l'Homme et surtout de l'enfant. Cependant, elles peuvent poser des problèmes endocriniens très complexes (RODIER *et al*, 2005).

➤ Calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+})

Le calcium et le magnésium sont des éléments très fréquents. Le calcium est le cinquième élément naturel le plus abondant et le magnésium, le huitième. Ces deux éléments sont présents dans toutes les eaux naturelles.

En ce qui concerne l'eau souterraine, la source la plus fréquente de calcium et de magnésium est l'érosion des roches, comme le calcaire et la dolomite, et des minéraux comme la calcite et la magnésite. Ces deux éléments possèdent des objectifs d'ordre esthétique. Les paramètres esthétiques peuvent modifier le goût, l'odeur ou la couleur de l'eau. Une eau dure ne pose pas de risques pour la santé aux concentrations normalement présentes dans l'eau mais elle peut toutefois endommager la plomberie et les appareils ménagers (ANONYME 1, 2009). Le manque de calcium est l'une des principales causes de l'ostéoporose. Cependant, la consommation abusive de calcium (plus de 2,5 g/jour) sans avis médical peut conduire au développement des caillots rénaux, de scléroses rénales et à des problèmes au niveau des vaisseaux sanguins (MAIGA, 2005).

➤ Sodium (Na^+)

Cet élément est originaire de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation. Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau (COUTURE, 2004).

Le sodium est nécessaire à l'homme pour maintenir l'équilibre hydrique de l'organisme et il est également important pour le fonctionnement des muscles et des nerfs. Cependant, trop de sodium peut endommager les reins et augmenter les risques d'hypertension artérielle (ANONYME 2, 2004).

➤ Potassium (K^+)

Le potassium est généralement peu concentré dans les eaux naturelles. Dans les eaux souterraines, sa concentration ne dépasse généralement pas 10 mg/l. De plus fortes teneurs

peuvent, cependant, être observées dans des eaux ayant traversé des formations évaporitiques (CHERY, 2006).

Le potassium joue un rôle important dans le système hydrique de l'homme et il intervient dans les fonctions nerveuses. Toutefois, quand les reins fonctionnent mal, il y a une accumulation de potassium, ce qui peut entraîner une perturbation des battements du cœur (ANONYME 2, 2004).

➤ **Sulfate (SO₄²⁻)**

L'ion sulfate (SO₄²⁻) est la forme prédominante dans les eaux naturelles. Il est lié à l'oxydation des minéraux riches en soufre, principalement des sulfures primaires ou secondaires, ces minéraux sont présents dans tous les types de lithologie (calcaire, sables). La présence de sulfate dans l'eau est également liée à l'oxydation de sulfures dans les précipitations atmosphériques (phénomène des pluies acides). Lorsque le milieu est réducteur (nappe captive), le soufre est aussi représenté par sa forme réduite (H₂S). La teneur en sulfate est donc intimement liée aux propriétés redox du milieu. Les teneurs en sulfate des eaux sont variables mais ne dépassent pas le gramme par litre. Bien que des teneurs élevées en sulfate ne soient dangereuses, elles peuvent occasionner des troubles diarrhéiques notamment chez les enfants (CHERY, 2004).

II.2.3. Paramètres de Pollution organique

II.2.3.1. Nitrites (NO₂⁻)

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniaque et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque par le genre de *Nitrosomonas*, soit à la réduction des nitrates. Ils ne présentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates, soit d'origine industrielle, leur présence dans l'eau est donc rare et en faible quantité (RODIER *et al*, 2009).



Un excès de nitrites dans les eaux de boisson peut provoquer une hypotension chez les humains et une méthémoglobinémie chez les nourrissons (MAIGA, 2005).

II.2.3.2. Nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates sont issus de l'oxydation des nitrites (nitration) grâce aux bactéries du genre *Nitrobacter*.



Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote et ils se trouvent naturellement dans les eaux souterraines (**RODIER et al, 2009**). Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg/l dans les eaux superficielles et quelques milligrammes par litre dans les eaux souterraines. Pour l'organisme humain, ils ne sont pas toxiques directement (sauf à des doses élevées de plusieurs dizaines de grammes) mais leur réduction en nitrites peut provoquer les mêmes troubles que ceux-ci (**REJSEK, 2002**).

Les nitrates n'ont pas d'effets toxiques directs à faibles doses ; mais le fait qu'ils puissent conduire aux nitrites dans les conditions peu oxydantes leur confère une toxicité indirecte (**DOVONOU E.F, 2008**).

II.2.3.3. Phosphates (PO_3^{4-})

Selon **Maiga (2005)**, leur présence dans les eaux est liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. Des teneurs supérieures à 0,5 mg/l doivent constituer un indice de pollution.

Les phosphates contenus dans les eaux de surfaces ou des nappes peuvent être d'origine naturelle. Mais à l'heure actuelle leur présence dans les eaux est essentiellement due aux rejets industriels, domestiques ou agricoles (**POTELON et ZYSMAN, 1998**).

II.2.3.4. Azote ammoniacal

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux, et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique (**POTELON et ZYSMAN, 1998**).

L'ammonium n'a pas d'effet appréciable sur la santé du consommateur, mais sa présence dans les eaux est un indicateur de pollution. Dans les eaux profondes, sa présence peut également être due aux conditions réductrices régnant dans une nappe (**MAIGA, 2005**).

II.2.4. Paramètres indésirables

L'eau présente certains éléments dits indésirable (Tableau IV), qui devraient être prises en considération.

Tableau III : Les éléments indésirables des eaux potables.

Éléments indésirables	Origines	Effets	LM (µg/l)	Références
Aluminium (Al)	- roches, sols ; - industrielles : métallurgie, alumine et pétrochimique	encéphalopathies myocloniques chez les patients insuffisants rénaux.	200 µg/l	VILAGINES, 2003; CHERY, 2004.
Cuivre (Cu)	- industrielles : métallurgie, traitement de surface et galvanoplastie ; -corrosion des tuyaux.	- goût désagréable; - noircissement de certaines denrées alimentaires après cuisson - cirrhose.	2 mg/l	VILAGINES, 2003; CHERY, 2004 ; RODIER <i>et al</i>, 2005.
Fer (Fe)	- naturelle : eaux souterraines et roches sédimentaires ; - industrielle (minière et métallurgie) ; - lessivage des dépôts d'ordures.	- coloration rouge et goût métallique; - odeur de poisson pourri ; - obstruction des canalisations - taches de rouille (industrie textile ...).	200 µg/l	VILAGINES, 2003; CHERY, 2004.
Manganèse (Mn)	-naturelle (sols bruns, pyrite) ; -industrielle (verrière, teinturerie.	- goût désagréable; - formation d'une couche noire sur les canalisations.	50 µg/l	VILAGINES, 2003; CHERY, 2004 ; RODIER <i>et al</i>, 2005.

II.2.5. Paramètres de toxicité

II.2.5.1. Arsenic (As)

L'Arsenic est un métalloïde souvent rencontré dans les eaux souterraines à des concentrations supérieures aux normes européennes ou américaines (10µg/l). Certains auteurs considèrent qu'actuellement l'arsenic constitue le principal risque lié à l'ingestion d'eau au niveau mondial. Ceci justifie la baisse de la valeur de la concentration limite dans l'eau potable, de 50 à 10µg/l (**ATTEIA, 2005**).

Sa présence dans l'environnement et par voie de conséquence dans l'eau est à relier à un certain nombre de pollutions : rejets d'eaux résiduaires industrielles, combustion du charbon ou de déchets, dépôts de résidus industriels, utilisation d'engrais, phosphatés, d'herbicides, d'insecticides et de détergents (**RODIER, 2009**).

II.2.5.2. Cadmium (Cd)

Le cadmium est un des métaux les plus toxiques. Il n'a aucun effet bénéfique connu. Ce métal est présent en concentration de plusieurs dizaines de ppm dans les phosphates et dans certains calcaires. L'usage industriel du cadmium est assez limité. Dans certains cas les contaminations d'origine naturelle peuvent aussi conduire à un certain risque (**ATTEIA, 2005**).

II.2.5.3. Cyanures (CN)

Les cyanures sont présents dans les eaux sous différentes formes d'acide cyanhydrique Ou prussique, on peut les trouver sous forme d'ions cyanure, et de cyanure complexé (complexes de cyanure).

L'intoxication aiguë avec des quantités importantes de cyanures (100 mg en CN^-) a un caractère foudroyant (vertiges, pertes de connaissance, convulsions, cyanose, arrêt respiratoire). L'intoxication chronique se caractérise par l'asthénie, une perte de poids, des troubles digestifs, nerveux et cardiaques. Les cyanures retrouvés dans les eaux proviennent généralement des eaux résiduaires industrielles (**RODIER, 2009**).

II.2.5.4. Chrome (Cr)

Le chrome présente un comportement original. En effet, à pH neutre, il est présent sous forme d'anion (chromate et bichromate) en milieu aérobie alors qu'il précipite en milieu anaérobie. Par ailleurs le Cr_{VI} est environ 100 fois plus toxique que le Cr_{III} . Il conviendra donc d'être particulièrement attentif aux réactions d'oxydation dans les eaux contaminées par du chrome (**ATTEIA, 2005**).

II.2.5.5. Mercure (Hg)

Pratiquement, le mercure peut se trouver dans l'eau, fixé sur les matières en suspension et/ou à l'état dissous, sous forme de composés organiques et/ou à l'état minéral (**RODIER, 2009**).

II.2.5.6. Nickel (Ni)

Selon **Rodier (2009)**, le fait que le nickel ne soit généralement pas retrouvé dans les eaux souterraines ou en quantités très faibles indique que la présence de ce métal est

principalement liée aux activités humaines. Les quantités retrouvées dans les eaux de surface varient de quelques microgrammes à 100 µg/L.

II.2.5.7. Plomb (Pb)

Constituant naturel de l'écorce terrestre, il est largement distribué, il se trouve dans de nombreux minéraux. Néanmoins, la corrosion des canalisations en plomb peut conduire à des niveaux beaucoup plus élevés, il est reconnu que le temps de contact entre l'eau et les tuyauteries en plomb joue un rôle essentiel sur les teneurs observées en distribution (POTELON *et* ZYSMAN, 1998).

II.2.5.8. Sélénium (Se)

L'état de valence du sélénium retrouvé dans les eaux est mal connu ; il est fonction de son origine, celle-ci pouvant être liée au lessivage naturel des sols ou à des rejets industriels (sélénates, sélénites, séléniures...) ; par ailleurs, il existe aussi des composés organiques tels que les acides séléno-aminés, le diméthyle sélénium, le tri méthyl sélénium (RODIER *et al*, 2009).

II.2.6. Paramètres bactériologiques

II.2.6.1. Les germes aérobies revivifiables

Selon la norme NF EN ISO 6222 (1986), les germes revivifiables, nommés également mésophiles aérobies sont toute bactérie aérobie, levure ou moisissure, capable de former des colonies dans le milieu de culture gélosé (incorporation) ou à la surface de ce milieu à $22 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 68 ± 4 heures, et à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 44 ± 4 heures.

Parmi les bactéries cultivant sur gélose dans les conditions décrites, on peut distinguer deux catégories fondamentales sur le plan d'hygiène:

- les germes saprophytes, qui se développent à 22°C ;
- les germes pathogènes, qui se multiplient à 37°C .

Cette distinction provient du fait évident qu'à 22°C , on favorise le développement des germes spécifiques de l'eau, et qu'à 37°C (température du corps humain) on sélectionne les micro-organismes provenant de l'homme ou des animaux à sang chaud, de leurs sécrétions, de leurs flores naturelles et en particulier des matières fécales (HASLAY *et* LECLERC, 1993).

II.2.6.2. Les coliformes

Les coliformes sont intéressants car un très grand nombre d'entre eux vivent dans le tube digestif de l'homme et des animaux à sang chaud où ils représentent moins de 10% des micro-organismes. Dans l'eau, ils perdent leur viabilité plus lentement que la majorité des bactéries pathogènes intestinales et constituent donc un indicateur de contamination fécale de

l'eau de première importance. De plus, leur résistance aux agents désinfectants, notamment au chlore, est voisine de la résistance des bactéries pathogènes ; ils vont donc constituer de bons indicateurs d'efficacité de traitement (**REJSEK, 2002**).

II.2.6.3. Les Salmonella

Les salmonelles sont en général considérées comme pathogènes bien que leur virulence et leur pathogénèse varient énormément : fièvres typhoïdes, salmonelloses systémiques, gastro-entérites, toxi-infections alimentaires.

Les hôtes naturels des salmonelles sont la population humaine, les animaux domestiques, les volailles et le bétail ainsi que les animaux sauvages, y compris les oiseaux communs. Humains et animaux peuvent éliminer dans les selles des salmonelles non seulement en cas de maladie mais aussi en tant que porteurs asymptomatiques.

Les salmonelles peuvent donc être présentes dans l'eau des égouts agricoles et domestiques, les eaux douces, y compris les eaux potables et les nappes phréatiques, ainsi que l'eau de mer (**RODIER et al, 2009**).

II.2.6.4. Clostridium Sulfito-réductrice

Ce sont des bactéries strictes, formant des spores de grande résistance, Sulfito-réductrices.

Clostridium Sulfito-réducteurs est depuis longtemps recherché dans les eaux comme témoin de pollution fécale en tant que seule trace subsistant d'une contamination ancienne. Cette signification s'est étendue à tout le groupe mais provoque des réserves de plus en plus nombreuses. Il serait nécessaire d'identifier les Clostridium Sulfito-réducteurs pour envisager une possibilité de contamination fécale, mais sa présence n'est pas une preuve : C'est aussi un germe tellurique (**M.ROUX, 1989**).

II.2.6.5. Streptocoques fécaux

Anciennement la législation parlait de « streptocoques fécaux ». Sous cette dénomination générale, il faut entendre l'ensemble des streptocoques possédant la substance (acide teichoïque) antigénique caractéristique du groupe D de Lancefield. Ces streptocoques du groupe D sont généralement pris globalement en compte comme des témoins de pollution fécale, car tous ont un habitat fécal. On dit maintenant recherche des entérocoques intestinaux (**RODIER et al, 2009**).

Les dénombrements des entérocoques présumés sont rarement effectués indépendamment des dénombrements de coliformes et coliformes thermo-tolérants présumés. Les méthodes sont analogues pour ces deux types d'indicateurs et seuls les milieux diffèrent.

La norme ISO 7899-2 définit précisément les entérocoques comme étant des bactéries Gram positif, sphériques à ovoïdes, formant des chaînettes, non sporulés, catalase négative, cultivant en anaérobiose à 44°C, pH 9,6 et capable d'hydrolyser l'esculine en présence de 40% de bile. **(REJSEK, 2002)**.

Certains entérocoques peuvent se transformer en germes initiateurs de plusieurs maladies tel que les angines, les otites, les méningites et d'autres toutes aussi sérieuses **(ANONYME 3)**.

II.2.6.6. Les Virus

Les virus sont des micro-organismes infiniment plus petits et plus résistants dans l'eau. Ce sont des micro-organismes qui ont un métabolisme spécifique, ils ne peuvent se multiplier qu'à l'intérieur d'une cellule vivante. Leur présence dans l'eau est liée à une élimination humaine, par les selles, plus rarement par les urines ou les excréctions nasopharyngées. L'élimination peut être très importante, ainsi au cours d'une poliomyélite, un seul cas peut éliminer quotidiennement 10^4 à 10^5 virions par gramme de selles **(BOUZIANI, 2000)**.

Parmi les virus responsables de maladies hydriques, on distingue :

- Les poliovirus sauvages : responsables de poliomyélite (une grave maladie infectieuse paralysante)
- Les virus des hépatites infectieuses (type A, E..) sont des virus fréquemment retrouvés chez l'homme, à l'état de malade ou de porteur sain, ils sont dotés d'une grande résistance.
- Les Adénovirus et l'influenza sont des virus présents dans le mucus nasal, mais qui peuvent être transmis accidentellement par les eaux de baignade **(BOUZIANI, 2000)**.

