

République Algérienne Démocratique et Populaire
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Saad DAHLAB-Blida

Faculté des sciences Agro-Biologiques

Département des Sciences Agronomiques

Filière des Sciences Alimentaires

Option : Nutrition et Contrôle des Aliments

Mémoire

*En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Nutrition et Contrôles des
Aliments*

THEME

**Qualité physico-chimique et
microbiologique des eaux de puits**

Présenté par : M^{elle} BERKANI Asmaa

Soutenu devant le jury :

M ^{me} H. ACHEHAB	MCB	USDB	Présidente
M ^{me} A. DOUMANDJI	MCA	USDB	Promotrice
M ^{elle} S. FERNANE	MCB	USDB	Examinatrice
M. N. BOUSBIA	MCB	USDB	Examineur

Année universitaire: 2012-2013

République Algérienne Démocratique et Populaire
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Saad DAHLAB Blida

Faculté des Sciences Agro-Biologiques

Département des Sciences Agronomiques

Filière des Sciences Alimentaires

Option : Nutrition et Contrôle des Aliments

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Nutrition et Contrôles des Aliments

THEME

**Qualité physico-chimique et
microbiologique des eaux de puits**

Présenté par : M^{elle} BERKANI Asmaa

Soutenu devant le jury :

M ^{me} H. ACHEHAB	MCB	USDB	Présidente
M ^{me} A. DOUMANDJI	MCA	USDB	Promotrice
M ^{elle} S. FERNANE	MCB	USDB	Examinatrice
M. N. BOUSBIA	MCB	USDB	Examineur

Année universitaire: 2012-2013

REMERCIEMENTS

Je remercie DIEU de m'avoir donné la santé la patience, et les moyens, afin que je puisse accomplir ce modeste travail.

Je remercie ma promotrice, madame DOUMANDJI. A pour son engagement, sa disponibilité, son esprit scientifique et ses conseils judicieux.

J'exprime également mes remerciements aux membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce mémoire.

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et ma gratitude à Monsieur
Le chef du laboratoire central de la société des eaux et d'assainissement de Kouba-Alger
(SEAL) d'avoir accepté de m'accueillir au sein de son organisme.*

*Mes vifs remerciements s'adressent aux chefs des services de la société des eaux et
d'assainissement de Kouba-Alger (SEAL), ainsi que leurs ingénieurs, techniciens, pour
leurs conseils et leur aide technique.*

Qu'il me soit permis de remercier aussi :

Mon amie : Chentir Imene pour ses aides et sa compréhension

*Enfin je remercie tous ceux qui ont participé, de prêt et de loin, dans la réalisation de cet
travail.*

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents qui m'ont comblé d'amour et d'affection, qui m'ont toujours encouragée pour achever mes études tout en espérant voir le fruit de leurs sacrifices, qu'Allah les garde pour moi sains et saufs.

A mes chers sœurs Aouaouche et Oumaima et mon frère Mohammed pour leurs encouragements, leurs aides, leurs précieux conseils et surtout leur soutien moral.

A la mémoire de ma grand-mère ; Zhor.

*Toute ma famille maternelle et paternelle sans oublier ma seule grande mère qui reste :
Habiba qu'Allah la garde pour moi saine.*

A ma tante djawida et mon oncle Sid ahmed

A mes amis et mes cousines : Messaouda, Imene , Yasmine, sarah, safia, safaa, sihem

Et tous ceux qui m'ont aidé à accomplir cette tâche, soit directement ou indirectement.

Berkani Asmaa

RESUME

Notre étude s'intéresse au contrôle de la qualité physico-chimique et bactériologique de quatre puits provenant de la région de Médéa, (P1 : puits d'Ain Dhab, P2 : puits de Damiette, P3 : puits de Tenyet el hadjer et P4 : Puits de Takbou).

Les résultats obtenus pour les 4 puits lors de cette étude ont montré que : les puits n°2 de Damiette et Puit n°3 de Tenyet el hadjer et puits n°4 de Takbou sont de mauvaise qualité bactériologiques, le puits n°2 avec un taux de $7,81 \pm 4,91$ UFC/100mL de *Pseudomonas aeruginosa*, le puits n°3 de Tenyet el hadjer avec un nombre de coliformes totaux de 14,3 germes/ 100 mL et un nombre de *Pseudomonas aeruginosa* 13,80 UFC/100mL, et le puits n°4 de Takbou avec un nombre d'Entérocoques intestinaux de 8 germes/100 mL et un nombre de *Pseudomonas aeruginosa* de $11,47 \pm 3,89$ germes/100 mL . Le puits d'Ain Dhab est de bonne qualité microbiologique et physico-chimique.

Ces résultats trouvés dans cette étude sont probablement dus au manque ou à l'insuffisance de traitement ce qui est confirmé par le test de chlore où on a noté un taux de chlore négatif, ainsi sont dus à la profondeur des puits.

Concernant les résultats des analyses physicochimiques obtenues de tous les échantillons prélevés sont conformes aux normes Algériennes de l'eau potable sauf pour les nitrates qui ont dépassé la norme dans le Puits de Damiette (303,19 mg/L) et le Puits de Takbou (274,78 mg/L).

L'analyse statistique à révéler qu'il ya un effet significatif ($p < 0,05$) entre les quatre puits.

La consommation des eaux ne répondant pas aux normes de potabilité, peut nuire à la santé humaine.

Mots clés : Contrôle, qualité physico-chimique, qualité bactériologique, eaux de puits, Médéa

ABSTRACT

This study focus on the control of the physico-chemical and bacteriological quality of four wells from the Medea region (W1 : well Ain Dhab, W2: well Damiette, W3: well Tenyet el hadjer and W4: well Takbou).

The results for the four wells in this study were mounted as:

Wells n° 2 (Damiette) , Well n° 3(Tenyet el hadjer) and well n° 4 (Takbou) are poor bacteriological quality, well n° 2 with a rate $7, 81 \pm 4.91$ UFC/100mL of *Pseudomonas aeruginosa* , the well n° 3 (Tenyet el hadjer) with an total coliform bacteria $14.3 / 100$ mL and a number of *Pseudomonas aeruginosa* 13.80 UFC/100mL , the well n°4 (Takbou) with a number of intestinal enterococci 8 germs/100 mL and *Pseudomonas aeruginosa* is 11.47 ± 3.89 germs/100 mL.

The well of Ain Dhab is good microbiological and physicochemical quality.

The results found in this study are probably due to the lack or inadequacy of treatment which is confirmed by the chlorine test where there was a negative rate of chlorine, and the depth of the wells.

Regarding the results of physicochemical analyzes obtained from all wells are consistent with the Algerian standards of drinking water except for nitrate which exceeded the standard in Wells Damiette (303.19 mg / L) and Wells Takbou (274.78 mg / L).

The statistical analysis revealed that there is a significant ($p < 0.05$) between the four wells.

The consumption of water does not meet drinking water standards, can affect human health.

Keywords: control, bacteriological quality, physicochemical quality, well water, Medea

SOMMAIRE

INTRODUCTION	2
Chapitre 1 : Partie Bibliographique	
I. Généralités sur l'eau	
I.1. Définition de l'eau.....	6
I.2. Cycle de l'eau	6
I.3. Répartition de l'eau sur la terre	7
I.4. Ressources hydriques	8
I.5. Les sources d'alimentation en eau	9
II. Surveillance de la qualité de l'eau de puits	
II.1. Définition de la qualité	17
II.2. Critères et normes de qualité des eaux de puits	18
III. Eau, pollution et maladies	
III.1. Généralité sur la pollution de l'eau	32
III.2. Pollution des eaux	32
III.3. Pollution des eaux souterraines	33
III.4. Pollution des canalisations et des réservoirs d'eau	34
III.5. L'eau et les maladies	36
Chapitre 2 : Partie Expérimentale	
I. Matériel et méthodes	
1. Description de la zone d'étude	41
2. Principe adopté pour la présente étude	43
3. Prélèvement	43
4. Transport et conservation	45
5. Analyses bactériologiques	46
6. Analyses physico-chimiques	50
7. Analyse statistique	57
II. Résultats et discussion	
1. Résultats des analyses bactériologiques	59
2. Résultats des analyses physico-chimiques	62
3. Etude de l'effet de puits sur les paramètres physico-chimiques de l'eau.....	83
Conclusion	85
Références bibliographiques	89
Annexe.....	96

LISTE DES ABREVIATIONS

Ca: calcium

C.I.E : Centre d'Information sur l'Eau

CODB : carbone organique dissous biodégradable

Ddl : degré de liberté

DSP : Direction de la Santé et de la Population

E.c : *Escherichia coli*

Fe: Fer

INSP ; Institut National de Santé Publique

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

K: Potassium

MC : Moyenne des Carrés

Mg: magnésium

M.T.H : maladies à transmission hydrique

NTU : unité néphlométrique

P : probabilité

SC : somme des Carrés

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TH : Titre Hydrométrique (dureté)

UFC : unité formant colonie

Zn: zinc

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Normes organoleptiques d'une eau potable (JORA, 2011).....	20
Tableau 2 : Normes bactériologiques d'une eau potable (JORA, 2011).....	23
Tableau 3 : La moyenne des résultats des bactéries coliformes et de streptocoques des eaux de puits.....	59
Tableau 4 : Le taux de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> dans les 4 puits analysés.....	61
Tableau 5 : Normes de dureté des eaux de boissons (OMS, 1972).....	68
Tableau 6 : Classement des puits analysés selon la dureté.....	68
Tableau 7 : Résultats des TAC des puits étudiés.....	69
Tableau 8 : Résultats de moyenne de l'ammonium des différentes eaux analysées.....	77
Tableau 9 : Résultats de moyenne des ortho-phosphates des différentes eaux analysées.....	78
Tableau 10 : Résultats de moyenne des nitrites des différentes eaux analysées.....	81
Tableau 11 : Résultats de moyenne de Fer des différentes eaux analysées.....	81
Tableau 12 : Résultats de moyenne de Manganèse des différentes eaux analysées.....	83
Tableau 13 : Résultats de moyenne du zinc des différentes eaux analysées.....	84
Tableau 14: Analyse statistique (ANOVA) de l'effet de puits (région).....	84

LISTE DES FIGURES

Figure n°1 : Le cycle hydrologique (ANONYME 1, 2011).....	7
Figure n°2 : Répartition eau salée/ eau douce sur terre (ANONYME 2, 2003)	8
Figure n°3 : Les différents types de nappes (ANONYME 3, 2003).	12
Figure n°4 : Un puits foré (ANONYME 4, 2009).....	14
Figure n°5 : Les différents types de puits (NADIA KASSOU et PR.ILLIAS KACIMI, 2010).....	14
Figure n°6 : Carte géographique de la Région d'étude de Médéa (ANONYME 9, 2010)	41
Figure n°7 : Schéma simplifié de la recherche des coliformes/ <i>E.coli</i> (NF en ISO 9308-1).....	47
Figure n°8 : Schéma simplifié de la recherche des <i>pseudomonas aeruginosa</i> (NF en ISO 12780).....	49
Figure n°9 : Résultats des analyses microbiologiques des différentes eaux.....	62
Figure n°10: Résultats de pH des différentes eaux de puits analysés.....	63
Figure n°11: Résultats des conductivités des différentes eaux de puits analysés.....	64
Figure n°12 : Taux des sels dissous (TDS) des 4 puits étudiés.....	65
Figure n° 13: Variation des résultats de la turbidité des 4 puits.....	66
Figure n°14 : Variation des résultats de titre hydrométrique (TH) des 4 puits.....	67
Figure n° 15: Variation des résultats de titre alcalimétrique complet (TAC) des 4 puits.....	70
Figure n° 16: Variation des résultats des Bicarbonates des 4 puits.....	71

Figure n°17 : Variation des résultats du Calcium des 4 puits.....	72
Figure n° 18 : Variation des résultats du Magnésium des 4 puits.....	73
Figure n° 19 : Variation des résultats du Sodium des 4 puits.....	74
Figure n°20 : Variation des résultats du Potassium des 4 puits.....	74
Figure n° 21: Variation des résultats de Chlorures des 4 puits.....	75
Figure n° 22 : Variation des résultats de sulfates des 4 puits.....	76
Figure n° 23 : Variation des résultats de la Silice des 4 puits.....	77
Figure n°24 : Variation des résultats des nitrates des 4 échantillons analysés.....	79

Introduction

Introduction

L'eau est l'élément naturel indispensable à la vie et à la satisfaction des différents besoins humains, c'est également un patrimoine culturel et social qui est fortement présent dans la vie quotidienne de l'homme, L'eau est une source de bien-être et de progrès, mais aussi un facteur de productions et de richesses, grâce l'agriculture, l'élevage et l'industrie.

Mais autant l'eau peut être source de richesses et de bien-être pour l'homme, autant, elle peut être la cause de pauvreté, de malnutritions et de famines, si elle venait à manquer ou si elle subit des altérations (**BOUZIANI, 2006**).

Les eaux souterraines représentent pour l'humanité une richesse vitale dont la vulnérabilité à la pollution microbienne est connue. Dans ces eaux, évoluent une faune et une microflore relativement diversifiées (**BOUTIN et BOULANOUAR, 1984**), la microflore stygobie étant en grande proportion bactérienne (**LARPENT et LARPENT-GOURGAUD, 1990**). L'environnement immédiat de ces organismes exerce sur eux des effets variables. Plusieurs communautés microbiennes vivent dans le sol et en milieux aquatiques ; leur physiologie dans ces deux types de biotopes sont souvent similaires, bien que leurs sources de nutriments soient significativement différentes (**ROSZAK et COLWELL, 1987**). Divers facteurs sont susceptibles d'agir sur le développement des micro-organismes d'un milieu.

L'eau que nous buvons et que nous utilisons à la maison devrait être de bonne qualité et ne comporter aucun organisme susceptible de causer des maladies, ni aucune substance chimique ou radioactive dangereuse pour la santé. L'eau que nous consommons ne devrait pas non plus avoir de goût, d'odeur et de couleur, mais posséder une vraie qualité esthétique.

Le propriétaire d'une habitation est chargé de surveiller la qualité de l'eau de son puits. Même une eau dont le goût, l'odeur et l'apparence sont acceptables peut contenir des bactéries et des produits chimiques nocifs. Les sources de contamination de l'eau peuvent être naturelles ou artificielles.

Pour être sûr que l'eau d'un puits peut être consommée sans danger, il faut la faire analyser tous les six mois pour sa qualité bactérienne et tous les deux ans pour sa qualité chimique. Les analyses fréquentes permettent, de vérifier l'intégrité d'un puits, de déterminer si certaines mesures correctives doivent être prises, et de voir s'il existe une source de contamination (**ANONYME 1, 2010**).

Les propriétaires de puits ne font pas des analyses régulières à leurs puits, ils croient à tort que l'eau d'un puits, parce qu'elle est naturelle, est sécuritaire. Cependant, la plupart du temps, la contamination, qu'elle soit de nature microbiologique ou chimique ne change ni le goût ni l'odeur ni la couleur de l'eau.

Ce qu'on remarque de l'eau, ce sont ses caractéristiques physiques, son aspect, son odeur et son goût. On veut que l'eau soit claire et incolore et qu'elle n'ait aucun goût. Mais ces seuls critères ne suffisent pas à garantir que l'eau est bonne à boire.

Pour être certain d'avoir une eau potable saine, il faut connaître sa qualité microbiologique et chimique. Il faut donc faire des analyses au laboratoire. Mais il faut aussi surveiller tout changement dans les propriétés physiques de l'eau.