Chapitre III

Pollution des

eaux et

impact sur la

santé

III.1. Définition de la pollution d'une eau

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et/ou perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux souterraines et/ou les eaux superficielles.

D'après **Gaujous (1995)**, la notion d'altération du milieu est fondamentale. En effet, un rejet ne sera par définition polluant que s'il amène une altération c'est-à-dire une dégradation. Le problème se posera dès qu'un rejet aura un effet sur la qualité de l'eau ; si cet effet a des conséquences jugées négatives, il s'agira d'une pollution.

III.2. Principales sources de pollution

La pollution de l'eau souterraine est provoquée par quatre grandes sources de pollution: domestique et urbaine, agricole, industrielle et naturelle, dont l'eau est le véhicule de transport et de dissémination idéal (**CASTANY, 1982**).

III.2.1. D'origine domestique et urbaine

Ce sont les rejets d'eaux usées domestiques et municipales (lavage des rues, arrosages). Les eaux utilisées pour la climatisation des immeubles et les dépôts d'ordures ménagères apportent également leur lot de charge polluante (**CASTANY, 1982**).

Selon **Gaujous (1995)**, la pollution domestique se caractérise par des germes fécaux, de fortes teneurs en matières organiques, des sels minéraux (azote, phosphore) et des détergents.

III.2.2. D'origine agricole

Provenant des fermes ou des cultures, les pollutions agricoles sont causées principalement par l'utilisation irrationnelle d'engrais chimiques et de pesticides. Mais ce sont surtout les pratiques de cultures modernes qui en sont la cause (**CASTANY, 1982**).

La pollution agricole se caractérise par la présence de fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore, potassium) provenant des engrais, des purins et des lisiers (élevage) et de produits chimiques (pesticides, herbicides...) (**GAUJOUS, 1995**).

III.2.3. D'origine industrielle

Provenant des usines, elle est caractérisée par une grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau. Tous les produits ou sous-produits de l'activité humaine se retrouvent ainsi dans cette dernière, citons :

- les matières organiques et graisses (industries agro-alimentaires, équarrissages...).
- les hydrocarbures (raffineries).

- les métaux (traitement de surface, métallurgie).
 - les acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...).
 - l'eau chaude (circuits de refroidissement des centrales thermiques) ;
 - les matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs)
- (GAUJOUS, 1995).**

III.2.4. D'origine naturelle

Certains auteurs considèrent que divers phénomènes naturels sont aussi à l'origine de pollution; exemple, une éruption volcanique, un épanchement sous-marin d'hydrocarbures, le contact avec des filons géologiques (métaux, arsenic), une source thermo minérale etc. **(GAUJOUS, 1995).**

III.3. Composés polluants

On entend par substances polluantes pour l'eau celles qui rendent l'eau impropre ou qui changent de manière négative d'autres propriétés de l'eau. Parmi ces composés, à côté des substances biologiquement dégradables comme les substances nutritives, on compte aussi de nombreux polluants difficilement ou non dégradables, par exemple ceux qui contiennent des huiles minérales, des résidus des pesticides, des métaux lourds ou des hydrocarbures halogénés.

Dans le cas idéal, les déchets organiques se décomposent selon un procédé d'autoépuration biologique jusqu'à la minéralisation complète ; ils se transforment donc exclusivement en substances inorganiques. Souvent de telle transformation ne vont pas jusqu'à leur terme, et ils se forment des résidus organiques, qui ne sont pas dégradés ou qui ne le sont alors que lentement **(BLIEFERT C. et PERRAUD R., 2001).**

III.4. Contamination des eaux souterraines

Les eaux souterraines, longtemps considérées comme pures et protégées par le sol contre les diverses activités humaines, sont de nos jours souvent touchées par l'infiltration de multiples polluants à haut risques dont les plus répandus sont : les nitrates et les pesticides **(BOUZIANI, 2000).**

La pollution des eaux souterraines issue des sources domestiques, agricoles, et industrielles est en augmentation, il s'agit de rejets directs (effluents) ou indirects (à partir des engrais et des pesticides) ainsi que du lixiviat provenant des déchets, les sources diffuses ont une incidence croissante **(BORDET, 2007).**

III.5. Rôle protecteur du sol

Le sol joue un rôle déterminant dans le devenir des produits phytosanitaires dans l'environnement, ainsi que dans la protection des milieux aquatiques des surfaces et souterraines (GRASCLAUD, 1999).

L'action épuratrice est donc due à la nature même du sol ainsi qu'au rôle joué par les végétaux et les micro-organismes qui lui sont associés (BILLAULT, 1989).

III.6. Eau et maladies

Les effets de l'eau sur la santé de l'homme ont été perçus depuis l'antiquité, mais ce n'est que durant le siècle dernier que le rôle de certains micro-organismes présent dans l'eau a été démontré dans l'apparition des affections hydriques. L'organisation mondiale de la santé, estime que plus d'un milliard de personnes n'ont pas un approvisionnement en eau saine. Les maladies liées à l'eau sont de plus en plus répandues, et elles présentent des variations considérables sur le plan de leur nature et de leur mode de transmission.

On peut les répartir en trois catégories, on trouve en premier les maladies à transmission hydriques « MTH » causées par les micro-organismes fécaux-oraux et les substances toxique ; Ensuite les maladies à support hydrique dues aux organismes aquatiques ; et en dernier les maladies transmises par les nombreux vecteurs vivants sur l'eau (moustique, mouche et tsétsé) dont les plus graves affections sont représentées par le paludisme et la fièvre jaune.

Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites, les champignons, les algues, et les insectes, etc. (BOUZIANI, 2000).

III.6.1. Maladies d'origine bactérienne

La présence de certaines bactéries en un nombre défini peut engendrer des maladies (Tableau V), dont les conséquences sur la santé de consommateur peuvent varier selon l'espèce et la charge microbienne.

Tableau IV : Principales maladies d'origine bactérienne.

Maladies	Agents responsables	Manifestations	Contaminations	Références
Choléra	Vibrio cholerae	-diarrhées -vomissements ; -douleurs épigastriques ; -anurie ; -crampes musculaires.	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales.	VILLAGINES, 2003
Fièvre typhoïde et Paratyphoïde	Salmonella typhi et Salmonella paratyphi A	-fièvre ; Céphalées ; -diarrhées ; -douleurs abdominales ; -hémorragies intestinales ; -collapsus cardiovasculaire ; Atteintes hépatiques, respiratoires et neurologiques.	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales.	VILLAGINES, 2003

III.6.2. Maladies d'origine virale

La détection des virus dans les milieux hydriques environnementaux se heurte principalement à deux problématiques complexes :

A / Une fois excrétées dans le milieu hydrique, les particules virales se retrouvent diluées et donc en faible concentration. Le plus souvent ces particules sont associées aux matières en suspensions, la mise en évidence des particules virales dans ces différents milieux devra donc impérativement tenir compte de cette faible concentration. C'est pourquoi il est nécessaire de procéder à une concentration de l'échantillon.

B / Il faut utiliser une technique de mise en évidence des particules virales appropriée aux virus recherchés. En effet il existe un grand nombre de virus différents susceptibles d'être pathogènes pour l'homme (Entérovirus, norovirus, virus hépatiques...). De plus dans le milieu hydrique, les virus sont soumis à l'action de différents facteurs naturels physiques

(température, rayonnement ultra-violet, adsorption...), chimiques (pH, Force ionique...), biologiques (micro-organismes, Métabolites microbiens...) qui pourront accélérer ou diminuer l'inactivation des particules virales mais également interférer avec la méthode de détection (RODIER *et al*, 2009).

Tableau V : principales maladies d'origine virale.

Maladies	Agents infectieux	Manifestations	Contamination	Références
Hépatite Infectieuse	Virus de l'hépatite A	- fièvre ; - sensation de malaise; - perte d'appétit ; - diarrhées ; -urines foncées.	voie digestive	OMS, 2008 ;
Gastroentérites Virales	Rotavirus, Virus de Norwalk et Astrovirus	- nausées ; -vomissement ; -douleurs abdominale ; - diarrhées; - fièvre.	voie digestive	SCHWARTZBROD , 2000

III.6.3. Maladies d'origine parasitaire

L'eau constitue le réceptacle de certains parasites qui peuvent provoquer un ensemble de maladies comme il est indiqué dans le tableau VII.

Tableau VI : principales maladies d'origine parasitaire.

Maladies	Agent Infectieux	Manifestations	Contamination	Références
Giardiase	Giardia intestinalis anciennement Giardia Lamblia	-crampes d'estomac -ballonnement ; - flatulences ; - perte de poids ; - fatigue.	ingestion des kystes	VILLAGINE, 2003
Dysenterie Amibienne	Entamoeba Histolytica	- crampes ; -diarrhée mucosanglante.	ingestion des kystes	ADL, 2006

Partie Expérimentale

Chapitre I

Présentation
de la région
d'étude

I.1.Situation géographique de la région de Toudja

I.1.1. Délimitation de la zone d'étude

La commune de Toudja est située dans la partie Nord centre du territoire de la wilaya de Bejaia, et s'étend sur une superficie de 167,13 Km². Elle fait partie de la daïra d'El Kseur, et est limitée administrativement, figure(), au Nord, par la mer méditerranée, Au Sud, par la commune d'El Kseur, Au Sud-Est, par la commune d'oued Ghir, A l'Est, par la commune de Bejaia, A l'Ouest, par la commune de Beni Ksila.(B.E.A.E. Bejaia).



Figure (03) : Situation géographique de la commune de Toudja dans la Wilaya de Bejaia. (Site internet 1).

D'après le recensement général (RGPH 2012), la Commune de Toudja compte environ 13000 habitants, soit une densité moyenne de 77 habitants /Km².

I.1.2. Eau et savoir-faire a Toudja

Réputée pour sa production agricole (blé, orge, olives, miel), elle est célèbre pour ses arbres fruitiers (en particulier pour ses oranges). A l'époque médiévale, elle produisait la cire d'abeille qui a permis la fabrication des petites chandelles, exportées partout en Europe.

L'eau de Toudja offre ses qualités millénaires : exceptionnelle richesse en minéraux et oligo-élément et sa légèreté naturelle d'eau de montagne. Elle est actuellement exploitée par l'entreprise EPEST Toudja. Cette dernière emploie 90 travailleurs et produit 70000 bt/j d'eau minérale naturelle et 96000 bt/j d'eau gazéifiée. (**Association GEHIMAB**)

I.2. Description de l'état initial du site et de son environnement

Le territoire de la commune de Toudja est inscrit dans une partie Nord-Est de la wilaya de Bejaia, dans le domaine de la marge littorale et le prolongement nature de la chaîne montagneuse de Djurdjura.

Notons aussi que le territoire de cette commune présente généralement un relief accidenté et raviné par un réseau hydrographique important parcourant des terrains de faibles à moyennes potentialités agricoles.

C'est une zone montagneuse insérée entre la mer au Nord et la vallée de la Soummam au Sud. En effet, les points culminants dans ces reliefs sont représentés par les Djebels d'Arbalou (1353m), d'Ifri ou Erzem (1219m) et d'Ibarissene (1126m). (**B.E.A.E. Bejaia**).

L'analyse des reliefs proposés dans ce travail est basée sur l'examen des principaux ensembles de cette commune en allant du Nord au Sud :

- Le domaine des reliefs littoraux.
- Les reliefs montagneux de l'arrière-pays.

IV.2.1 Les reliefs littoraux

Les reliefs littoraux de cette commune, se succèdent suivant trois dispositifs :

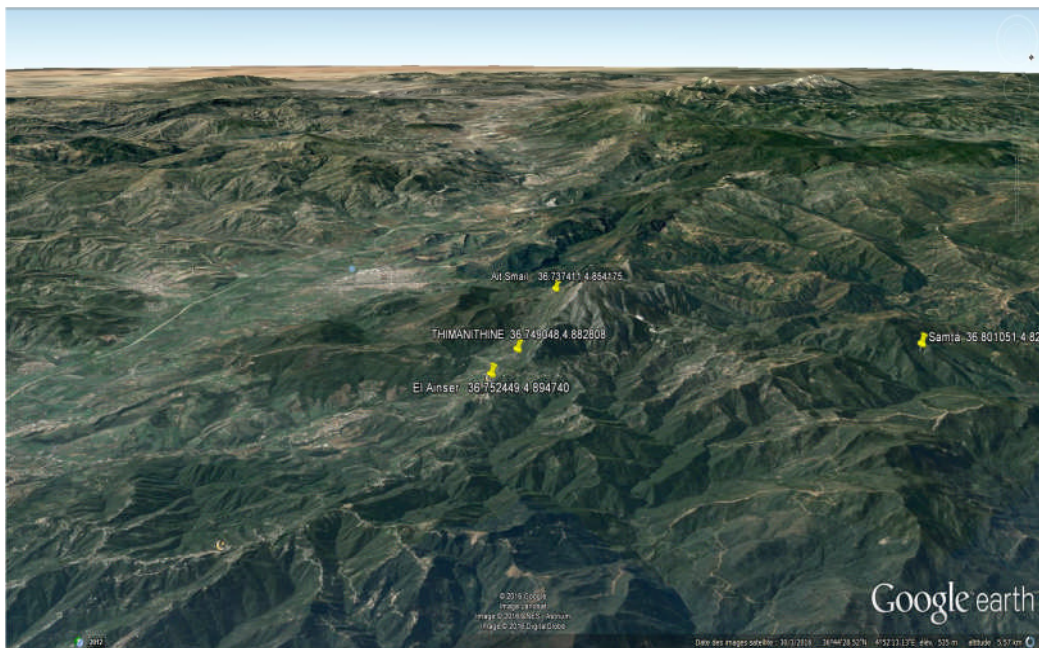
- Le premier, concerne une bande de plages dunaires succédées et très découpées par des pointes rocheuses formant des caps (Timti N'tgarfa, Oueymir-ou-Braras et cap Sigli). Les altitudes dans ce secteur ne dépassent pas les 50 mètres.
- Le second, celui des versants falaises qui forment l'essentiel des systèmes littoraux, ce dispositif concerne tous les reliefs mitoyens aux plages d'où l'altitude atteint une valeur de 200 mètre.
- Le troisième à caractère montagnard, concerne les premières lignes de relief qui contrôlent directement la façade littorale avec ses plages, ses falaises ou ses versants falaises et où les altitudes sont plus ou moins importantes. Elles varient de 200 à 400 mètres (**B.E.A.E. Bejaia**).

I.2.2 Les reliefs montagneux de l'arrière-pays

La ligne de crête joignant djebel Gouraya à l'Est au djebel Arbalou à l'Ouest coupe le territoire de TOUDJA en deux zones naturelles distinctes :

- La zone Nord exposée au vent du Nord humide couvre les 2/3 du territoire de la commune. Les reliefs constituent des massifs aux pentes abruptes culminant respectivement à 563 m au Takarouit N'charah et 860m Adrar Abraes.
- Au sud de la ligne orographique d'Arbalou, les reliefs retombant en deux falaises déchiquetées séparées par le replat d'Ibarissene. Cette zone s'étale jusqu'aux reliefs du Djebel Manchar. **(B.E.A.E. Bejaia).**

En effet, les points culminants dans ces reliefs sont reliefs sont représentés par les Djebels d'Arbalou (1353m) et d'IfriouErzem (1219m).



Figure(04) : Extrait d'assemblage des cartes topographiques de Bejaia au 1/25000m.

Google earth: Toudja, Bedjaia, Algerie.

I.3. Hydrographie

La commune de Toudja est traversée par un réseau hydrographique assez dense, matérialisé par de nombreux Oueds et ravins. Ce réseau hydrographique se caractérise par sa dépendance totale de quelques Oueds (Seket, N'tigzert, M'raid et Dess) qui dégagent parfois

d'étroites vallées dont les pentes des versants sont aiguës, et constituent cependant les principaux exutoires de la Façade Nord de Toudja vers la mer. **(B.E.A.E. Bejaia)**.