Donc l'objectif général de la présente étude, est de contrôler la qualité physico chimiques et microbiologiques de quelques eaux de puits de la ville de Médéa.

Le présent document est structuré en deux chapitres. Le premier chapitre est consacré à la méthodologie de travail. Il porte sur une présentation de la zone d'étude, Il est a noté aussi les analyses hygiéniques et physico-chimiques de l'eau des puits, mais aussi l'échantillonnage, qui restent une opération délicate, nécessitent, un matériel spécifique à chaque type d'analyse, tout en respectant les conditions de transport et de conservation au laboratoire. Les analyses de laboratoire sont complétées par des analyses statistiques. Le deuxième chapitre est réservé aux résultats et discussions des essais expérimentaux portant sur les analyses physico-chimiques et hygiéniques de l'eau de quelques puits de la région de Médéa. Une conclusion et des perspectives achèvent la présente étude.

Chapitre 1

Partie Bibliographique

I. Généralités sur l'eau

Chapitre 1 : partie bibliographique

I. Généralités sur l'eau

I.1. Définition de l'eau

A l'échelle moléculaire, l'eau est une combinaison d'hydrogène et d'oxygène de formule H_2O deux volumes d'hydrogène pour 1 volume d'oxygène (**BOUZIANI, 2006**)

L'eau potable peut être définie selon l'O.M.S (Organisation Mondiale de la Santé) comme une eau ne renfermant en quantités dangereuses ni substances chimiques, ni germes nocifs pour la santé. Elle doit, par ailleurs, être limpide, incolore et ne présente aucun goût ou odeur désagréable (**LOUMI, 1988 ; RAMADE, 1998**).

Selon le code français de la santé publique : « toute personne qui offre au publique de l'eau en vue de l'alimentation humaine, à titre onéreux ou à titre gratuit et sous quelque forme que se soit, y compris la glace alimentaire, est tenue de s'assurer que cette eau est propre à la consommation » (**C.I.E, 2005**).

I.2. Cycle de l'eau

Nous voyons l'eau émerger apparemment de nulle part, en tombant du ciel sous forme de précipitations (pluie ou neige). Lorsque tombe la pluie, plusieurs choses peuvent se produire. Une fois qu'elle a atteint le sol, l'eau peut se déplacer par ruissellement sur les surfaces imperméables (p. ex., roches, sols durs, chaussées) et aboutir dans les cours d'eau, les lacs et les océans. Une partie de l'eau s'introduit dans le sol (processus que l'on appelle infiltration) et réalimente les ressources en eaux souterraines ou est absorbée par les plantes par leurs racines. L'eau qui ne s'infiltré pas dans le sol finit par retourner dans l'atmosphère sous l'effet de l'évaporation et de la transpiration végétale (évaporation de l'eau à partir des surfaces exposées des végétaux). La combinaison de ces deux processus est ce que l'on appelle l'évapotranspiration (**ANONYME 1, 2011**).

Voici un schéma simplifié du cycle hydrologique :

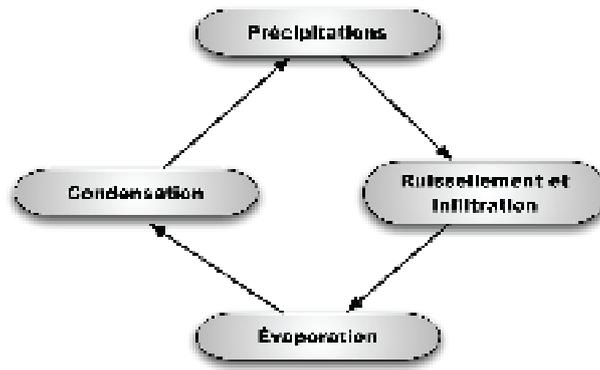


Figure n°1 : Le cycle hydrologique (ANONYME 1, 2011).

I.3. Répartition de l'eau sur la terre

La masse d'eau totale de l'hydrosphère ne varie pas au cours des années. L'eau change d'état au cours de son cycle mais sa quantité globale reste inchangée depuis 3 milliards d'années, date de son apparition sur Terre. C'est l'énergie solaire qui est le moteur du cycle de l'eau en entraînant ses changements d'état.

La quantité d'eau sur Terre est gigantesque : environ 1,4 milliards de km³, d'après les estimations de Shiklomanov et Rodda, 2003 (cité dans UNESCO, 2006). Cependant, 97,5 % de cette quantité se trouve sous forme d'eau salée et 2,5 % sous forme d'eau douce, soit environ 35 millions de km³.

69,5 % de l'eau douce se présente sous forme de glace et de neige permanente, 30,1 % sous forme d'eau souterraine, 0,27 % sous forme d'eau dans les lacs et rivières, 0,13 % sous une autre forme (atmosphère, humidité dans le sol, marais, etc.). La Figure 1 ci-après récapitule cette répartition (JULIEN, 2007).

Les réserves mondiales d'eau souterraine sont dix fois plus importantes que les réserves d'eau de surface. En raison de son abondance, de sa qualité et de sa proximité avec le lieu de consommation, l'eau souterraine constitue la source d'approvisionnement en eau de consommation la plus abordable (ANONYME 2, 2003).

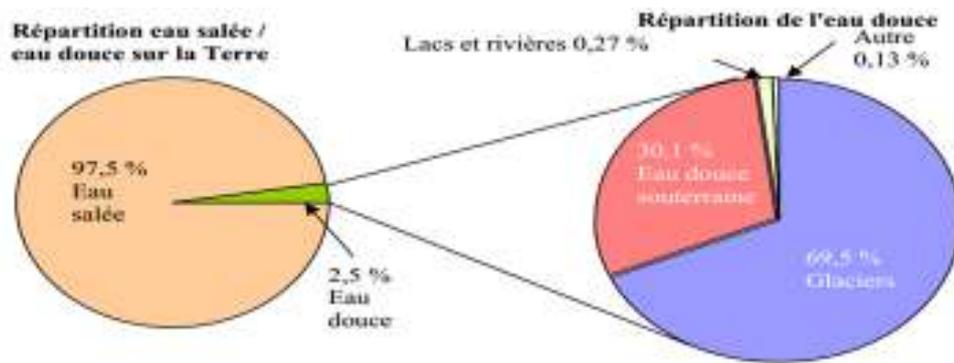


Figure n° 2 : répartition eau salée/ eau douce sur terre (ANONYME 2, 2003).

I.4. Ressources hydriques

I.4.1. Dans le monde

On estime que sur 119 000 Km³ de pluies qui tombent sur les terres émergées, environ 72 000 km³ s'évaporent, 25 000 km³ retournent en mer, 7000 km³ tombent dans des zones éloignées du globe, et enfin 15 000 km³ sont utilisables par la population mondiale, dans les conditions actuelles.

Ce dernier siècle, le monde a connu de graves crises liées au manque d'eau douce. Pour l'augmentation des réserves d'eau douce, plusieurs stratégies sont engagées à l'échelle internationale, en particulier les transferts de technologie et de nouvelles techniques économiques de dessalement (GHISLAIN, 2009).

I.4.2. En Algérie

Les potentialités hydriques en Algérie sont actuellement estimées à 16,3 milliards de m³, qui se décomposent comme suit, dans la région Nord, 9,8 milliards de m³ d'eau superficielle et 1,5 milliards de m³ d'eau souterraine, et dans le Sahara septentrional, 5 milliards de m³ d'eau souterraine. Récemment, de nouvelles analyses prévisionnelles des ressources en eau en Algérie ont montré qu'elles peuvent s'élever à environ 19,1 milliards de m³, dont 6,7 milliards sous forme d'eaux souterraines, soit 30%, et 12,4 milliards en eaux de surface (70%). Les ressources renouvelables par habitant sont estimées entre 400 et 500 m³/hab. /an. Ce qui classe notre pays parmi les pays pauvres en eau (BOUZIANI, 2006).

I.5. Les sources d'alimentation en eau

L'eau destinée à l'approvisionnement de la population peut être d'origine superficielle ou souterraine. Les eaux superficielles et les eaux de ruissellement sont représentées par les eaux des fleuves, les lacs, les barrages et l'eau de mer.

Sous l'effet de la pesanteur, l'eau de pluie s'infiltré et s'accumule sous la surface de la terre dans les interstices des roches, formant ainsi de vastes réservoirs d'eaux souterraines (les nappes souterraines) qui alimentent les puits, les sources, et qui assurent la constance du débit constant de certains cours d'eau, pendant les périodes de sécheresse.

I.5.1. Les eaux de surface

Les eaux de surface sont issues essentiellement des précipitations.

Elles sont constituées d'un mélange d'eau de ruissellement et d'eaux superficielles. Elles sont constituées plus particulièrement des eaux des lacs, des fleuves, des rivières et des retenues d'eau de pluie. En plus, les grands ouvrages hydrauliques comme les barrages, les retenues collinaires et les réservoirs d'équilibre permettent d'emmagasiner de grandes quantités d'eau de surface.

Les eaux de surface doivent aussi faire l'objet de plus de surveillance sur le plan qualitatif. En effet, les eaux de surface sont plus fréquemment contaminées par les éléments biologiques et par les différents types de rejets liquides ou solides.

Ce sont des eaux qui se caractérisent par une forte charge en impuretés et par une pollution qui varie en fonction du niveau de développement des populations.

En milieu urbain, les rejets sont plus souvent chargés en polluants hydrosolubles qui peuvent non seulement affecter les eaux des rivières et des fleuves, mais aussi, souiller par infiltration, les eaux profondes (**BOUZIANI, 2006**).

I.5.2. Les eaux souterraines

Grâce à la recharge des réserves souterraines par l'infiltration des précipitations (pluie, neige) dans le sol, l'eau qui y est emmagasinée constitue une ressource naturelle renouvelable et contribue au cycle global de l'eau (cycle hydrologique) à l'échelle de la planète. L'eau souterraine n'est pas statique. En vertu du principe des vases communicants, elle traverse, du haut vers le bas, les sols perméables non consolidés (sable, gravier) ou le réseau de fractures

du sol consolidé (socle rocheux) pour atteindre un point de résurgence caractérisé par une source ou un cours d'eau de surface.

Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas canalisée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les unités géologiques consolidées et non consolidées qui couvrent tout l'espace souterrain. Une fois que l'eau provenant des précipitations s'infiltré dans le sol, elle percole verticalement jusqu'à la zone de saturation (nappe phréatique) et circule alors vers la zone de résurgence naturelle localisée en aval. Cette séquence peut s'étendre sur des dizaines de kilomètres et c'est le long de ce parcours à travers les différentes formations géologiques, appelées formations aquifères, qu'elle peut être interceptée par des ouvrages de captage qui permettent d'obtenir l'eau nécessaire aux besoins à combler. Par opposition aux formations aquifères, les matériaux de sable fin et d'argile de même que les unités rocheuses très peu fracturées constituent une nappe médiocre ou une formation aquiclude, c'est-à-dire une formation dont le potentiel aquifère pour fins d'alimentation en eau potable est faible. Bien que l'eau souterraine circule sous le niveau du sol, il peut arriver, à certains endroits, qu'un puits coule naturellement.

Cette situation se produit lorsque la pression de l'eau souterraine dans une formation aquifère profonde est supérieure à la pression atmosphérique (**ANONYME 2, 2003**).

L'eau d'une nappe souterraine a une composition généralement plus stable et elle est plus riche en sels minéraux, Mais les eaux souterraines longtemps considérées comme pures et protégées par le sol contre les diverses activités humaines, sont actuellement de plus en plus susceptibles de pollutions par infiltration.

Leur exploitation nécessite la mise en place de systèmes de captage et des équipements hydrauliques de distribution (pompes..) qui sont souvent importants (**BOUZIANI, 2006**).

I.5.2.1. Différentes types de nappe

Il existe plusieurs types de nappe. La porosité et la structure du terrain déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine (**DEGREMONT, 2005**)

Les nappes d'eaux souterraines se créent par accumulation dans le sous-sol de la partie des pluies qui s'est infiltrée et n'a pas été reprise par les végétaux.

La première nappe rencontrée sous la surface du sol est la nappe phréatique mais plusieurs nappes sont souvent superposées. Elles sont séparées les unes des autres par des couches géologiques imperméables.

En un même lieu, il est donc possible de trouver plusieurs nappes à des profondeurs différentes, généralement alimentées par des eaux qui viennent d'autant plus loin que la nappe est profonde. Chacune de ces nappes a sa propre vie et ses propres caractéristiques **(ANONYME 3, 2003)**.

I.5.2.1.1. Nappes libres

Une nappe libre est contenue dans un réservoir qui n'est séparé de la surface que par des terrains perméables **(MAMECIER et BEAUX, 1994)**.

Ces Nappes sont alimentées directement par l'infiltration des eaux de ruissellement **(BOEGLIN, 2001)**.

Une nappe libre se définit donc comme une nappe dont le niveau piézométrique s'établit uniquement en fonction de la perméabilité du terrain à travers lequel pénètre l'eau d'infiltration. Ce type de nappe libre dont la surface piézométrique est peu profonde s'appelle nappe phréatique **(VILAGENES, 2003)**.

I.5.2.1.2. Nappes phréatiques

C'est la première nappe rencontrée lors d'un creusement d'un puits (L'inconvénient de la nappe phréatique est qu'elle est quasi totalement polluée sur tout le territoire, par les fosses septiques, pesticides, engrais... Elle fournit donc une eau non potable **(VILAGINES, 2003)**

Selon **HASLAY et LECLERC (1993)**, l'autoépuration risque d'être insuffisante pour assurer une qualité sanitaire naturelle correcte, le temps de contact étant trop bref avec le filtre biologique que constitue le sous-sol. L'utilisation de l'eau de cette nappe à des fins d'alimentation humaine nécessite des traitements pour la potabilité

I.5.2.1.3. Nappe alluviale

Cette nappe constitue un gîte aquifère souvent exploité. Elle se situe dans les terrains alluvionnaires **(DEGREMONT, 1989)**. Le séjour dans le lit filtrant surmontant la nappe étant en général bref. La qualité biochimique et microbiologique de l'eau sera voisine de celle de l'eau superficielle qui l'alimente, et sujette aux mêmes variations **(HASLAY et LECLERC,**

1993). Les plaines alluvionnaires sont souvent formées de matériaux d'étriques c'est-à-dire des débris très poreux et gorgées d'eau (BOEGLIN, 2001).

I.5.2.1.4. Les nappes captives

Les nappes captives sont emprisonnées entre deux couches des terrains imperméables (DEGREMONT, 2005).

Tous le réservoir est saturé d'eau sous pression, le niveau piézométrique s'établissant au dessus de toit de l'aquifère. Ce niveau est l'altitude atteinte par l'eau dans un puits foré dans la nappe (MAMECIER et BEAUX, 1994).