I.4. Géologie

Selon la carte géologique de la région de Bejaïa, la commune de Toudja est bordée au nord par une plage marine au niveau inférieur du Tyrrhénien. Notre zone d'étude est située dans le massif montagneux accidenté d'Arbalou. Cette zone est située au nord du chef-lieu et constitué de schiste, d'argile et du Marno-calcaire. A l'est de cette agglomération on trouve du gypse. **(B.E.A.E. Bejaia)**.

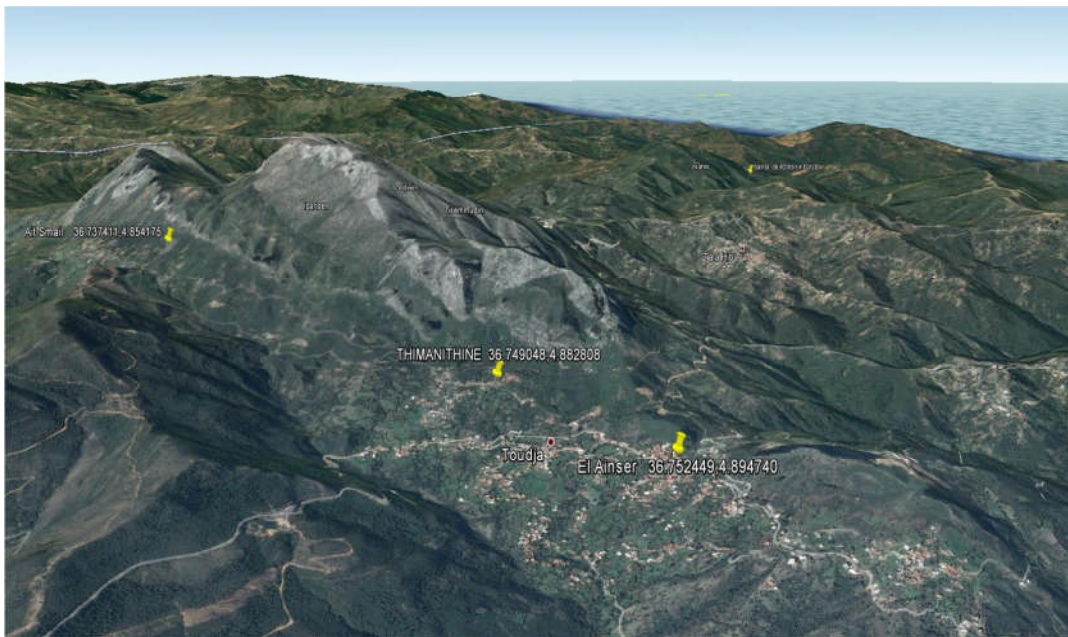


Figure (05) : Esquisse géologique de la zone d'étude (source ; territoire de Toudja au 1/50000m). Google earth: Toudja, Bedjaia, Algerie.

I.5. Etude climatique

Le climat de Toudja, donc de notre zone d'étude, est de type humide méditerranéen, caractérisé par un hiver pluvieux et doux, et un été sec et chaud. La station qui nous sert de référence est celle de : Cap Afiah **(B.E.A.E. Bejaia)**.

I.5.1 Les précipitations

Les précipitations annuelles moyennes enregistrées au niveau de la station de Cap Afiah pour la période allant de 1985 à 2010.

Dans le **tableau 06** on a mesuré les précipitations mensuelles moyennes enregistrées au niveau de la station de Cap Afiah pour l'année 2008

Dans cette région, les reliefs montagneux accidentés agissent comme un rempart qui provoque la condensation et la précipitation d'une partie de la vapeur d'eau amenée par le vent soufflant de la mer. Elle reçoit annuellement, une moyenne de 916 mm de pluies. Les précipitations sur cette région tombent sous forme d'averses, elles sont irrégulières.

Tableau VII : Précipitations mensuelles moyennes en 2008 (en mm)

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc	Somme /Année
Pluie en mm	147	115	85	58	39	16	2	4	29	88	143	190	916
Jours de P	15	12	13	9	7	3	1	2	6	11	14	16	110

L'analyse du Tableau ci-dessus met en relief quatre mois de Novembre à Février dans lesquels les pluies sont importantes, dépassant les 100mm/mois, avec un maximum centré en décembre, avec 190 mm. Etant donné que l'année pluviométrique peut se diviser en deux grandes périodes bien distinctes :

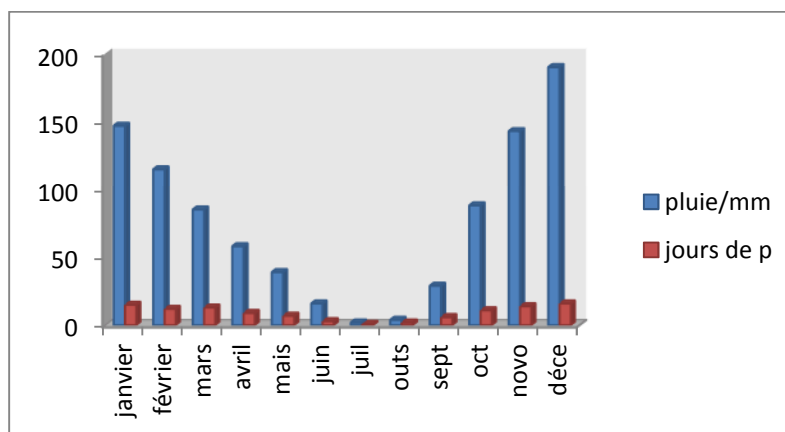


Figure 06 : Précipitations mensuelles moyennes en mm

- Une période humide, allant d'Octobre à Mars, avec un totale de 7768 mm, soit environ 84% du régime annuel,
- Une période sèche, s'étalant d'Avril à Septembre, avec un total de 148 mm, soit 16% de la pluviométrie annuelle.

Le nombre de jours de pluies est moyennement faible par rapport aux volumes précipités. Le rapport pluies/ jours de pluies est de l'ordre de 8,3, ce qui signifie qu'il tombe beaucoup d'eau en peu de temps, ce qui confère à cette pluviométrie un caractère torrentiel, qui provoque de fortes érosions. **(B.E.A.E. Bejaia).**

I.5.2. Les températures

La température inter annuelle moyenne se situe autour de 18 ,15°C, ce qui constitue de tendance centrale modérée.

Tableau VIII : Températures inter annuelle moyennes : station de Cap Afiah

Mois	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D	Somme /Année
m	7,2	7,9	9,1	11,3	13,6	16,5	19,4	20,5	18,5	14,7	11,8	8,9	13,3
$\frac{M + m}{2}$	10,9	11,7	13,5	16,1	19,0	22,3	25,4	25,9	23,8	19,9	16,2	12,6	18,15
M	14,6	15,5	17,9	21,0	24,5	28,1	31,4	31,4	29,1	25,2	20,7	16,4	23,0

La zone d'étude est caractérisée par un climat chaud en été et frais en hiver. La température minimale moyenne a été enregistrée au mois de Janvier (7,2°C), et la température maximale moyenne a été enregistrée au mois d'Aout, avec une valeur de 25,95°C. **(B.E.A.E. Bejaia).**

I.5.3. Les vents

La direction dominante du vent varie suivant la période de la journée. En effet le vent est Nord-Ouest et Ouest tôt dans la matinée, et plutôt Nord-est et ensuite Est et Ouest à la mi-journée.

Variations saisonnières :

Les vents calmes sont plus fréquents en été et au printemps, par contre les plus forts en hiver. La fréquence des vents dont la vitesse se situe entre 0 et 5 m/s est la plus forte pendant toutes les saisons, Les vents dépassant les 10 m/s sont très peu fréquents, au cours d'une année.

Chapitre II

Matériels

Et

Méthodes

Afin d'évaluer la qualité aquatique de nos sources, deux méthodes complémentaires ont été employées : analyse physico-chimique et bactériologique.

Cependant notre évaluation s'est déroulée du mois d'avril au mois de juin 2016. Les différentes analyses ont été effectuées au niveau du :

✓ Laboratoire central de l'ADE (Algérienne Des Eaux), localisé au niveau de l'unité de Bejaia. Sa mission est de contrôler les eaux distribuées sur le plan physico-chimique et bactériologique.

✓ Laboratoire central de l'Usine de l'eau minérale naturelle du Toudja.

✓ Le Musée de l'eau de Toudja.

✓ Le laboratoire d'élaboration, caractérisation et modélisation des matériaux (LEMM) du département génie des procédés. (Université Abderrahmane Mira Bejaïa)

II .1. Echantillonnage

Durant notre travail, quatre stations de sources de Toudja ont fait l'objet de nos analyses, qui sont :

- Thimanithine ''A''
- Ait Smail ''B''
- El-Ainsar ''C''
- Thalla Samta ''D''



Figure (07) : Carte topographique montre Les quatre sources étudiées. Google earth: Toudja, Bedjaia, Algerie.

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate pour laquelle le plus grand soin doit être apporté. Celui-ci conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui seront donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension,...etc.). Cependant pour avoir des résultats analytiques significatifs, le prélèvement doit être bien conservé jusqu'à son arrivé au labo.

V.1.1. Echantillons destinés aux analyses physico-chimiques

Les échantillons prélevés de différentes sources ont été effectués directement. Les flacons teintés (0.33 litre) sont rincés plusieurs fois avec de l'eau à analyser puis remplis totalement pour éviter les réactions d'oxydation. Les flacons doivent être scellés et munis d'une étiquette portant le code pour faciliter leur identification.

V.1.2. Echantillons destinés aux analyses bactériologiques

L'eau à analyser est mise dans un flacon en verre de 250 ml stérilisé.

La stérilisation des flacons se fait dans un autoclave en le maintenant à une température de 120°C, pendant au moins 15 minutes.

V.2. Transport des échantillons

Les prélèvements sont immédiatement acheminés vers le laboratoire dans des glacières à 4°C. Afin de maintenir la composition initiale de l'échantillon, le temps qui s'écoule entre le prélèvement et l'analyse doit être réduit au maximum. L'analyse bactériologique doit débiter dans un délai maximal de 8 heures après le recueil de l'échantillon.

V.3. Matériel et méthodes

Les matériels et les méthodes utilisés pour doser les paramètres physico-chimiques sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau IX : récapitulatif des différentes analyses physico-chimiques (**voir Annexe 02**).

V.4. Mesure des paramètres physico-chimiques

V.4.1. Mesure de pH

Le pH est une mesure de l'activité des ions H^+ contenus dans l'eau, il joue un rôle important dans l'efficacité de certains traitements et a une influence sur leurs propriétés physico-chimiques. (**J.Rodier, 1984**).



Figure (8) : pH mètre (Photo original).

Mode opératoire

Après avoir étalonné le pH mètre de référence senSion 3 de marque (HACH).

Plonger l'électrode dans l'échantillon d'eau, agiter l'électrode afin de chasser les bulles d'air emprisonnées, la lecture sera faite après stabilisation de la valeur du pH.

II .4.2. Mesure de la température (T°)

La température a été mesurée au laboratoire, à l'aide d'un appareil multi-paramètres de référence senSion 3, marque (HACH), qui compense automatiquement la variation du pH avec la température (en °C).

II .4.3 Mesure de la conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est mesurée par un conductimètre.



Figure (9) : Conductimètre (Photo original).

Mode opératoire

On rince plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner. La température du liquide ne devra en aucun cas varier pendant la mesure.

II .4.4. Mesure de la salinité et TDS

La teneur en sels dissous de l'eau peut être mesurée et exprimée de différentes manières suivant que l'on considère l'ensemble des corps dissous ou seulement les sels dominants (J.Rodier, 1984).



Figure (10) : Spectrophotomètre (photo original).

Mode opératoire

La salinité et la TDS sont mesurées au laboratoire, à l'aide d'un appareil multi-paramètres de référence (senSion 7) marque (HACH).

II .4.5. Mesure de la turbidité

La turbidité correspond à la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes.



Figure (11) : Turbidimètre (Photo original).

Mode opératoire

La turbidité a été mesurée au laboratoire, à l'aide d'un turbidimètre de référence (2100 N), de marque (HACH).

II .4.6. Détermination de l'alcalinité (méthode volumétrique)

La détermination du TA et du TAC est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré (RODIER et al, 2009).

Mode opératoire**❖ Détermination du titre alcalimétrique TA:**

On prélève 100 ml d'eau à analyser, on ajoute une à deux gouttes de solution de phénophtaléine. Une coloration rose doit alors se développer, dans le cas contraire le TA est nul, ce qui se produit en général pour les eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8,3. On verse ensuite l'acide sulfurique 1/50 N à l'aide d'une burette dotée d'un dosimat (distributeur automatique) en agitant constamment et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution. Soit (V_1) est le volume (ml) d'acide utilisé pour obtenir le virage.

❖ Détermination de titre alcalimétrique complet TAC:

On utilise l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. On ajoute deux gouttes de solution de méthylorange et on titre de nouveau avec l'acide sulfurique jusqu'au virage du jaune au jaune orangé (pH=4,3). Soit (V_2) est le volume (ml) d'acide utilisé pour obtenir le virage.

II .4.7. La dureté calcique**a) Mode opératoire**

On prélève dans un erlen meyer, 25 ml d'eau à analyser et on ajoute 1 ml de NaOH (1N) et quelques grains d'indicateur Murexide, puis on titre avec la solution d'EDTA- Na_2 (0,01N) jusqu'au virage de coloration au rose pourpre, soit V le volume de la solution EDTA- Na_2 .

b) Expression de résultats

$$TH_{ca} = (N.V.50000)/V_e \quad \text{en mg/l de } CaCO_3$$

$$[Ca^{2+}] = (N.V.20000)/V_e \quad \text{en mg/l de Ca}$$

N : normalité de l'EDTA- Na_2

V : volume d'EDTA titré (ml)

V_e : Volume d'échantillon d'eau (ml).

II .4.8. Détermination de la dureté totale (TH)

Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel di-sodique de le EDTA. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir Erichrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium (**RODIER et al, 2009**).

a) Mode opératoire

On introduit 50 ml de l'échantillon dans une fiole, on ajoute 4 ml de la solution tampon et 3 gouttes de l'indicateur mordant noir 11. La solution prendra une couleur rouge foncé. On titre immédiatement à l'aide de la solution d'EDTA (10ml). Le point final de virage est atteint lorsque la dernière nuance rouge a disparu. La couleur ne doit plus changer par addition d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

b) Expression des résultats

$$TH = \frac{N.V.1000}{V_e} \quad \text{en Meq/l de } CaCO_3$$

II .4.9. Dureté magnésienne (TH_{mg}^{2+})

La dureté magnésienne, par définition, est la dureté due à l'ion magnésium.

La dureté totale est égale à la somme des deux duretés.

Dureté totale = Dureté calcique + Dureté magnésienne en mg/l de $CaCO_3$ s

Expression des résultats

$$TH_{mg}^{2+} = (N.V. 50000)/V_e \quad \text{en mg/l de } CaCO_3$$

$$[Mg^{2+}] = (N.V.12200)/V_e \quad \text{en mg/l de } Mg^{2+}$$

N : Normalité de l'EDTA- Na_2

V : volume d'EDTA titré (ml)

V_e : Volume d'échantillon d'eau.

II .4.10. Dosage des Chlorures

La réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est un précipité.

a) Mode opératoire

On prélève 50 ml d'eau à analyser dans un erlen meyer, on ajoute 0,5 ml d'indicateur coloré de chromate de potassium (K_2CrO_4). On titre avec la solution de nitrates d'argent (0,014N), jusqu'à l'apparition de la couleur rouge brique.

b) Expression des résultats

$$[Cl] = (N.V.35,5)/V_e \quad \text{en mg/l}$$

N : normalité de $AgNO_3$ (0,01)

V : volume de $AgNO_3$ titrant (ml)

V_e : Volume d'échantillon d'eau (ml)

II .4.11. Dosage des ions nitrites (NO_2^-)**Mode opératoire**

On prélève 50 ml d'eau à analyser, on ajoute 2 ml de réactif de Zambelli, on agite et on laisse au repos 10 mn. On Ajoute ensuite 2 ml d'ammoniaque pure ; on effectue la lecture au spectromètre de référence (2400 DR) marque (HACH) à la longueur d'onde de 435 nm. Se reporter à la courbe d'étalonnage (**J.Rodier, 1984**).

II .4.12. Dosage des ions nitrates (NO_3^-)**Mode opératoire**

On introduit 35 ml du mélange acide dans une fiole conique séchée puis on ajoute 5 ml de l'échantillon et 5 ml de la solution de diméthyl-2,6 phénol. On mélange soigneusement le contenu et on laisse reposer pendant 10 à 60 min.

On effectue un essai à blanc parallèlement au dosage en utilisant 5 ml d'eau distillée. La concentration en azote nitrate est la valeur donnée par le spectrophotomètre à une longueur d'onde de 324 nm. La concentration en nitrate est égale à $N-NO_3 \times 4,427$ (**ISO 7890/1- 1986**).

II .4.13. Dosage de l'ammonium

C'est un dosage spectrométrique du composé bleu formé suite à la réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium.

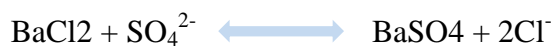
Mode opératoire

A 40 ml de l'échantillon, on ajoute 4ml du réactif coloré et mélanger, il y aura alors apparition d'une coloration jaune. On ajoute 4 ml de la solution de dichloro-iso-cyanurates de sodium et homogénéiser, on ajoute 2ml d'eau distillée.

Après une heure de réaction, s'il y aurait apparition d'une coloration verdâtre, on mesure la concentration en ions d'ammonium à 655 nm. L'essai à blanc est réalisé comme décrit précédemment, mais en utilisant 40 ml d'eau distillée à la place de la prise d'essai (**ISO 7150/1- 1984 (F)**).

II .4.14. Détermination des sulfates

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



Mode opératoire

On prend 100 ml d'eau à analyser et on ajoute 5 ml de la solution stabilisante. On ajoute 2 ml de chlorure de baryum. On laisse le temps de contact, on passe au spectrophotomètre à 420 nm.

Remarque : Si la conductivité dépasse les 500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ on fait la dilution.

II .4.15. Dosage du fer

Addition d'une solution de phénantroline-1,10 a une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe rouge - orange à une longueur d'onde de 510 nm.

Le complexe fer (II) - phénantroline -1,10 est stable dans l'intervalle de pH de 2,5 à 9 et l'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité du fer.

a) Dosage

- Prendre comme prise d'essai, 50 ml, Transvaser la solution dans une fiole de 100 ml, ajouter 1 ml de la solution chlorhydrate hydroxylamine et mélanger soigneusement
- Ajouter 2,0 ml de tampon acétate pour obtenir un pH entre 3,5 et 5,5 de préférence 4,5.
- Ajouter 2,0 ml de la solution phénantroline et conserver pendant 15 min à l'obscurité.
- Mesurer l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre UV/visible à 510 nm en utilisant une cuve de 10 mm².

II .4.16. Détermination de résidu sec

L'eau est évaporée à sec et le point de matières calcinées est déterminé par pesée différentielle.

Mode opératoire

On lave la capsule avec de l'eau distillée et on la sèche dans une étuve à 105°C et on pèse puis on verse 50 ml d'échantillon d'eau dans la capsule et on laisse évaporer à sec sur une plaque chauffante, on remet la capsule dans l'étuve et on fait peser de nouveau.



Figure (12) : Incubateur (photo original).

II .5. Analyse par spectrophotométrie d'adsorption atomique (SAA)

II .5.1. Définition

La spectrophotométrie d'adsorption atomique est une méthode très utilisée en analyse chimique pour doser des métaux présents en solution. C'est une méthode de dosage rapide et précis, qui permet la détection d'élément à l'état de traces, même en présence d'autres éléments en forte concentration (MAHUZIEM.G et HAMON.M, 1978).

❖ Principe de l'analyse

Le principe de base de cette méthode repose sur des mesures d'adsorption d'une radiation lumineuse, réalisées sur une substance ramenée à l'état d'atomes libres.

Cette absorption est proportionnelle à la concentration en métaux contenus dans l'échantillon suivant la loi de Beer Lambert :

$$A = +\log I_0/I = K L C$$

A: Absorbance

I_0 : Transmittance initial

I: Transmittance finale

L: Longueur de la source d'atomisation maintenue constante $L = 9\text{cm}$

C: concentration de l'espèce à doser (en ppm ou en mg/l)

K : coefficient d'extinction molaire de l'espèce à doser ($l \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)

On a effectué les analyses sur un spectrophotomètre de modèle SHIMADZU de type AA6500 assisté par micro-ordinateur (MAHUZIEM.G et HAMON.M, 1978).

II .5.2. Dosage des métaux lourds par (SAA)

Les Métaux lourds ont une densité supérieure à 5 g/cm³ et dont le numéro atomique est supérieur à celui de sodium Na ($Z \geq 11$).

II .5.2.1. Dosage du plomb :

Cette méthode physique d'analyse utilise les propriétés des atomes neutres adsorbant à une longueur d'onde un quantum d'énergie.

Mode opératoire

Introduire les échantillons à doser dans des fioles et effectuer les lectures au spectrophotomètre d'adsorption atomique à la longueur d'onde de 283,3 nm.

II .5.2.2. Dosage du nickel

La solution est entraînée par un courant d'air vers une flamme, ou elle est atomisée.

Mode opératoire

Nébuliser l'eau à analyser dans une flamme air acétylène en intercalant de l'eau distillée entre chaque échantillon. On effectue les lectures au spectrophotomètre d'adsorption atomique à la longueur d'onde de 231,6 nm.

II .6. Analyse bactériologique

II .6.1. Méthodes d'analyses bactériologiques

II .6.1.1. Méthode par incorporation en milieu gélosé

L'eau est inoculée par incorporation dans un milieu strictement défini et non sélectif. La lecture est faite après 48 heures d'incubation à 37 °C ou après 72 heures d'incubation à 22°C. Cette méthode fait cependant subir un choc thermique aux micro-organismes au moment de l'incorporation de la gélose en surfusion à 45 °C. (RODIER et al, 2009).

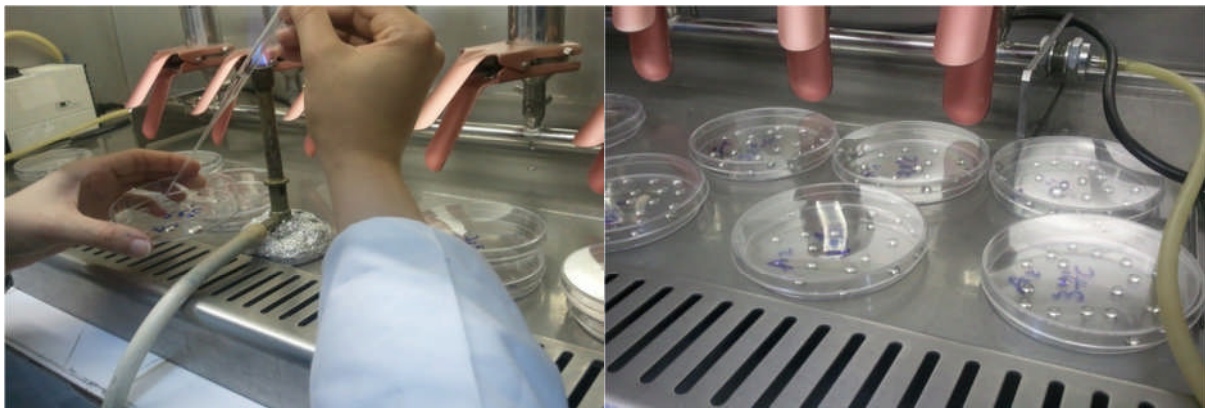


Figure (13) : Photo de la méthode par incorporation en milieu gélosé.

II .6.1.2. Méthode par filtration sur membrane

Cette méthode consiste à recueillir, identifier et dénombrer les bactéries recherchées dans un échantillon d'eau à la surface d'une membrane filtrante stérile de porosité de 0,45 μm . Incuber ensuite cette membrane pendant $24 \pm 2\text{h}$ à $44,5 \pm 0,2$ °C sur une gélose. Les colonies sont ensuite dénombrées et l'on connaît ainsi le nombre de bactéries présentes dans l'échantillon. La présente méthode est recommandée pour les eaux peu contaminées (RODIER et al, 2009).



Figure (14) : Rampe de filtration (Photo original).

II .6.2. Principaux germes recherchés

II .6.2.1. Recherche et dénombrement des micro-organismes revivifiables à 22 et à 37°C

Cette méthode consiste en la recherche et le dénombrement des microorganismes (bactéries, levures et moisissures) par comptage des colonies après incubation à 22 et à 37°C. A partir de l'eau à analyser (SM =1), porter aseptiquement 1 ml en double dans deux boîtes de Pétri vides, numérotées et préparées à cet usage (voir Annexe). Compléter ensuite avec environ 19 ml de gélose TGEA (ou PCA) fondue puis refroidie à 45 ± 2 °C. Laisser solidifier les boîtes sur la paillasse. Les boîtes seront ensuite partagées en deux séries distinctes :

- la première série est incubée à 22°C pendant 72h.
- la seconde série est incubée à 37°C pendant 48h.

II .6.2.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux

Milieu et réactifs utilisés pendant les analyses :

Bouillon lactose ou propre de bromocresol (BCPL)

Milieu indole manéthol (milieu Schubert)

Réactif de Kovac.

➤ **Principe**

Nous avons utilisé la méthode de la colimétrie sur milieux liquides, cette méthode est réalisée en deux étapes :

Test présomptif : il s'agit de l'estimation du nombre total des coliformes.

Test confirmatif : il consiste à la recherche et au dénombrement des coliformes.

➤ **Mode opératoire**

• Test présomptif

Il est effectué sur milieu BCPL, tous les tubes sont munis de cloches de Durham pour déceler le dégagement éventuel du gaz dans le milieu choisi, en ensemence :

- 5 tubes du milieu BCPL "double concentration" avec 10 ml d'eau à analyser.
- 1 tube du milieu BCPL "simple concentration" avec 1 ml d'eau à analyser.
- 1 tube BCPL "simple concentration" avec 0.1 ml d'eau à analyser.
- L'incubation est effectuée à 37°C pendant 48 heures.

• Test confirmatif

A partir de chaque tube positif, en ensemence 4 à 5 gouttes de la suspension bactérienne dans un tube de milieu Schubert puis incubé à 44°C pendant 24 heures.

Enfin 3 à 4 gouttes de réactif de Kovac sont additionnées aux tubes positifs.

II .6.2.3. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

➤ **Principe**

Elle se fait également en deux étapes : test présomptif et test confirmatif.

La recherche des streptocoques du groupe O est basée sur l'utilisation d'un milieu contenant un agent sélectif des streptocoques qui est l'acide de sodium.

Le repiquage se fait sur un milieu plus inhibiteur contenant une plus forte concentration en acide de sodium et éthyle violet (EVA LITSKY).

➤ **Mode opératoire**

- Test présomptif

La recherche se fait en bouillon à l'acide de sodium (bouillon Rothe) simple et double concentration, des tubes de Rothe ont été utilisés à raison de :

- 5 tubes du milieu Rothe "double concentration" avec 10 ml de l'eau à analyser.
- 1 tube du milieu Rothe "simple concentration" avec 1 ml de l'eau à analyser.
- 1 tube du milieu Rothe "simple concentration" avec 0.1 ml d'eau à analyser.
- L'incubation est effectuée à 37°C pendant 48 heures.
- Test confirmatif

Ce test est effectué pour les tubes contenant milieu EVA LITSKY.

A l'aide d'une pipette pasteur stérile, on prélève 2 à 3 gouttes de la suspension bactérienne de chaque tube de Rothe positif.

Chapitre III

Résultats

Et

Discussion

Les sources représentent l'émergence des eaux souterraines, elles sont plus fréquemment rencontrées dans les régions montagneuses. Ils ont pendant longtemps, été synonymes « eaux propres » répondant naturellement aux normes de potabilité.

Les eaux de sources sont en effet moins sensibles aux pollutions accidentelles, néanmoins, de nombreuses nappes sont influencées par la qualité des eaux de surface (ARMAND L., 1996).

III .1. Résultats et interprétations des analyses organoleptiques

III .1.1. Odeur

L'eau étudiée a toujours été inodore, ce qui indique probablement l'absence de produits chimiques, de matières organiques en décomposition et de protozoaires.

III .1.2. Couleur

L'eau de la source est toujours limpide, ceci indique sûrement l'absence des ions métallique fer ferreux (Fe^{2+}) et fer ferrique (Fe^{3+}), qui sont les facteurs principaux du changement de la couleur d'eau, voire aussi les divers colloïdes.

III .1.3. Turbidité

L'histogramme représente les valeurs de la turbidité en NTU de nos échantillons (figure 01).

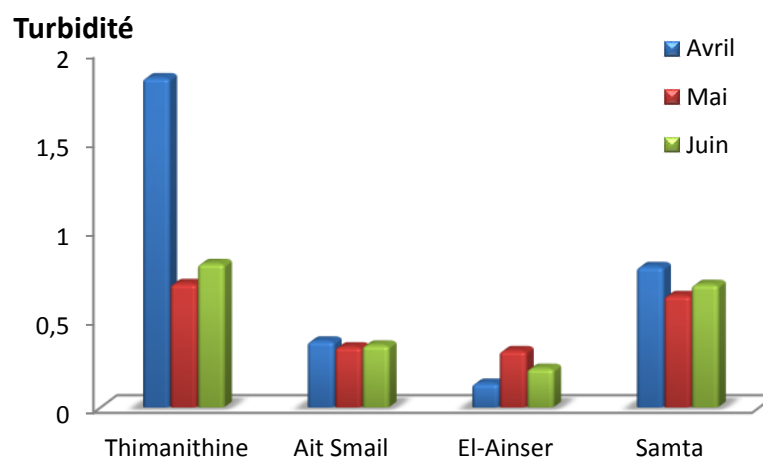


Figure (15) : variation des valeurs de la turbidité.

La mesure de la turbidité permet de donner les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence des particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...etc.). Les eaux étudiées sont des eaux claires, ceci est dû à l'infiltration des eaux dans le sol. Elle ont une turbidité qui varie entre 0.137 et 1.86 NTU ce qui est conforme à la norme algérienne qui recommande comme valeur limite 5 NTU au maximum.

III .2. Résultats et interprétations des analyses physico-chimiques

III .2.1. Potentiel Hydrogène (pH)

Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau, il intervient dans les phénomènes complexes avec le dioxyde de carbone et l'alcalinité, lié à la nature des terrains traversés.

L'histogramme suivant représente les variations de potentiel Hydrogène (Figure 02)

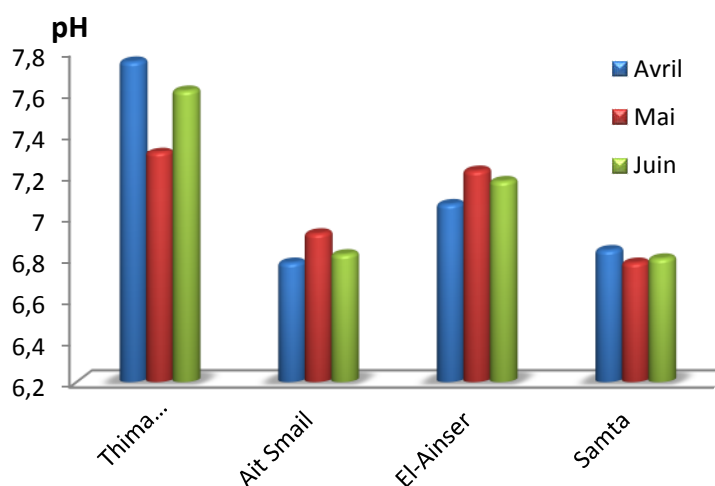


Figure (16) : variation des valeurs de pH.

Les valeurs obtenues ne dépassent pas la norme (N.A 6.5-8.5), les pH des eaux analysées varient entre (6.78 et 7.75). Ceci explique qu'il n'y a pas de grand écart entre les différents échantillons, mais pour le même échantillon, on remarque une variation du pH entre les prélèvements effectués à des temps distincts.