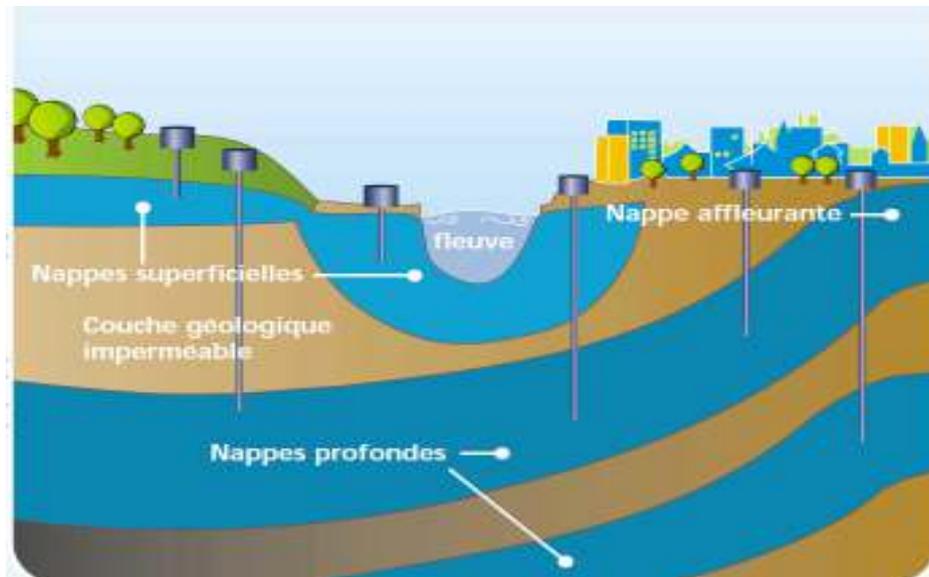


Figure n°3 : Les différents types de nappes (Anonyme 3, 2003)

I.5.2.2. Les types de captage

Les eaux des nappes souterraines sont généralement captées soit par des puits forés, des sources, ou des galeries d'infiltration.

I.5.2.2.1. Les sources

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

Les sources d'affleurement, pour lesquelles l'approvisionnement s'effectue sur un fond imperméable dans la vallée.

Les sources d'émergence, ou artésiennes, qui sont alimentées par la couche inférieure de la nappe (ces sources sont plus susceptibles de tarissement). Leur débit est en principe uniforme et presque constant durant toute l'année, tandis que le rendement des autres types de sources dépend du niveau de la nappe et des précipitations saisonnières.

Les sources de déversement, elles naissent sur les pentes au dessus du fond des vallées.

I.5.2.2.2. Les galeries d'infiltration

Les galeries d'infiltration sont des galeries souterraines conçues sous forme de puits horizontaux qui recueillent l'eau sur pratiquement toute leur longueur. Leur profondeur est variable.

I.5.2.2.3. Les puits

Un puits est un procédé de captation des eaux d'une nappe phréatique de moyenne profondeur. Il peut être creusé de différentes manières et on distingue plusieurs types de puits.

a) Les puits ordinaires

Ce sont des puits plus fréquemment réalisés dans les zones rurales (puits individuels ou semi collectifs). Ils sont généralement creusés à la main et sont plus faciles à réaliser dans les régions où la topographie est peu accidentée et où la nappe phréatique se trouve à moins de 20 mètres du niveau du sol.

La profondeur des puits ordinaires varie généralement de 1 à 15 mètres, avec un diamètre de 1 à 2,5 mètres environ.

b) Les puits foncés ou puits tubulaires

Ce sont des puits construits par les procédés d'injection ou par battage de la formation aquifère.

c) Les puits forés

Sont des puits qui sont réalisés par forage manuel ou mécanique et sont destinés à capter l'eau des nappes profondes (BOUZIANI, 2006).

En général, les puits forés puisent leur eau dans des aquifères profonds (voir figure N°4), la plupart du temps à 60 mètres (200 pieds) sous terre. Pour ce type de puits, un trou est foré dans l'aquifère, et la partie supérieure est cuvelée pour empêcher l'effondrement des parois du trou de forage (ANONYME 4, 2009).



Figure n°4 : un puits foré (ANONYME 4, 2009)

d) Les puits artésiens

La définition exacte d'un puits artésien est la suivante : puits obtenu en forant une couche de terre imperméable pour en atteindre une autre qui reçoit de l'eau de plus haut, ce qui fait qu'une pression s'exerce et force l'eau à s'écouler vers le haut. Si le niveau de l'eau s'élève au-dessus du niveau du sol, le puits est qualifié de puits artésien jaillissant (ANONYME 4, 2009).

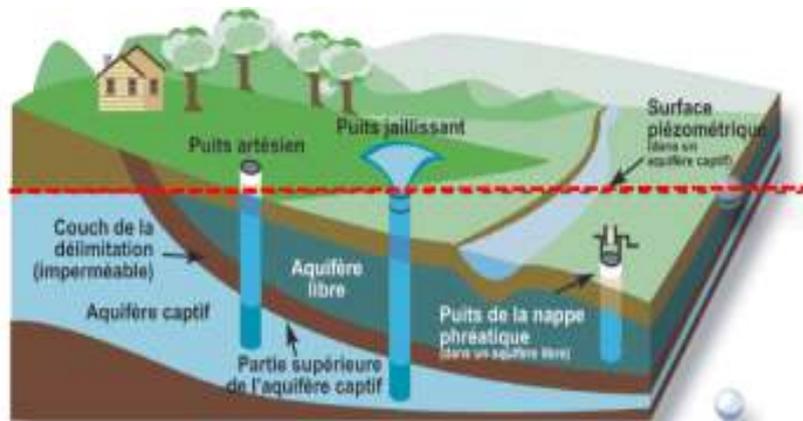


Figure n°5 : Les différents types de puits (NADIA KASSOU et PRILLIAS KACIMI, 2010)

L5.2.3. Propriétés physiques et chimiques des eaux souterraines

Les eaux souterraines ont longtemps été considérées comme une source d'eau de boisson saine. Elles ont des propriétés étroitement liées à leurs origines géologiques, c'est à dire déterminées par la nature et la structure des terrains. A tout instant, l'eau est au contact avec le sol dans lequel elle stagne ou circule. Il s'établit un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau. Ainsi, les eaux circulantes dans un sous sol sablonneux Ou granitique, sont acides et peu minéralisées, par opposition, les eaux circulantes dans les sols calcaires auront une forte minéralisation avec une composition bicarbonatée calcique (**ANONYME 5, 1986**).

On distingue:

- **L'eau des nappes captives:** Eau stagnante qui, par son long contact avec les roches, est souvent très minéralisée avec la présence de fer et de manganèse.
- **L'eau des nappes alluviales:** Constituée de matières détritiques n'ayant pas terminées leur évolution géologique, elle contient très souvent les composés soufrés leur conférant une saveur, odeur et un goût très désagréables.
- **L'eau des nappes alluviales et phréatiques:** Vulnérable à la pollution domestique, industrielle et agricole, ce qui peut expliquer la présence souvent à l'état de trace de micropolluants minéraux et organiques et de produits azotés. à l'état ammoniacal (NH_4^+) et de nitrates (NO_3^-) (**TARDAT et BEAUDRY, 1995**).

Parmi les caractéristiques générales des eaux souterraines, il faut retenir une très faible turbidité, une température et une composition sensiblement constante et l'absence presque générale d'oxygène dissous. Elles sont très souvent, mais pas toujours d'une très grande pureté bactériologique, c'est le cas lorsque l'eau s'infiltré dans des milieux à très fine granulométrie et de grand pouvoir filtrant, mais dans des milieux granitiques ou calcaires très fissurés et à grande vitesse de passage, l'eau ne sera pas évaporée et peut même être dangereuse.

II. Surveillance de la qualité de l'eau de puits

Chapitre 1 : Partie bibliographique

II. Surveillance de la qualité de l'eau de puits

Malgré qu'elle puisse avoir une apparence claire et limpide et n'avoir aucune odeur ou saveur particulière, l'eau captée peut contenir des éléments pouvant avoir des effets indésirables sur la santé, par exemple des microorganismes pathogènes (bactéries, virus ou protozoaires) et des nitrates-nitrites.

L'eau souterraine, qui est généralement de meilleure qualité que l'eau de surface (lac, rivière, ruisseau) grâce à la capacité filtrante du sol, peut être vulnérable à la contamination et des précautions doivent être prises pour assurer en tout temps un approvisionnement en eau de bonne qualité (**ANONYME 6, 2002**)

La surveillance de la qualité de l'eau correspond à la conduite d'analyses, de tests ou d'observations de certains paramètres à des points clés du réseau d'alimentation en eau potable. Le suivi de la qualité de l'eau a pour objectif de vérifier que l'eau distribuée remplit les critères de potabilité. C'est un moyen de protéger la santé publique (**KOUO MBILLE et al., 2010**)

II.1. Définition de la qualité

Ensemble des caractéristiques d'une entité qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites (**ISO 8402-94**).

La norme **ISO 9000 (2000)** définit généralement la qualité comme « l'aptitude d'un ensemble des caractéristiques intrinsèques à satisfaire des exigences » (besoin ou attentes formulés, habituellement implicites ou imposés). Ainsi, pour un produit alimentaire donné, les éléments clés de la dite qualité peuvent se décrire par la règle des 4S :

- la Satisfaction définie au niveau de l'aspect, l'odeur, la couleur, la saveur, le prix, la régularité du produit avec la « valeur d'usage », critère de la qualité caractérisé par la faible présence des microorganismes responsables de l'altération du produit
- la Sécurité par le besoin des produits plus nature et apparemment plus sains (produits diététiques et enrichis en vitamines) ;
- la Santé définie par « l'absence de risque » pour la santé publique. Elle est caractérisée par :
 - l'absence de contaminants naturels ou chimiques ;

- l'absence de pathogènes et ;
- l'absence d'additifs toxiques à risque.
- et le Service lié à la praticité d'utilisation du produit, à son type de conditionnement et à sa mode de distribution (**LARPENT, 1997**).

II.2. Critères et normes de qualité des eaux de puits

L'eau absolument pure n'existe pas dans la nature. Les eaux brutes, non traitées, contiennent toujours de nombreuses substances d'origine naturelle ou provenant de l'activité humaine. Les substances présentes dans les eaux naturelles sont soit en solution vraie (moins de quelques nanomètres), soit en solution colloïdale (moins de 1micro) ou en suspension plus ou moins fines. Les substances dont les proportions sont extrêmement variables peuvent être :

- Des gaz (O₂, N₂, CO₂) ;
- Des sels minéraux : cations et anions en solutions ainsi que des sels ou des matières minérales peu solubles en suspension ;
- Des matières organiques plus ou moins solubles ;
- Des organismes vivants : depuis les plus simples, unicellulaires (virus, bactéries) jusqu'aux plantes et animaux supérieures (**MONIQUE et BEAUDRY, 1992**).

Les eaux de puits, d'origine souterraine, sont plus stables et souvent même de meilleure qualité.

Les critères de qualité peuvent changer par des pollutions externes qui sont nombreuses. Il s'agit de substances d'origine naturelle, ou provenant des activités de l'homme, ou bien encore par des sources de pollution telles que les fosses septiques ou les égouts (**MONIQUE et BEAUDRY, 1995**).

Les critères de qualité sont d'ordre organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques.

II.2.1. Critères 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 d'une coloration, de précipités, etc.) (**RODIER et al ., 2009**).

II.2.1.1. Couleur

L'eau de puits présente un indice de couleur faible, car elle n'est pas en contact avec les substances végétales, sources de couleur (RAYMOND, 1997). Une eau présentant une certaine coloration sans être dangereuse, sera suspecte pour le consommateur (RODIER et al., 1996).

Le public peut alors être conduit à utiliser des eaux de source ou de puits dont l'aspect est plus agréable mais dont les qualités hygiéniques, non contrôlées, sont discutables (RODIER et al., 2009).

II.2.1.2. Odeur

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore non seulement au moment du prélèvement, mais encore après une période de 10 jours en vase clos à la température de 26 °C. En effet, les odeurs proviennent, soit des produits chimiques, soit de matières organiques en décomposition, soit de protozoaires, soit d'organismes aquatiques (RODIER et al., 2009).

II.2.1.3. Goût

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçues lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche. L'eau en général ne présente aucune saveur (RODIER et al., 2005).

La minéralisation de l'eau suivant qu'elle est faible ou importante introduit un goût plus ou moins accentué et on peut distinguer par conséquent certains crus d'eau. Une eau potable de bonne qualité doit avoir une saveur faible et agréable. Pour que l'eau soit considérée comme n'ayant pas de goût particulier, certains sels tels que le chlorure de calcium, l'hydrogencarbonate de sodium, doivent être présents à une concentration voisine de celle de la salive (RODIER et al., 2009).

II.2.1.4. Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des 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.

La turbidité est liée à la présence de particules organiques diverses, d'argile, de colloïdes, de plancton, etc. ; elle peut être favorisée par la pluviométrie.

Dans les eaux profondes, la turbidité empêche la propagation de la lumière dont la diminution d'intensité a pour conséquence de limiter et même d'éliminer

la végétation (**RODIER et al., 2009**).

Tableau 1 : Normes organoleptiques d'une eau potable (JORA, 2011)

Paramètres organoleptiques	Unités	Normes Algériennes
Couleur	mg/l platine	15
Odeur à 12°C	Taux dilution	4
Saveur à 25°C	Taux dilution	4
Turbidité	NTU	5

II.2.2. Critères microbiologiques

Les eaux font donc partie des éléments avec l'air et les sols, qui soit hébergent des espèces autochtones soit véhiculent des bactéries en transit éliminées par l'homme, les animaux et les plantes.

L'objectif de l'analyse bactériologique d'une eau n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes, mais de rechercher soit celles qui sont susceptibles d'être pathogènes soit, ce qui est souvent plus aisé, celles qui les accompagnent et qui sont en plus grand nombre souvent présentes dans l'intestin des mammifères et sont par leur présence indicatrices d'une contamination fécale et donc des maladies associées à la contamination fécale. On peut noter que l'absence de contamination fécale ne laisse en rien présager l'absence d'espèce potentiellement pathogène (exemple : Légionelles, Pseudomonas...) (**RODIER et al., 2009**).

II.2.2.1. Bactéries indicatrices de contamination fécale

Les indicateurs de contamination fécale permettent d'apprécier, avec plus ou moins de sûreté ou de précocité, le risque d'une contamination par des matières fécales pouvant véhiculer des micro-organismes pathogènes (**RODIER et al., 2009**).

L'abondance des conformes fécaux et des streptocoques fécaux dans les puits y est influencée par la profondeur totale des puits et l'épaisseur de la colonne d'eau dans ces puits (**NOLA et al., 2000**).

II.2.2.1.1. Les coliformes

Le terme de « coliformes » ne correspond pas à une définition microbiologique stricte. Sous ce terme est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des *Enterobacteriaceae* et qui partagent certaines caractéristiques biochimiques. La définition suivante a été adoptée par l'Organisation internationale de standardisation (ISO). Le terme « coliforme » correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogènes, Gram négatifs, oxydase négatifs, facultativement anaérobies, capables de croître en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance similaires, et capables de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et d'aldéhyde en 48 heures, à des températures de 35 à 37 °C (**RODIER et al., 2009**).

a) Les coliformes totaux

Le dénombrement des coliformes à 35-37 °C est souvent désigné sous l'expression de « dénombrement des coliformes totaux » (**RODIER et al., 2009**).