La majorité des valeurs sont légèrement au-dessus de 7, ce qui donne à l'eau une nature carbonatée.

III .2.2. La température

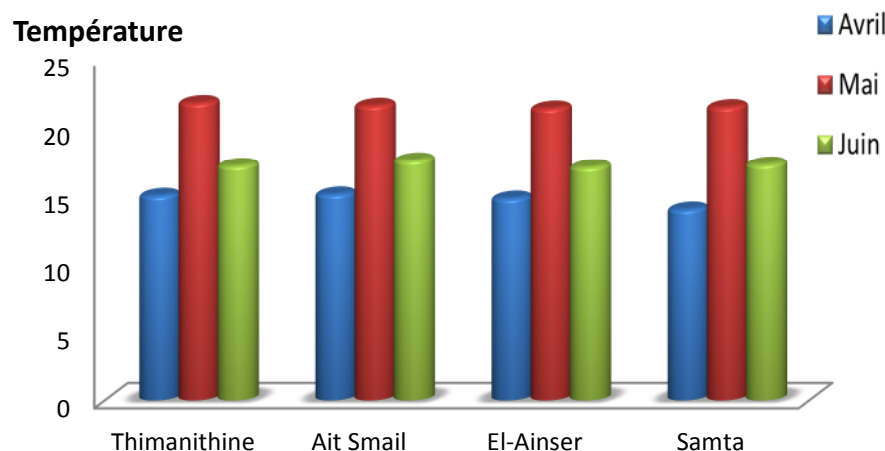


Figure (17) : Variation de la température des eaux de Toudja.

La température de l'eau est un facteur important dans la production biologique. Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques (HCEFLCD, 2006). Dans la région d'étude, les résultats obtenus montrent que le degré des températures ne présente pas de grande variation d'une source à l'autre (Figure 17), avec un minimum de 14°C et un maximum de 21,8°C.

La température de notre eau étudiée est presque constante, voisine de 16°C, lors du transport des échantillons des variations peuvent être observées. Les résultats obtenus montrent une fourchette d'intervalle comprise entre 14°C et 22°C. Ceci montre que la zone de l'aquifère est assez profonde.

III .2.3. Conductivité

L'histogramme suivant représente la moyenne des valeurs de la Conductivité en ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

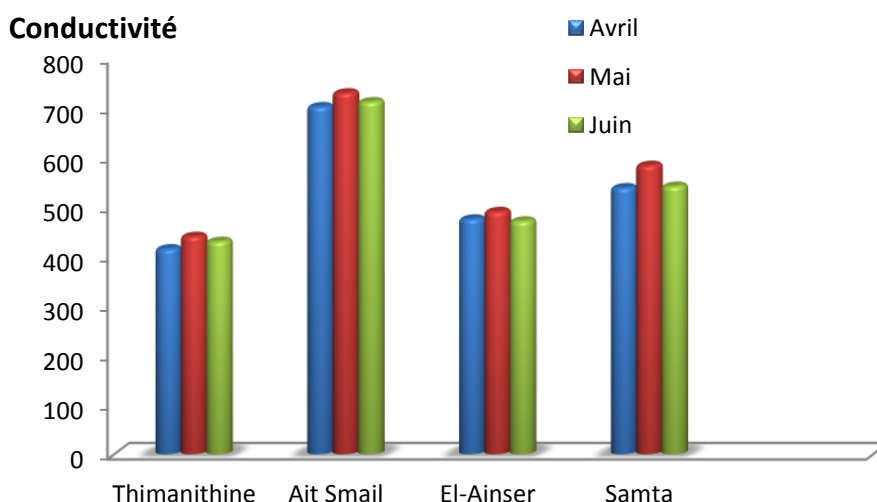


Figure (18) : variation des valeurs de la conductivité.

La conductivité est proportionnelle à la minéralisation de l'eau. Plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée. Celle-ci varie également en fonction de la température, puisque cette dernière modifie la viscosité de l'eau (DUGUET et al, 2006).

La conductivité des eaux analysées varié entre (415 et 730 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Nos échantillons ne présentent pas une grande variation de conductivité, et dans une même série de prélèvement les variations sont faibles. Cela est manifestement dû à une minéralisation plus ou moins importante des eaux analysées. Les valeurs les plus élevées sont retrouvées dans les sources d'Ait Smail et Samta.

Malgré la variation de ces valeurs, mais elles sont dans la norme algérienne ($\text{NA}=2,8\text{ms}/\text{cm}$).

III .3. Résultats et interprétations de l'analyse de la minéralisation globale

III .3.1. Dureté Totale(TH)

L'histogramme suivant représente les valeurs de la dureté totale en mg/l CaCO_3 .

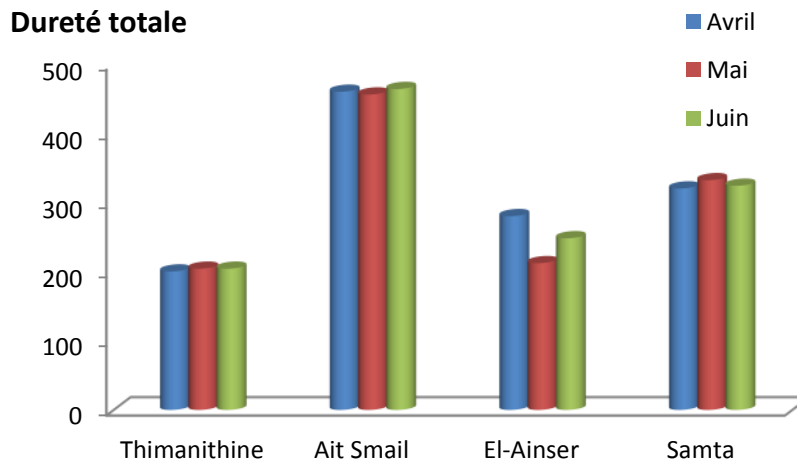


Figure (19) : variation des valeurs de la Dureté totale.

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. On distingue : une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca et Mg et une dureté non carbonatée produite par les autres sels. Elle résulte principalement du contact des eaux souterraines avec les formations rocheuses : le calcium dérive de l'attaque du CO_2 dissout par les roches calcaires ou de la dissolution sous forme de sulfate dans le gypse. La dureté d'une eau naturelle dépend de la structure géologique des sols traversés.

Les valeurs montrent une variation de titre hydrotimétrique(TH) dans l'intervalle [200-204] mg/l (CaCO_3) pour la source de Thimanithine, [456-464] mg/l (CaCO_3) au niveau de la source d'Ait Smail, [212-280] mg/l (CaCO_3) pour la source El-Ainser et [320-332] mg/l (CaCO_3) pour la source Samta.

Dans les échantillons analysés (figure 6), ce paramètre présente une grande variation d'une source à l'autre qui serait liée à la nature lithologique de la formation géologique de la nappe phréatique et en particulier à sa composition en magnésium et en calcium. Malgré la variation de ces valeurs, elles répondent aux normes algériennes des eaux (NA=100-500Mg/l).

III .3.2. Dureté calcique

L'histogramme suivant représente les valeurs de la dureté calcique en mg/l CaCO_3 .

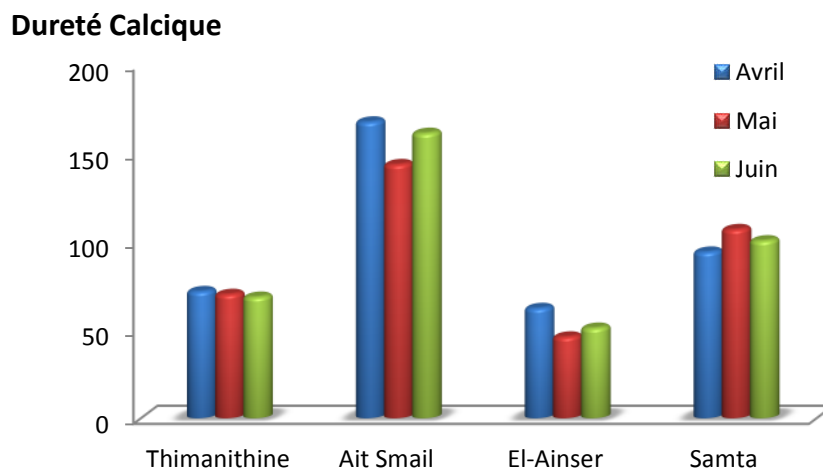


Figure (20) : Variation de la dureté calcique en (mg/l) de CaCO_3 des eaux de sources de Toudja.

Les concentrations en calcium varient de 46,2 à 168 mg/l et elles sont directement liées à la nature géologique du terrain traversé. Ces valeurs sont conformes à celles fixées par les normes algériennes. Rappelons que la concentration maximale admissible pour le calcium est de 200 mg/l.

Nous constatons que l'eau de source d'Ait-Smail est très calcique ce qui permet de la classer parmi les eaux fortement calciques et minéralisées.

III .3.3. Dureté magnésienne

La figure suivante représente l'histogramme des valeurs de la dureté calcique et en mg/l :

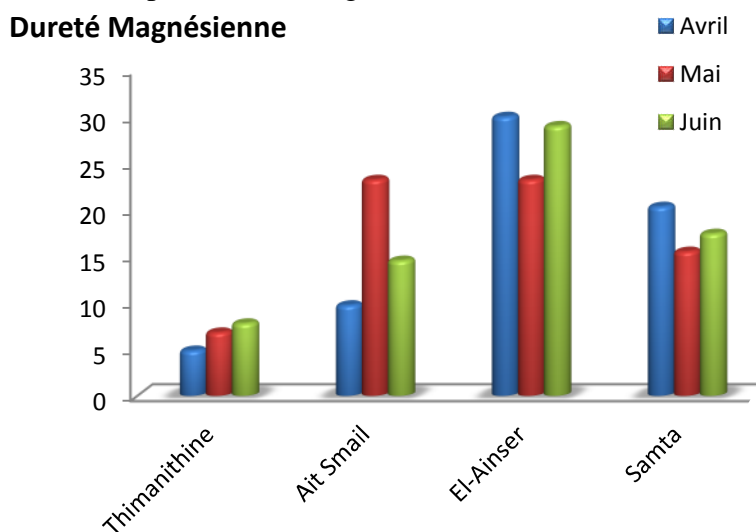


Figure (21) : les valeurs moyennes de la dureté Magnésienne en (mg/l).

Les teneurs en magnésium des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Dans les régions riches en roches magnésiques, l'eau peut contenir des concentrations de 4 à 30 mg/l de cet élément, la dureté est souvent due aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+} .

Le profil temporel des eaux des quatre sources a montré que les concentrations de magnésium sont nettement inférieures à celles du calcium, elles oscillent autour d'une moyenne de 6,45 (mg/l) à Timanithine, 15,81 (mg/l) à Ait Smail, 27,41 (mg/l) à El-Ainser, 17,74(mg/l) à Samta. (Figure 07).

Dans un environnement carbonate, l'enrichissement simultané de Ca^{2+} et l'appauvrissement de Mg^{2+} est expliqué surtout par le phénomène d'interaction eau roche comme la dolomitisation, dissolution et précipitation. La réaction d'échange $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ par dolomitisation a été signalée comme cause principale de diminution du rapport Mg/Ca dans les eaux des aquifères carbonatés. Cette diminution est progressive selon l'âge croissant des terrains aquifères, contrôlée par l'équilibre entre calcite et dolomite et fortement dépendante de la température (Fidelibus et al. 1996).

III .3.4. Sulfates (SO_4^{2-})

Les résultats de dosage des sulfates sont représentés dans l'histogramme suivant (figure).

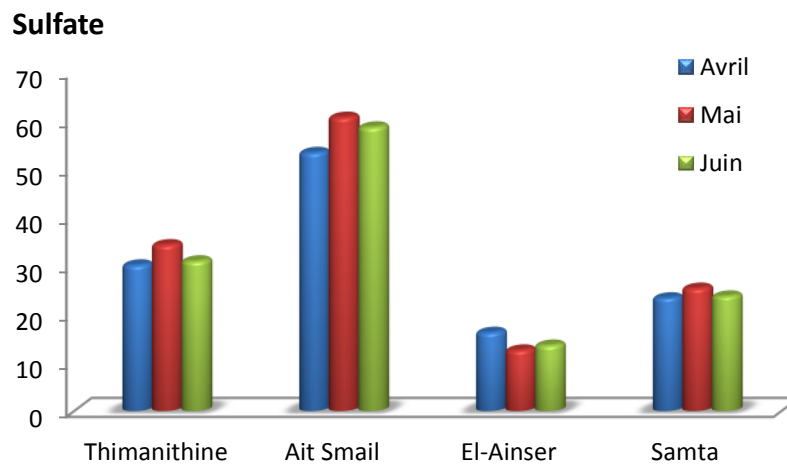


Figure (22) : résultats obtenus lors du dosage des sulfates.

Les sulfates proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse. Ils résultent également de l'activité de certaines bactéries. Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré (H_2S) toxique en sulfate (HCEFLCD, 2006). Les valeurs des sulfates sont légèrement variables, on trouve (30,33-34,45) mg/l enregistrés pour l'eau de source Thimanithine, (53,55-60,78) pour la source d'Ait Smail aux de, (12,61-16,27) mg/l a la source principal du Toudja

(El-Ainser) et (23,54-25,52) mg/l pour l'eau de source Samta, ces valeurs sont dans les normes établies pour les sulfates (200-400 mg/l).

D'après les résultats des échantillons analysés (Figure 8), les valeurs enregistrées restent inférieures à la valeur guide (VG= 200mg/l) de la norme algérienne des eaux.

III .3.5. Ions chlorures

La figure suivante représente les valeurs de dosage des chlorures en mg/l.

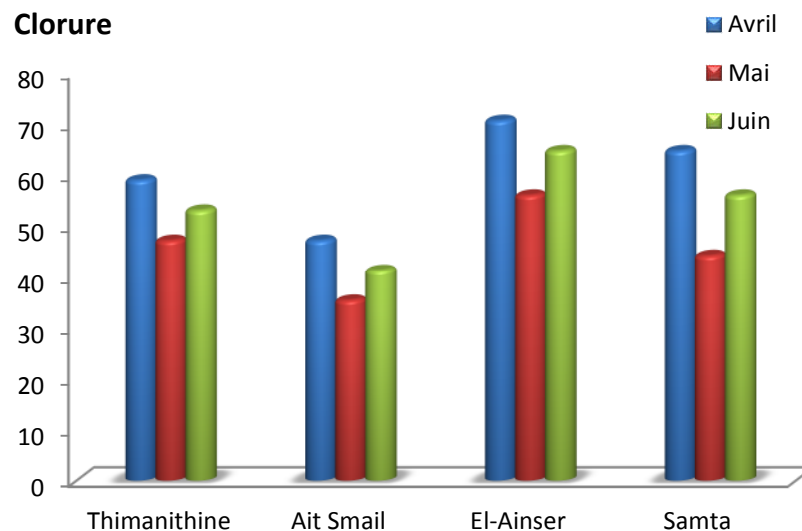


Figure (23) : variation des valeurs pour les chlorures.

Selon **FALL (2007)**, les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés.

Les valeurs enregistrées répondent aux normes algériennes (CMA : 500 mg/l) et aux normes fixées par l'OMS (250 mg/l).

Cette eau présente donc une faible teneur en ions chlorure ce qui indique qu'elle n'engendre pas de risque de corrosion au niveau des réservoirs et des canalisations et d'augmentation de la concentration de certains métaux dans cette dernière

III .3.6. Ions Fer (Fe^{2+})

L'histogramme suivant (figure) représente les résultats de dosage du Fer (Fe^{2+}).