Ils Constituent un groupe hétérogène de bactéries d'origines fécale et environnementale. En effet, la plupart des espèces de coliformes totaux peuvent se trouver naturellement dans le sol et la végétation. Leur présence dans l'eau n'indique pas une contamination fécale ni un risque sanitaire, mais plutôt une dégradation de la qualité bactérienne de l'eau. Cette dégradation peut être attribuée, entre autres, à une infiltration d'eau de surface dans le puits, ou au développement progressif d'une couche de bactéries sur les parois appelée « bio film ». L'analyse des coliformes totaux permet notamment d'obtenir de l'information sur la vulnérabilité possible d'un puits à la pollution de surface (**ANONYME 6, 2002**).

b) Coliformes fécaux « coliformes thermo-tolérants »

Le terme de « coliformes fécaux » ou de « coliformes thermo-tolérants » correspond à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés (caractéristiques des coliformes) après incubation à la température de 44 °C (**RODIER et al., 2009**).

c) Les bactéries d'origine fécale (*E. coli*)

Le terme « *E. coli* » correspond à des coliformes thermotolérants qui produisent de l'indole à partir du tryptophane dans les 24h à 44°C et ont les caractères biochimiques propres à cette espèce (**RODIER et al., 2009**). Sont très abondantes dans la flore intestinale humaine et animale, et c'est aussi la seule espèce qui soit strictement d'origine fécale. Les bactéries *E. coli* sont considérées comme le meilleur indicateur de contamination fécale. Leur présence dans l'eau signifie que cette dernière est contaminée par une pollution d'origine fécale et qu'elle peut donc contenir des microorganismes pathogènes (**ANONYME 6, 2002**).

II.2.2.1.2. Les Entérocoques

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, c'est-à-dire essentiellement : *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. durans*, *E. hirae*, *Streptococcus bovis*, *S. suis* et *S. equinus*. On dit maintenant recherche des entérocoques intestinaux.

Les entérocoques intestinaux sont des bactéries en forme cocci ou ovoïdes, à gram positif, capable de se développer en 24h à 48h à 37°C, sur un milieu sélectif à l'azote de sodium (Slanetz et Bartley), réduisant le chlorure de 2, 3, 5-triphenyl-tetrazolium (T.T.C) en formozan en donnant des colonies caractéristiques de couleur rose, rouge. Ces bactéries hydrolysent l'esculine à 44°C pendant 2h. Elles forment généralement des chainettes à catalases négatifs, possédant l'antigène D (**RODIER et al., 2009**).

Les **bactéries Entérocoques** sont moins abondantes dans la flore intestinale des humains et des animaux que les bactéries *E. coli*, et certaines espèces de ce groupe ne sont pas d'origine fécale. La détection de bactéries entérocoques dans l'eau d'un puits peut indiquer une contamination fécale ou une infiltration d'eau de surface (**ANONYME 6, 2002**).

II.2.2.2. Les bactéries spécifiques

Il existe une grande variété de bactéries pathogènes ou potentiellement pathogènes (opportunistes) pour l'homme dans tous les types d'eaux.

Celles-ci vivent ou survivent dans l'environnement, soit provenant des rejets humains, éliminées par des sujets malades ou des porteurs sains, soit étant autochtones et pouvant s'adapter à l'homme : *Campylobacter jejuni*, *Legionella pneumophila*, leptospires, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella*, *Shigella*, staphylocoques pathogènes, *Vibrio*, *Yersinia enterocolitica* (RODIER et al., 2009).

II.2.2.2.1. *Pseudomonas aeruginosa*

Micro-organismes se développant sur des milieux sélectifs contenant du Cétrimide et produisant de la pyocyanine, oxydase positive donnant lieu à fluorescence sous rayonnement ultraviolet 360 ± 20 nm et également capables de produire de la pyocyanine et de la fluorescéine.

Pseudomonas aeruginosa rencontrée dans le sol, en milieux aquatiques et hospitaliers, est responsable de diarrhées, d'infections des plaies et d'infections génito-urinaires et oculaires chez les sujets immunodéficients (LE MINOR et VÉRON, 1989)

Tableau 2 : Normes bactériologiques d'une eau potable (JORA, 2011)

Paramètres bactériologiques	Unités	Normes Algériennes
Coliformes totaux	Germes/ 1ml	100
Coliformes fécaux	Germes/100ml	0
Entérocoques intestinaux	Germes/100ml	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Germes/100ml	0

II.2.3. Critères physico-chimiques

Il s'agit des caractéristiques de l'eau liées à son parcours naturel (le pH, la conductivité, la température, les chlorures, les sulfates...)

Les éléments qui les déterminent sont parfois bénéfiques pour la santé. La variation de ces caractéristiques n'est pas dangereuse pour l'homme, mais peut causer des désagréments (gout altéré, corrosion des canalisations...) (**KOUO MBILLE et al., 2010**).

II.2.3.1. Les paramètres physiques

II.2.3.1.1. Température

La température de l'eau permet de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau. La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré (**ANONYME 7, 2008**).

La température est un critère très importants, car les eaux de puits ont une température constante puisqu'elles sont à l'abri du rayonnement solaire et de l'atmosphère (**RAYMOND, 1997**).

II.2.3.1.2. La conductivité

La conductivité électrique est la propriété qui a une eau pour conduire le courant électrique. Elle dépend de la qualité d'ions que renferme cette eau ainsi que sa température. Une conductivité élevée traduit une grande salinité. Ceci peut provoquer un entartage des conduits si l'excès est du aux ions (Ca^{+2}) (**DEGREMONT, 2005**).

II.2.3.1.3. Minéralisation globale

La minéralisation totale est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles. Elle est fonction de la géologie des terrains traversés (**RODIER et al., 2005**). Selon **DEGREMONT(1989)**, les eaux circulant dans un sol sablonneux ou granitique sont

peu minéralisées, tandis que celles circulant dans des sols à roches sédimentaires le sont nettement plus.

II.2.3.1.4. pH

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H⁺ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base (**ANONYME 7, 2008**).

Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés. La maîtrise du pH a pour principal objectif de diminuer la corrosion, la dissolution des métaux et des incrustations dans les canalisations qui résultent des relations entre pH et d'autres paramètres (dioxyde de carbone, dureté, alcalinité, température)

- Des pH < à 7 augmentent la corrosion des tuyauteries métalliques conduisant à une augmentation de certaines substances métalliques (plomb, cadmium)
- Des pH > à 8 entraînent une diminution de l'efficacité de la désinfection au chlore, et augmentent les dépôts incrustants dans les canalisations (**KOUO MBILLE et al., 2010**).

II.2.3.2. les paramètres chimiques indispensables

II.2.3.2.1. La dureté

La dureté ou titre hydrotimétrique (TH) d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium. La dureté est encore appelée dureté calcique et magnésienne ou consommation de savon.

Dans l'eau sont déterminés :

- la dureté totale ou titre hydrotimétrique TH qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne ;
- la dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium ;
- la dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium (**RODIER et al., 2009**).

a) le Calcium

Le calcium est un élément de la dureté, est généralement l'élément dominant des eaux potables, il existe à l'état de bicarbonates et en quantités faibles sous forme de sulfates, chlorures.

Les eaux potables de bonne qualité renferment 100 à 140 mg/l de calcium. Les eaux qui dépassent 200mg/l de calcium présentent de sérieux inconvénients pour les usages domestiques.

Les eaux chargées de calcium sont dures et celles qui sont faiblement chargées sont douce (**DEGREMENT, 1978**).

b) le Magnésium

Il peut provenir de la dissolution des roches carbonatées dolomitiques. la plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau. Selon **RODIER et al (2005)**, les teneurs peuvent varier de quelque milligramme à plusieurs centaines de milligrammes par litre.

II.2.3.2.2. L'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates (HCO_3^{-2}), carbonates (CO_3^{-2}) et hydroxydes (OH^-).

On distingue, deux titres qui sont le titre alcalimétrique ou titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC) (**Rodier et al., 2009**).

a) Titre alcalimétrique simple (TA)

Le TA correspond donc à la teneur d'une eau en hydroxydes et de la moitié de sa teneur en carbonates alcalin et alcalino- terreux

b) Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le TAC est la teneur d'une eau en hydroxydes, en carbonates, et en hydrogencarbonates alcalin et alcalino- terreux.

II.2.3.2.3. Les Chlorures

Les teneurs en chlorures des eaux de puits sont extrêmement variables et liées principalement à la nature de terrains traversés (**DEGREMENT, 1989**).

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines :

1. Percolation à travers des terrains salés.
2. Infiltration d'eaux marine dans les nappes phréatiques.
3. Activité humaine et industrielle.