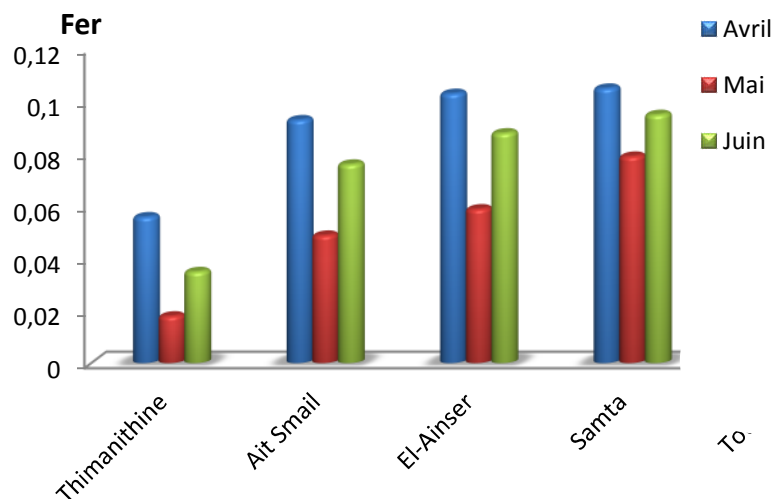


Figure (24) : variation des valeurs du Fer.

Le Fer et le Manganèse se trouvent en solution dans les eaux appauvries en oxygène, ces deux éléments peuvent affecter la qualité organoleptique de l'eau en lui conférant une coloration, et ils sont à l'origine de corrosion et de dépôt dans les réseaux de distribution d'eau. (RODIER et al, 2009)

L'eau de source Thimanithine contient des quantités de Fer de l'ordre de (0,018-0,056) mg/l comme on trouve (0,049-0,093) mg/l pour la source d'Ait-Smail, ainsi une valeur toujours faible enregistrée au niveau de la source El-Ainser qui est de (0,059-0,103) mg/l, et enfin une valeur entre (0,079-0,105) pour la source Samta. Donc nous constatons que toutes ces valeurs ne dépassent pas la norme Algérienne qui est de l'ordre de 0,3 mg/l.

III .4. Résultats et interprétations de l'analyse des paramètres de pollution

III .4.1. Ammonium (NH₄⁺)

Les résultats d'analyse de l'ammonium sont présentés dans l'histogramme suivant (figure).

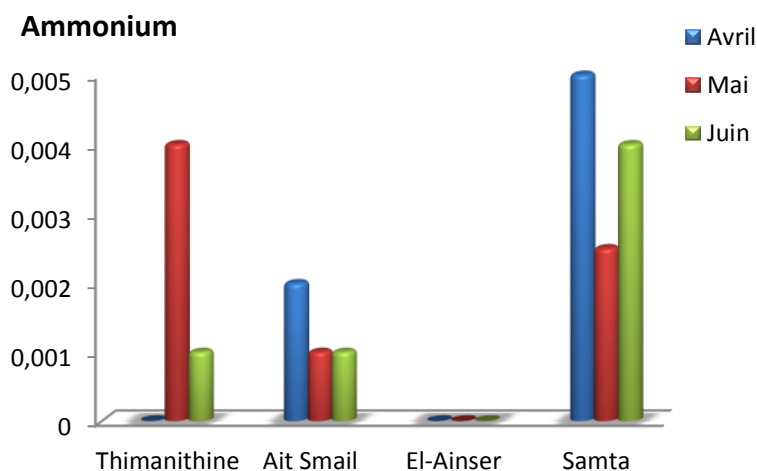


Figure (25) : variation des valeurs de l'ammonium.

En général, l'ammoniaque se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation, la mise en évidence dans l'eau des teneurs importantes en azote ammoniacal implique généralement une contamination récente par les matières organiques (**RODIER et al, 2009**).

L'eau de la source El-Ainser ne présente aucune trace d'Ammonium (0 mg/l) par contre les autres sources (Thimanithine, Ait Smail et Samta) présentent pour chacune une valeur de (0,001 à 0,004), (0,001 à 0,002) et (0,0025 à 0,005) mg/l pour la source Samta mais reste en dessous de la NA 0,05-0,5mg/l.

III .4.2. Les Nitrates (NO_3^-)

Les résultats d'analyse des teneurs en nitrates sont présentés dans l'histogramme suivant

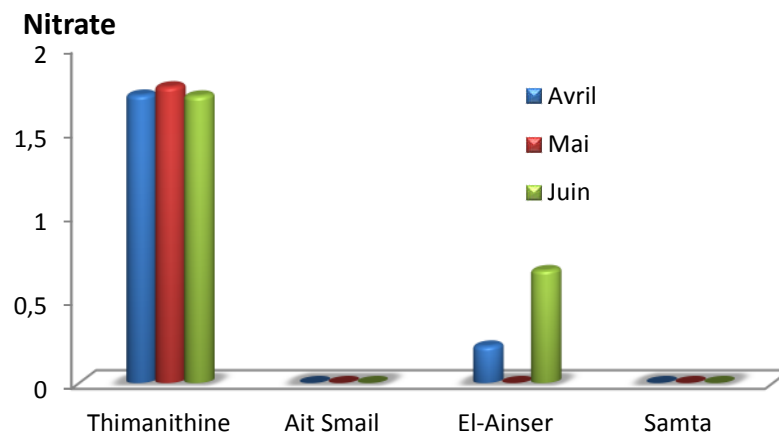


Figure (26) : Variation des teneurs en nitrates.

La concentration en nitrate dans les eaux souterraines est normalement basse, mais peut atteindre des niveaux élevés en raison de l'écoulement agricole, l'écoulement de décharge d'ordures, ou de contamination avec les déchets des animaux ou des humaines.

Pour l'eau étudiée, les valeurs des nitrates obtenus sont inférieures à la Norme Algérienne ($\text{NA} \geq 50 \text{ mg/l}$). De ce fait, les eaux étudiées ne sont pas sujettes à un risque de pollution par les nitrates.

III .4.3. L'ion nitrite (NO₂⁻)

Les résultats d'analyse des teneurs en nitrites sont présentés dans l'histogramme suivant.

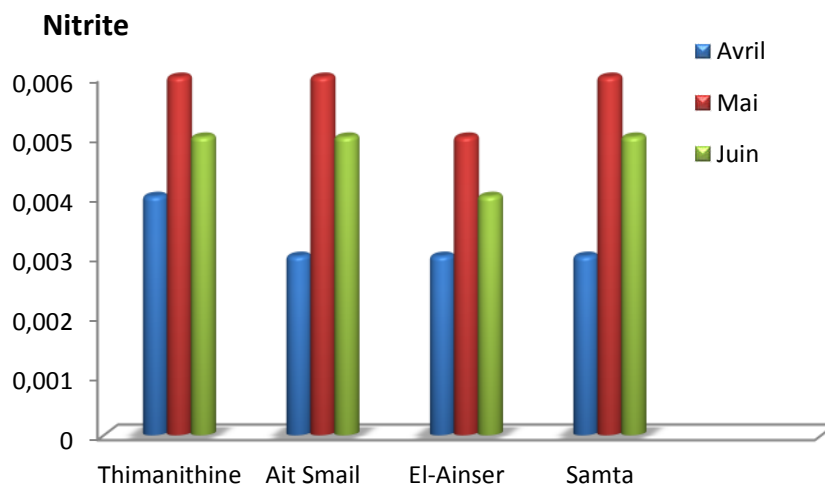


Figure (27) : Variation des teneurs en nitrites.

Les nitrites sont les indicateurs de la pollution. Elles proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammonium soit d'une réduction des nitrates. Les normes algériennes indiquent une valeur maximale de 0.1 mg/L, la valeur enregistrée de nitrite pour l'eau étudiée est inférieure à 0.001 mg/L ce qui répond aux normes Algérien (NA_{≥50}mg/l).

III .5. Résultats et interprétations de l'analyse d'autres paramètres

III .5.1. Titre alcalimétrique (TA)

Tableau IX : Teneur en TA (mg/l de CaCO₃) des eaux de sources de Toudja.

prélèvements	Thimanithine	Ait Smail	El-Ainser	Samta	NA
Avril	0	0	0	0	/
Mai	0	0	0	0	
Juin	0	0	0	0	

Le titre alcalimétrique TA est nul (absent) pour tous les points de prélèvement, car le pH est inférieur à 8,3 d'où l'absence des bases forts (carbonates, les alcalins libres) qui caractérise les eaux naturelles et potables.

III .5.2. Titre alcalimétrique complet (TAC)

La figure suivante représente l'histogramme des Teneur en TAC (mg/l de CaCO₃) des eaux de sources de Toudja :

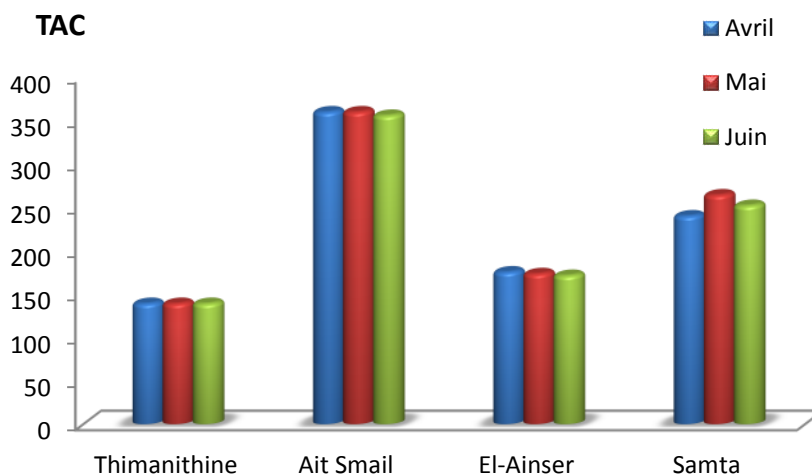


Figure (28) : Variation des Teneurs en TAC (mg/l de CaCO₃).

Le titre alcalimétrique T A est nul pour toutes les points de prélèvement, car le pH est inférieur à 8,3 d'où l'absence des bases fortes (carbonates, les alcalines libres) qui caractérise les eaux naturelles et potables.

Le titre alcalimétrique complet TAC varie entre 140 mg/l à 360 mg/l pour tous les points de prélèvement. La valeur maximale est constatée dans les échantillons de la source d'Ait Smail et Samta. Les teneurs varient peu d'une série d'échantillonnage à une autre, qui montre une stabilité de la composition en carbonate et hydrogénocarbonate des eaux analysées.

III .5.3. Résidus sec

L'histogramme suivant représente les valeurs des eaux de sources de Toudja.

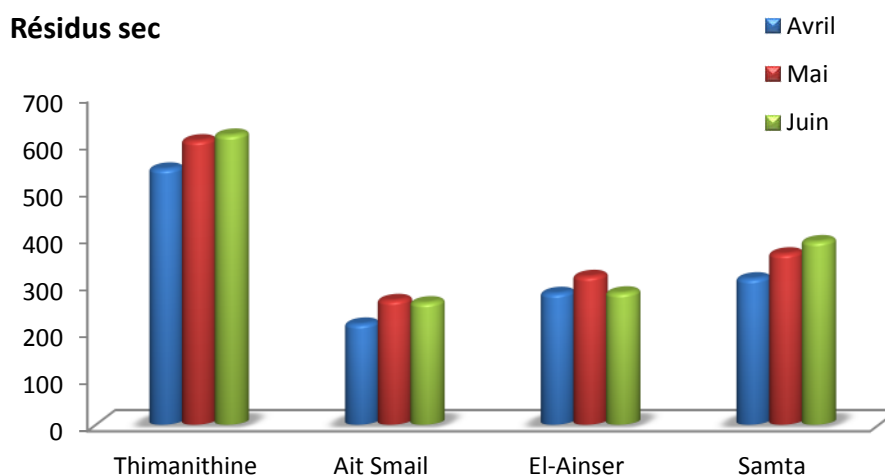


Figure (29) : Variation des résidus secs (mg/l) pour l'eau des sources de Toudja.

La détermination du résidu de l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspensions non volatiles. Elle permet aussi d'évaluer la minéralisation d'une eau, mais d'une façon différente.

Les résultats analytiques indiqués sur la figure n° () ci-dessus révèlent une variation importante du résidu sec à 105°C. Les valeurs vont de 214 mg/l jusqu'à frôler les 600 mg/l ; ce qui traduit une eau d'une minéralisation importante.

L'eau des sources Ait Smail et El Ainser est considérée comme d'excellente qualité par l'OMS qui définit ainsi une eau dont la teneur en extrait sec est inférieure à 300 mg/l. malgré leurs valeurs importante, les sources Thimanithine et Samta répondent aux normes algériennes des eaux, qui est inférieur à 1500mg/l.

III .6. Résultats et interprétations d'analyses des métaux lourds

III .6.1. Plomb (Pb)

Le plomb est présent dans la croûte terrestre et dans tous les compartiments de la biosphère, à des teneurs de l'ordre de 13mg/kg, sous forme de dérivés peu solubles. Les sols acides sont généralement moins riches en plomb que les sols alcalins (**RODIER et al, 2009**). Les rejets dans l'eau sont principalement anthropiques, ils proviennent d'abords des industries de première et deuxième fusion du plomb, et au niveau urbain et routier, des rejets des véhicules à moteur (**Benada. Kh, 2011**).

Les résultats d'analyses dévoilent que les quatre sources étudiées présentent des valeurs du plomb qui varie de 0,0065 à 0,0118 (mg/l), cette présence s'explique par la proximité des sources aux routes.

III .6.2. Nickel (Ni)

Il existe des sources naturelles de nickel mais il est principalement obtenu à partir de minerais de nickel sulfurés dans lesquels sont également présents le fer et le cuivre, les incendies de forêts contribue au rejet du nickel dans l'air.

Les sources d'émission vers les eaux superficielles sont les rejets diffus agricoles, du fait de la présence naturelle de Nickel dans les sols, et aussi de la présence artificielle en provenance d'engrais phosphatés). Les résultats d'analyses des échantillons dévoilent que les valeurs du nickel sont inférieur à 0,05 mg/l ($C_{Ni} < 0,05$) ce qui est conforme aux normes algériennes de l'eau ($NA > 0,02$)

III .7. Résultats et interprétations d'analyses bactériologiques

Les analyses bactériologiques ont été effectuées au niveau du laboratoire A.D.E, et consiste à la recherche des Coliformes totaux et fécaux, des Streptocoques fécaux et des germes totaux. Les résultats obtenus lors du stage pratique de mois d'avril au mois du juin sont regroupés dans le suivant :

Tableau (1) : Les résultats d'analyses bactériologiques du mois d'avril au mois du juin :
(voir Annexe 2)

La méthode utilisée pour cette analyse est la méthode par incorporation en milieu gélosé et la méthode par filtration sur membrane.

L'eau souterraine est le vecteur des microorganismes pathogènes ou non pathogènes. Lorsque le pouvoir d'autoépurations du sol est très efficace, pratiquement l'eau souterraine en est dépourvue dans les conditions naturelles. Un problème particulier est posé par les aquifères au sein desquels l'autoépuration est faible, nulle (CASTANY G., 1982).

Les eaux des nappes peu profondes sont souvent contaminées après de fortes précipitations (RODIER J., 2009).

Concernant l'eau des sources étudiées, les analyses bactériologiques ont permis d'en déduire les résultats suivants :

III .7.1. Les Coliformes totaux et fécaux

Les Coliformes totaux parmi lesquels *E.coli*, représentent approximativement 10% des micro-organismes intestinaux humaines et animaux, sont considérées comme étant un organisme indicateur de pollution (Rodier et al 2005).

La réglementation de notre pays exclue impérativement la présence des coliformes fécaux et des coliformes totaux dans 100 ml.

En ce qui concerne l'eau en objet, pour la source **El Ainsar**, on constate l'absence des coliformes totaux témoignée par l'existence des tubes positifs confirmant l'absence des coliformes fécaux, en particulier *Escherichia-Coli*. Ceci montre que l'eau de cette dernière est conforme aux normes concernant les coliformes fécaux. Pour les autres sources (Thimanithine, Ait Smail et Samta),



Figure (30) : Dénombrement des Coliformes totaux et fécaux et E.coli.

On remarque l'absence totale d'*Escherichia-Coli*, donc y a pas une contamination récente par des matières fécales et de pathogènes responsables de maladie. Mais pas les Coliformes totaux, on remarque Les résultats obtenus varient entre 05 à 19 à 37°C. Ce que on constate si que, L'E. coli est absent, mais que les coliformes totaux sont présents, il y a trois possibilités :

- Il se peut qu'une couche de bactéries se soit formée à l'intérieur de nos sources ou de la tuyauterie. Cette couche porte le nom de pellicule biologique.
- Il se peut que l'eau de surface pénètre dans nos sources, ce qui accroît les risques de contamination par matières fécales animales.
- Il se peut que l'eau de nos sources provienne d'un aquifère contenant des bactéries. Cela peut se produire quand l'eau souterraine provient d'une source peu profonde

III .7.2. Les Streptocoques fécaux

La même exigence pour les coliformes fécaux est portée sur les Streptocoques fécaux, c'est aussi le cas de l'eau des sources étudiée, pour les deux sources (**El Ainser et Samta**) on constate l'absence totale des Streptocoques fécaux.

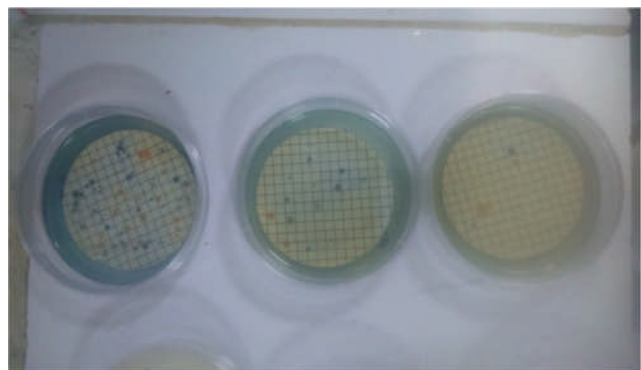


Figure (31) : Dénombrement des Streptocoques fécaux (photo original).

Confirmant ainsi les normes de potabilité en relation avec ce paramètre.

Par contre (**Thimanithine et Ait Smail**), on remarque les résultats obtenus varient entre 02 et 04 colonies et sa due soit à :

- Une couche de bactéries se soit formée à l'intérieur de nos sources.
- Pénétration de l'eau de surface dans nos sources, ce qui accroît les risques de contamination par matières fécales animales.
- l'eau de nos sources provienne d'un aquifère contenant des bactéries.
- Une source mal protéger ou mal entretenu peut accroître les risques de contamination.

III .7.3. Les Germes totaux

Le dénombrement des germes totaux est considéré comme un type d'indicateur beaucoup plus général, vis-à-vis de toute pollution microbiologique, celui-ci détermine la totalité de la charge bactérienne. La stabilité des dénombrements bactériens est donc un bon signe de protection.

Les résultats obtenus varient entre 01 à 11 germes /ml à 22°C, et 01 à 03 germes /ml à 37°C pour les trois sources (**Thimanithine, Ait Smail et Samta**), Ils restent toutes fois conformes aux normes prescrites par la réglementation algérienne (≤ 10 germes par ml à 37°C et ≤ 100

germes par ml à 22° C). Pour la source **El Ainsar**, on constate l'absence totale des germes, traduit la stérilité de cette eau et l'absence de toute pollution microbiologique, d'une part la filtration naturelle du sol et le type du terrain traversé a une importante influence sur la flore qu'on peut rencontrer, d'autre part l'entourage du site d'exploitation de cette source est loin de toute forme de pollution à savoir ; industrielle, urbaine, agricole ...etc.

Conclusion
et
Perspectives

L'eau constitue un élément essentiel pour l'organisme humain, et sa consommation journalière par tous implique une surveillance étroite tant sur le plan organoleptique que physico-chimique et bactériologique.

L'étude menée au cours de ce modeste travail a pour but d'évaluer la qualité organoleptique, physico-chimique et bactériologique de quatre sources d'eau située à la commune de Toudja (Béjaia) destinée à la consommation humaine.

Il en ressort de cette étude que :

1. Les eaux de ces sources sont classées comme des eaux carbonatées.
2. Du point de vue organoleptiques, les échantillons prélevés sont clairs ne présentent ni odeur, ni saveur désagréable.
3. Du point de vue physico-chimique, l'ensemble des résultats obtenus ont révélé une dureté importante de l'ordre de 200 à 464 (mg/l), une conductivité de 415 à 730 ($\mu\text{s}/\text{cm}$), donc c'est des eaux qui sont dure avec une minéralisation plus ou moins importante.

Ces paramètres effectués obéissent donc aux normes de potabilité de l'eau.

4. Du point de vue bactériologique, les résultats obtenus montrent l'absence de tous germes indicateurs de pollution dans l'échantillon "C" (El-Ainseur), contrairement aux autres sources (A, B, D) on note leurs présences, telle que les Coliformes totaux, fécaux, Streptocoques fécaux, avec un faible taux des germes totaux.

Ainsi l'eau de la source A (El-Ainseur), ne présente aucun danger pour la consommation humaine sur le plan bactériologique. Néanmoins les autres sources contaminées présentent un réel danger pour la consommation domestique.

Les perspectives qui ressortent à l'issu de ce travail c'est pour répondre aux questions suivantes:

1. Est-ce que la contamination bactériologique n'est pas causée par la présence d'une fosse septique ?
2. Peut-on installer un système qui permettra de traiter ces sources contaminées s'il est impossible de supprimer la source de contamination ?

Références bibliographiques

- ❖ **ADE de Bejaia, (2016).** Algérienne Des Eaux, unité de Bejaïa.
- ❖ **ADL S. (2006).** La Classification des Eucaryotes et la Taxonomie des Parasites. Université d'Oxford, États-Unis d'Amérique.
- ❖ **ARMAND L., (1996).** Mémento technique de l'eau. Edition : Tec et Doc.
- ❖ **ASSOULINE S. et ASSOULINE J. (2007).** Géopolitique de l'Eau : Nature et Enjeux. Edition Studyrama Perspectives.
- ❖ **ATTEIA O. (2005).** Chimie et pollutions des eaux souterraines. Editions Tec Doc Lavoisier, Paris.
- ❖ **B.E.A.E. Bejaia.** Bureau d'études en Aménagement et environnement "Bejaia".
- ❖ **BILLAULT C. (1989).** Le rôle épurateur du sol : le sol, l'eau et les polluants. Edition
- ❖ **BLIEFERT C. et PERRAUD R. (2001).** Chimie de l'environnement AIR, EAU, SOLS, DÉCHETS. De Boeck & Larcier S.A.
- ❖ **BONNIN J., 1982.** Aide-mémoire d'hydraulique urbaine. Edition. Ayrolle. P : 23-24-
- ❖ **BORDET J. (2007).** L'eau dans son environnement rural. Edition Johanet. Paris
- ❖ **BOUZIANI M. (2000).** L'eau de la pénurie à la maladie. Édition IBN KHALDOUN
- ❖ **BOUZIANI M. (2000).** L'eau de la pénurie aux maladies. Editions IBN-KHALDOUN. P 76, 77.
- ❖ **CASTANY G. (1982).** Principes et Méthodes de l'Hydrogéologie. Edition DUNOD, Paris, France.
- ❖ **CHAUSSADE J.I. ROVEL J.M., MOUCHET P., ANDRIAMIRADO I., MARCHAND D., LESOILLE M., BAIG S., MAZONIE P., BOURDILOT J.C., BONNOLYE V., HESSE C., HAURBY A., MOLES J., NICL R ET SANZ M.A. (2005).** Mémento technique de l'eau dégerment. Tome I. 10^{ème} édition, Lavoisier Tec DOC. Paris.
- ❖ **CHERY L. (2006).** Qualité Naturelle des Eaux Souterraines : Méthodes de Caractérisation des Etats de Référence des Aquifères Français. Edition BRGM, Orléans, France.
- ❖ **CHERY L., DICTOR M.C., BARANGER P., MICHEL K., BARBIER J., CLOZEL B., TOUZE S. et BROSSELIN P. (2004).** Qualité des eaux d'Alimentation. Edition BRGM, France.

- ❖ **CHOISNEL E. (1999).** Le cycle de l'eau ; in : «L'eau : milieu naturel et maîtrise, Tome 1». INRA, Paris. ISSN: 1250-5218 ISBN: 2-7380-0854-2 Tome1 - 2-7380-0855-0 (HY. 47/T1).
- ❖ **COUTURE, (2004).**
D'échantillonnage.
- ❖ **DEFRANCESCHI N, 2001.** L'eau dans tous ses états. Ed. Ellipse. 127p.
- ❖ **DESJARDINS R. (1997).** Le traitement des eaux deuxième Edition de l'école polytechnique de Montréal.
- ❖ **DOVONOU E.F (2008).** La pollution des plans d'eau au Bénin, Université d'Abomey-calavi(Bénin) - DEA en Environnement, Santé et Développement.
- ❖ **DUGUET J.P., BERNAZEAU F., CLERET D., GAID A., LAPLANCHE A., MOLES J., MONTIEL A., RIOU G. et SIMON P. (2006).** Réglementation et Traitement des Eaux Destinées à la Consommation Humaine. 1ere Edition, ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'Environnement). Editions Marketing, Paris. ISBN 978-2-7298-5233-7.
- ❖ **FALL C. (2007).** Etude de la qualité de l'eau de robinet et de celle de la nappe phréatique dans les différentes Communes d'Arrondissement du département de Guédiawaye, Dakar, Sénégal. Thèse de maitrise, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal.
- ❖ **GAUJOUS D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. 2^{ème} Edition, Lavoisier Tec et Doc, Paris, France.
- ❖ **GOMELLA G. et GUERREE H., 1980.** Guide de l'alimentation en eau dans les agglomérations urbaines et rurales. Tome 1:La distribution.3eme édition Eyrolles. P:21-22.
- ❖ **GOMELLA G., GUERREE H. et NEVEUX MARC, 1974.** La distribution de l'eau dans les agglomérations urbaines et rurales. Edition Ayrolle.
- ❖ **GROSCLAUDE G. (1999).** L'eau milieu naturel et maîtrise Tome 1 Ed INRA Paris.
- ❖ **GROSCLAUDE G. (1999).** L'eau, usage et polluants, Tome 2 Ed INRA Paris.
- ❖ **ISO 9297 – NA 6917 -** Qualité de l'eau – Dosage de chlorures – Titrage au nitrate
- ❖ **J.Rodier (1984).** analyse de l'eau (Eau naturelle-Eau résiduaire-Eau de mer) (Edition. DUNOD-BORDAS Paris 1984-7^{ème} Edition)
- ❖ **KADI A. (1997).** La Gestion de l'Eau en Algérie. Edition Lavoisier Tec.et Doc, Limoges, France.

- ❖ **KETTAB A. (2001).** Les Ressources en Eau en Algérie : Stratégies, Enjeux et Vision. Edition Elsevier Science B.V.
- ❖ **MAHUZIEM.G et HAMON.M, (1978).** Abrégé de chimie analytique. Ed. Masson, Paris.
- ❖ **MAIGA A.S. (2005).** Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : Evaluation saisonnière. Thèse de doctorat, Université de Bamako, Mali.
- ❖ **MICHARD G. (2002).** Chimie des eaux naturelles. Principes de géochimie des eaux. Edition publisud. 565 p.
- ❖ **NA 751 :** Eaux potables, Eaux minérales - Détermination du pH.
- ❖ **NA 753 (1998) :** Qualité de l'eau - Echantillonnage - Guide général sur les techniques
- ❖ **Norme NF EN ISO 6222 (1986) :** Dénombrement des microorganismes revivifiables : comptage des colonies par ensemencement dans un milieu de culture nutritif gélosé. Notice d'impact sur l'environnement d'une unité de transformation de CAROUB, Commune Toudja, Daïra d'El Kseur. office national de l'eau. Oran.
- ❖ **Organisation Mondiale de la Santé (2004).** Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson.
- ❖ **Organisation Mondiale de la Santé (2008).** Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson.
- ❖ **POTELON, J et ZYSMAN, K. (1998) :** Le guide des analyses d'eau potable. Edition la lettre du Cadre Territorial.
- ❖ **REJSEK F. (2002).** ANALYSE DES EAUX ; Aspects réglementaires et techniques. Ed Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine. ISBN 2-86617-420-8 ; (M.96)
- ❖ **RODIER J., LEGUBE B., MERLET N. et BRUNET R. (2009).** L'analyse d'eau. 9^{ème} Ed, Dunod, Paris. ISBN 978-2-10-054179-9
- ❖ **ROUGIER H. et WACKERMANN G. (2009).** L'eau ressources et usages. Ellipses
- ❖ **ROUX M. (1989).** Analyse biologique de l'eau. 'Etude de Synthèse'.
- ❖ **SALESSE (2011)**
- ❖ **SCHRIVER-MAZZUOLI L. (2012).** La gestion durable de l'eau : ressources, qualité, organisation. Dunod, Paris. ISBN 978-2-10-055026-5 (HY.151).

- ❖ **SCHWARTZBROD L. (2000).** Virus humains et santé public conséquences de l'utilisation des eaux usées et des boues en agricultures conchyliculture. Université de NANCY France.
- ❖ **Service études travaux et exploitation réseaux, reins métropole, 2014.**
- ❖ **TARDAT (1992).** Chimie des Eaux. Edition Le Griffon d'Argile.
- ❖ **VILAGINES R. (2003).**Eau, environnement et santé publique: introduction à l'hydrologie. 2èmeEd, Lavoisier, Paris. ISBN 2-7430-0604-8 (HY.43).
- ❖ **VILAGINES R. (2003).**Eau, environnement et santé publique: introduction à l'hydrologie. 2èmeEd, Lavoisier, Paris. ISBN 2-7430-0604-8 (HY.43).
- ❖ **VILAGINES R., 2000.** Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie. Edition: Tec et Doc. Lavoisier.
- ❖ **Fidelibus et al. (1996)**

Références web

- ❖ **Association GEHIMAB (2012).** Laboratoire LAMOS, Université de Bejaïa.
- ❖ **Site Internet 1 :** Le cycle de l'eau, CE2 MIRI école de MATAIREA.

Sources:

- ❖ **ANONYME 1 (2009).** Calcium et Magnésium : Risques pour la santé. Disponible sur Internet : www.gov.ns.ca
- ❖ **ANONYME 2 (2004).** Effets du Potassium et du Sodium sur la Santé. Disponible sur Internet : www.lenntech.fr
- ❖ **ANONYME 3 (2016).** Les streptocoques : Analyse d'eau. Internet : www.experteau.com
- ❖ **ANONYME 4 (2016).** **Qu'est-ce que le TDS?**
http://eaudepot.com/pages/qu2019est2dce_que_le_tds.html

Annexes

ANNEXES N°1

D'après le journal officiel de république algérienne démocratique et populaire correspond au 19 juin 2011.

Objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau potable des populations.

Groupes de paramètres	Paramètres	Unité	Valeur maximale	
			Eaux superficielles	Eaux souterraines
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Echelle Pt	200	20
	Odeur (taux dilution à 25°)	–	20	3
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Chlorures	mg/l	600	500
	Concentration en ions hydrogène (pH)	Unité de Ph	≥6,5 et ≤ 9	≥6,5 et ≤ 9
	Conductivité	µs/cm à 20°C	2800	2800
	Demande biochimique en oxygène (DBO 5)	mg/l O2	7	< 3
	Demande chimique en oxygène(DCO)	mg/l O2	30	–
	Matières en suspension	mg/l	25	25
	Sulfates	mg/l SO4	400	400
	Taux de saturation en oxygène dissous	% O2	30	> 70
	Température	°C	25	25
Paramètres chimiques	Ammonium	mg/l	4	0,5
	Baryum	mg/l	1	0,7
	Bore	mg/l	1	1
	Fer dissous	mg/l	1	0,3
	Fluor	mg/l	2	1,5
	Manganèse	mg/l	1	0,05
	Nitrates	mg/l NO3	50	50
	Phosphore	mg/l	10	5
	Arsenic	µg/l	100	10
	Cadmium	µg/l	5	5
	Chrome	µg/l	100	50
	Cuivre	mg/l	2	0,05
	Cyanures	µg/l	100	50
	Mercure	µg/l	10	6
	Plomb	µg/l	50	10
	Sélénium	µg/l	50	10
Zinc	mg/l	5	5	
Hydrocarbures polycycliques aromatiques	µg/l	1	0,2	

	Hydrocarbures dissous	µg/l	1000	10
	Phénols	µg/l	2	0,5
	Agents de surfaces	mg/l	0,5	0,2
	Azote kjeldhal	mg/l	3	1
	Pesticides	µg/l	1	0,5
Paramètres microbiologiques	Escherichia coli	n/100 ml	20	20
	Entérocoques	n/100 ml	10	20
	Salmonelles	-	Absence dans 1000 ml	Absence dans 5000 ml

Les normes de potabilité selon l'OMS en 2006

GROUPE DE PARAMETRE	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physiques	PH		Pas de valeur guide mais un optimum entre 6,5 et 9,5
	Conductivité		pas de norme
	Température		Acceptable
	Turbidité		Non mentionnée
Paramètres organoleptiques	Couleur		Pas de valeur guide
	Goût et odeur		Acceptables
Eléments toxiques	Arsenic (As)	mg/l	0.01
	Cadmium(Cd)	mg/l	0,003
	Chrome Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	mg/l	chrome total : 0,05
	Cyanure (CN ⁻)	mg/l	0,07
	Mercure (Hg)	mg/l	inorganique : 0,006
	Sélénium(Se)	mg/l	0,01
	Plomb(Pb)	mg/l	0,01
	Antimoine(Sb)	mg/l	0.02
	Fer(Fe)		Pas de valeur guide
	Manganèse(Mn)	mg/l	0 ,4
Eléments indésirables	Aluminium(Al)	mg/l	0,2
	Cuivre (Cu ²⁺)	mg/l	2
	Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	0.5

	Argent		Pas de valeur guide
	Fluorures	mg/l	1,5
	Zinc(Zn)	mg/l	3
	Bore(B)	mg/l	0.5
	Hydrocarbures aromatiques polynucléaires C ₂ H ₃ N ₁ O ₅ P ₁ 3	µg/l	0.1
	Pesticides	mg/l	0.0001
Minéralisation Globale	THM (Trihalométhanes) C Cl ₄	µg/l	4
	CalciumCa ²⁺	mg/l	100
	Chlorures(Cl)	mg/l	250
	Dureté mg/l CaCO ₃	Ppm	200
	Sodium (Na)	mg/l	20
	Potassium (K ⁺)	mg/l	12
Paramètres microbiologiques	Coliformes totaux	nb/100ml	0
	Streptocoques fécaux	nb/100ml	0
	Clostridium Sulfito-Réducteurs	nb/100ml	0
	Staphylocoques pathogènes	nb/100ml	0
	Spores des bactéries	nb/20ml	0
	Vibrions cholériques	nb/10ml	Absence
	Salmonella	nb/5l	Absence

ANNEXES N°2

Tableau(1) : Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologique pour les quatre sources de Toudja.

Paramètres	Source n°01(A)			Source n°02(B)			Source n°03(C)			Sources n°04(D)		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
pH	7.75	7.31	7.61	6.78	6.92	6.82	7.06	7.22	7.17	6.84	6.78	6.80
Conductivité (µs/cm)	415	440	430	702	730	712	475	490	471	538	583	541
TDS (mg/l)	225	235	231	384	395	386	258	263	261	293	314	301
Turbidité (NTE)	1.86	0.703	0.815	0.375	0.342	0.352	0.137	0.321	0.221	0.798	0.632	0.698
Salinité (%)	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
T (C°)	15	21.8	17.2	15.1	21.6	17.6	14.8	21.4	17.1	14	21.5	17.3
TA (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TAC (mg/l)	140	140	140	360	360	356	176	174	172	240	264	252
Chlorures (mg/l)	58.93	47.14 4	53.037	47.144	35.358	41.25 1	70.71 6	55.98 3	64.82 3	64.82 3	44.19 7	55.98 3
Nitrites (mg/l)	0.004	0.006	0.005	0.003	0.006	0.005	0.003	0.005	0.004	0.003	0.006	0.005
Nitrates (mg/l)	1.717	1.766	1.712	0	0	0	0.221	0.981	0.674	0	0	0
TH (mg/l)	200	204	204	460	456	464	280	212	248	320	332	324
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0.000	0.004	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0	0	0.005	0.002 5	0.004
Ca ²⁺ (mg/l)	72	70.4	68.8	168	144	161.6	62.4	46.4	51.2	94.4	107.2	100.8
Mg ²⁺ (mg/l)	4.84	6.776	7.744	9.68	23.23	14.52	30.00 8	23.23 2	29.02	20.32 8	15.48 8	17.42 4
Fer (mg/l)	0.056	0.018	0.035	0.093	0.049	0.076	0.103	0.059	0.088	0.105	0.079	0.095
Sulfate (mg/l)	30.03	34.45 5	31.13	53.55	60.78	58.78	16.27	12.61	13.61	23.54	25.52 5	23.91
Résidus sec (mg/l)	545	605	617	214	265	260	280	316	28	311	364	390
Plomb (ppm)	0.0107			0.018			0.0065			0.0076		
Nickel (ppm)	0.05<			0.05<			0.05<			0.05<		
Germes totaux à 37 (colonie)	1	1	2	1	1	3	0	0	0	0	0	0
Coliforme à 37°C (colonie)	18	19	19	5	3	7	0	0	0	0	0	8
Streptocoque à 37°C (colonie)	présence	présence	présence	présence	présence	présence	0	0	0	0	0	0
E. coli (colonies)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Germes totaux à 22° (colonie)	3	3	6	5	3	7	0	0	0	9	6	8
Coliformes à 22°C (colonie)	Présence	Présence	présence	présence	présence	présence	0	0	0	Présence	0	Présence
Streptocoque à 22°C (colonie)	2	3	4	2	2	3	0	0	0	0	0	0

Tableau(2): Les résultats d'analyses bactériologiques du mois d'avril au mois du juin :

Dates	Echantillons	Germes Totaux (UFC/ml)		Coliformes totaux/ml		E.coli/1ml CCT	Streptocoques fécaux/ml	
		22°C	37°C	22°C	37°C		22°C	37°C
Avril	Thimanithine	3	1	Présence	18	Absence	2 colonies	Présence
	Ait Smail	1	3	Présence	5	Absence	2 colonies	Présence
	El Ainser	0	0	0	0	0	0	0
	Samta	9	0	Présence	7	0	0	0
Mai	Thimanithine	3	1	Présence	18	Absence	3 colonies	Présence
	Ait Smail	3	3	Présence	5	Absence	2 colonies	Présence
	El Ainser	0	0	0	0	0	0	0
	Samta	6	0	0	0	0	0	0
Juin	Thimanithine	6	2	Présence	19	0	4 colonies	Présence
	Ait Smail	7	3	Présence	7	0	3 colonies	Présence
	El Ainser	0	0	0	0	0	0	0
	Samta	11	0	Présence	8	0	0	0
Normes	NA	≤100	≤10			Absence		
	OMS	/	/	<10		Absence	Absence	Absence

Matériel et méthodes

Tableau IX : récapitulatif des différentes analyses physico-chimiques.

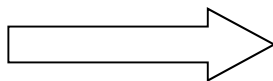
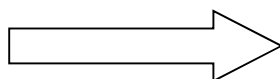
Paramètres Mesurés	Méthodes	Appareillages
pH	Potentiométrie	pH mètre (sens ION3 HACH)
Couleur	Spectrométrie d'absorption UV-Visible	Spectromètre (HACH)
Température	/	Conductimètre (LF538)
Conductivité	/	Conductimètre (LF538)
Turbidité	/	Turbidimètre (2100N HACH)
Alcalinité	Volumétrie	/
Dureté	Titrimétrie à l'EDTA	/
Calcium	Titrimétrie à l'EDTA	/
Chlorures	Titrimétrie avec nitrates d'argent	/
Fer	Spectrométrie d'absorption UV-Visible	Spectromètre (HACH)
Ammonium	/	Spectromètre (HACH)
Nitrites	/	Spectromètre (HACH)
Nitrates	/	Spectromètre (HACH)
Sulfates	/	Spectromètre (HACH)
TDS	/	Conductimètre (LF538)
Salinité	/	Conductimètre (LF538)
TAC	Titrimétrie avec l'acide chlorhydrique	/
TH	Titrimétrie à l'EDTA	/

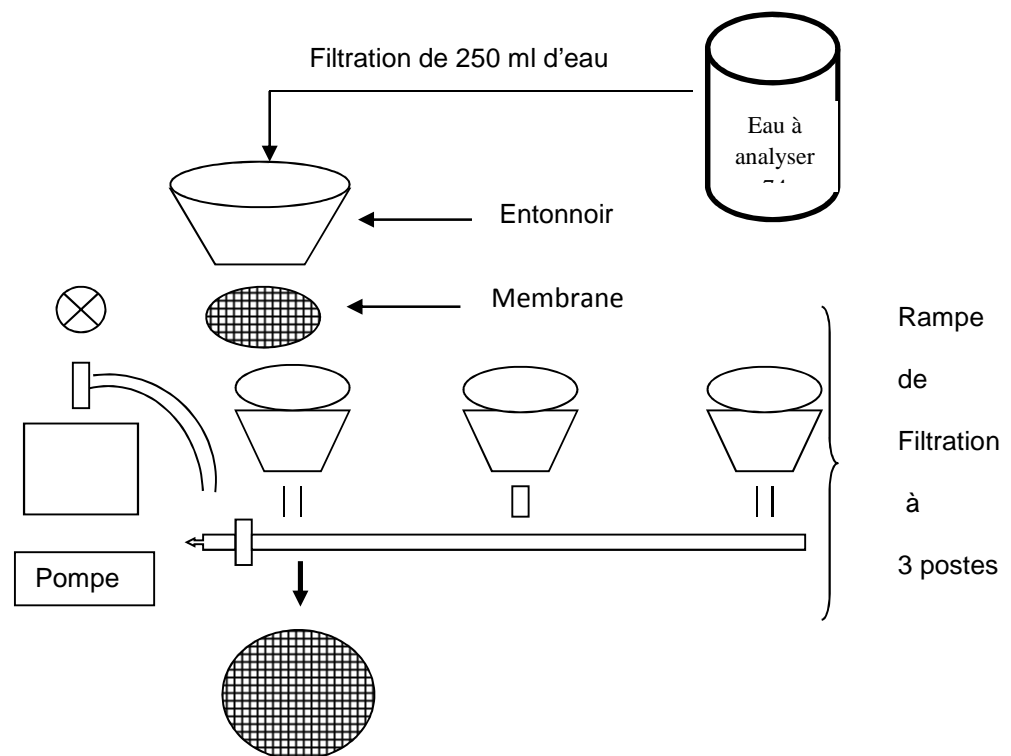
Echantillons destinés aux analyses bactériologiques

Au moment du prélèvement,

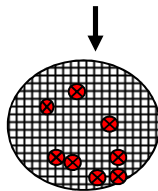
- Dans le cas d'une nappe ouverte : le flacon est débouché et émergé complètement en position vertical et renversé en le tenant par le fond, il est alors retourné jusqu'à ce que l'ouverture soit légèrement plus haute que le fond.
- Dans le cas d'un lac ou d'une retenue d'eau : il y'a lieu de choisir plusieurs points de prélèvement et en chacun d'eux de prélèvement de plusieurs échantillons, à différentes profondeurs pour tenir compte de l'hétérogénéité vertical et horizontale.
- Dans le cas d'une vanne ou robinet : ouvrir le robinet, laisser l'eau couler pendant environ 5 minutes. Désinfecter le robinet soit en passant une tige de coton imbibé d'éthanol à 90%, ou une flamme d'un chalumeau, pendant au moins deux minutes (2 min). Procéder au flamage du goulot du flacon avant et après remplissage.

Les flacons sont remplis au 3/4. Ceci afin de maintenir en vie les bactéries aérobies et de pouvoir agiter et mélanger l'échantillon avant l'analyse. Les prélèvements doivent être scellés et munis d'une étiquette portant le code pour faciliter leur identification (**NA 753, 1998**).

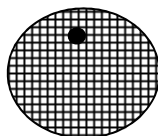
D)- Les analyses physico-chimiques effectuées au niveau de laboratoire SEAAL**1)-Dosage de chlorure****Avant titrage****Après titrage****2)- Dosage de la dureté****3)-Dosage de calcium****Après titrage****Avant titrage****Après titrage**

III) Confirmation des streptocoques dans le milieu B.E.A**Gélose SLANETZ et BARTLEY**

$36 \pm 2^\circ\text{C}$, 44 ± 4 heures

**Gélose Bile, Esculine, Azoture**

$44 \pm 0,5^\circ\text{C}$, 2 heures



Compter le nombre de colonies caractéristiques et le rapporter à 100 ou

II)-matériels de détermination des paramètres microbiologiques.



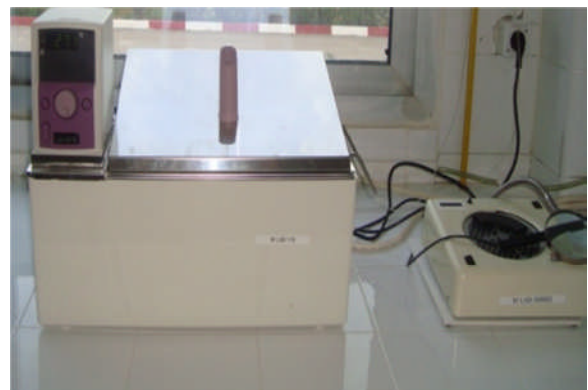
Réfrigérateur pour milieux de culture



Réfrigérateur pour flacons stériles



Autoclave



Bains marie

RESUMÉ

L'eau des sources de Toudja dite "*Thimanithine, Ait Smail, Samta et principalement El Ainser*" représentent une ressource importante pour l'alimentation en eau potable pour les habitants de la commune de Toudja (wilaya de Bejaïa). A cet effet, le présent travail consiste à effectuer une étude qualitative et quantitative du point de vue physicochimique et bactériologique de l'eau des sources en se basant sur les normes algériennes de potabilité des eaux de consommation et la réglementation en vigueur, ceci pour assurer la santé et le bien-être du consommateur. Cette étude consiste à la comparaison entre quatre sources d'eau de tranches altitudinales différentes.

Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que cette eau est dure et minéralisée avec une teneur élevée en magnésium, par rapport aux autres ions considérés : ceci est lié aux terrains traversés. Cependant, les résultats obtenus obéissent aux normes de potabilité de l'eau sans exception. Concernant l'analyse bactériologique, pour la source "El Ainser" les résultats ont révélé l'absence totale des indicateurs de contamination fécale tels que les Coliformes totaux, fécaux et Streptocoques fécaux. On conclue que cette eau est de bonne qualité. Elle est propre à la consommation humaine. Par contre les trois autres sources présentent un faible taux de germes totaux et de coliformes qui reste dans les normes algériennes.

Mots clés : eau, eaux souterraines, source, analyses physico-chimiques, analyses bactériologiques, normes de potabilité.

ABSTRACT

Water sources Toudja called "Thimanithine, Ait Smail, Samta and mainly El Ainsar" represent an important resource pour l'alimentation drinking water for people beyond common deToudja (wilaya of Bejaia). To this end, the present work is to conduct a qualitative and quantitative study of physicochemical and bacteriological point of view of the sources of water based on the Algerian standards of potability of drinking water and effective regulation, this to ensure health and well-being of the consumer. This study consists in comparing four water sources in different altitudinal ranges.

The results of physicochemical analyzes showed that this water is hard and mineralized with a high content of magnesium, compared to other ions considered: this is linked to the land traversed. However, the results obtained obey the drinking water standards with no except. Concerning bacteriological analysis for the source "El Ainsar" the results revealed the total absence of fecal contamination indicators such as Total coliforms, faecal streptococci and faecal. We concluded that this water is good quality. It is for human consumption. As against the other three sources present a low rate of total bacteria and coliform remaining in the Algerian standards.

Key words: water, groundwater source, physical and chemical analysis, bacteriological, drinking water standards.