La consommation prolongée d'une eau contenant 1000mg/l peut être préjudiciable aux personnes atteintes de maladie cardio-vasculaire et rénale, une présence excessive de chlorures dans l'eau favorise une corrosion (**DEGREMONT, 1978**).

II.2.3.2.4. Les Sulfates

Les sulfates proviennent de la dissolution du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé. Ils peuvent aussi provenir du lessivage des sulfates de l'air par les précipitations (**RAMADE, 1998**). La présence des sulfates donne un goût amer à l'eau et présente un effet laxatif pour les premières consommations (**MABILLOT, 1986**).

II.2.3.2.5. L'aluminium

L'aluminium est le 3^{ème} élément le plus abondant de la croûte terrestre. Une des causes les plus courantes de la présence d'aluminium est le traitement de l'eau par des sels d'aluminium comme agents de coagulation, pour éliminer la couleur ou la turbidité.

Il ne semble pas induire d'effets nocifs pour les individus sains mais un excès d'aluminium présente un danger d'affection neurologique et psychique pour les insuffisants rénaux chroniques et les personnes traitées hémodialyse (traitement grâce à l'osmoseur ou un dé ioniseur pour les centres de dialyse) (**KOUO MBILLE et al., 2010**).

II.2.3.2.6. Sodium

Toutes les eaux souterraines naturelles contiennent du sodium. Il s'agit d'un élément indispensable, en petites quantités, à tous les organismes vivants. Une concentration élevée de sodium peut procurer à l'eau un goût salé.

Le sodium provient géologiquement de la lixiviation des dépôts en surface et en sous-sols tels que le chlorure de sodium. Il peut provenir aussi de la décomposition des silicates aluminosodiques de sodium. Il peut provenir aussi de la décomposition des silicates aluminosodiques et de la pénétration de l'eau de la mer dans les nappes aquifères **(DEGREMENT, 1989)**.

II.2.3.2.7. Potassium

Le potassium est présent dans l'eau à des teneurs ne dépassant pas habituellement 10 à 45mg/l. Certains rejets industriels, en particulier de mines de potasse et d'usines d'engrais, peuvent en entraîner dans l'eau des quantités relativement élevées **(RODIER *et al.*, 2005)**

II.2.3.2.8. La silice

La silice est un composé abondant, présent dans l'eau souterraine en raison de l'érosion des roches et des minéraux. La silice est beaucoup plus présente dans l'eau souterraine que dans l'eau de surface. Dissoute, la silice n'a aucun effet nocif connu pour les êtres humains. Une forte concentration de silice dissoute peut cependant avoir des effets sur l'efficacité des systèmes de traitement qui sont conçus pour éliminer de l'eau le fer et le manganèse dissous. Une concentration extrêmement élevée de silice peut entraîner la formation de tartre dans les canalisations et ralentir l'écoulement de l'eau **(ANONYME 8, 2008)**.

II.2.3.3. Les paramètres chimiques indésirables (paramètres de pollution)

II.2.3.3.1. L'ammonium (Azote ammoniacal)

La présence d'Azote ammoniacal en quantité relativement importante peut être l'indice d'une contamination par des rejets d'origines humaines ou industriels. En plus L'Azote ammoniacal est favorable au développement de certaines bactéries qui sont à leur tour génératrices de mauvais goût **(POTELON et ZYSMAN, 1998)**.

II.2.3.3.2. Les phosphates (Orthophosphates)

Le terme « orthophosphate » fait partie du domaine de la chimie et désigne un

phosphate inorganique. La présence d'orthophosphates dans l'eau souterraine peut indiquer une contamination à partir des eaux de surface. Il est donc important de déterminer la source de contamination puisque d'autres pathogènes ou contaminants peuvent être présents dans l'eau de surface et avoir des effets nocifs pour la santé (ANONYME 8, 2008).

II.2.3.3.3. Les Nitrates

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote présent dans la nature sous différentes formes. Ils sont utilisés notamment pour fertiliser les cultures (engrais minéraux et organismes, déjections animales). Les excès non absorbés par les plantes sont lessivés par les pluies et rejoignent les eaux souterraines et les eaux superficielles. Les concentrations de nitrates d'origine naturelle dans les eaux de surface et souterraines sont généralement de quelques milligrammes par litre (ANONYME 7, 2008).

Les nitrates constituent la composante principale de l'azote inorganique (N inorganique) ou minéral (RODIER *et al.*, 2009).

La contamination par le nitrate est souvent l'un des premiers signes de la détérioration de l'eau souterraine et peut de plus indiquer d'autres problèmes avec l'eau d'un puits (ANONYME 8, 2008).

II.2.3.3.4. Les Nitrites

Les nitrites peuvent être rencontrés dans les eaux mais généralement à des faibles doses, ils proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant, une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte par cette présence et souvent liée à une détérioration de la qualité microbiologique (POTELON *et ZYSMAN*, 1998).

II.2.3.3.5. Les Métaux lourds

a) Le Fer

Le fer est un élément métallique présent dans de nombreux types de roches. Ce métal est aussi souvent présent dans l'eau. Il s'agit d'un élément indispensable, en petites quantités,

à tous les organismes vivants. Le fer peut s'accumuler et bloquer les tuyaux ou les raccords, et se détacher en particules ou sédiments, procurant à l'eau une apparence et un goût désagréables. Il n'y a pas de risque pour la santé aux concentrations généralement présentes dans l'eau potable.

b) Le Manganèse

Le manganèse est un élément métallique présent dans de nombreux types de roches et fréquemment dans l'eau. Il s'agit d'un élément indispensable, en petites quantités, à tous les organismes vivants. Le manganèse peut s'accumuler et obstruer les tuyaux ou les raccords, et se détacher en flocons noirs ou sédiments, procurant à l'eau une apparence et un goût désagréables. Il n'y a pas de risque pour la santé aux concentrations généralement présentes dans l'eau potable.

c) Le Zinc

Le zinc est présent à l'état naturel, mais la source la plus fréquente de ce métal dans l'eau potable est la corrosion des tuyaux galvanisés et des matériaux utilisés pour la construction des puits. Le zinc est un élément indispensable généralement considéré comme étant non toxique aux concentrations normalement présentes dans l'eau potable. L'exposition à des concentrations très élevées de zinc peut causer de la nausée et de la diarrhée (ANONYME 7, 2008).

III. Eau, Pollution et maladies

III. Eau, pollution et maladies

III.1. Généralité sur la pollution de l'eau

De nos jours, les problèmes de pollution constituent un danger de plus en plus important pour l'homme. Parmi ces problèmes, la contamination de l'eau se pose avec acuité. En effet, l'eau est affectée de façon croissante par des matières minérales et organiques et même des microorganismes dont certains sont pathogènes et donc dangereux pour la santé.

L'eau souterraine, qui est jugée la plus potable, est la ressource la plus couramment utilisée dans les pays en développement. Cependant, cette eau est aussi très vulnérable à la pollution, et sa protection s'impose à tous les niveaux (**COULIBALY, 2005**).

III.2. Pollution des eaux

Selon **GAUJOUS (1995)**, la pollution résulte de l'introduction dans un milieu des substances conduisant à son altération. Elle désigne l'ensemble des rejets que l'homme libère dans l'écosystème et qui, sans être vraiment dangereux pour l'organisme, exercent une influence perturbatrice sur l'environnement (**COURT, 1986, RAMADE, 1998**).

III.2.1. Origines de la pollution

Qu'elle soit de source ou de surface, l'eau se trouve très vite en contact avec le milieu extérieur. Suivant l'origine des substances polluantes, on distingue :

III.2.1.1. Pollution domestique

Elle est généralement véhiculée par le réseau d'assainissement. Elle se caractérise par des germes fécaux, de fortes teneurs en matières organiques, des sels minéraux (azote, phosphore) et des détergents (**GAUJOUS, 1995**).

III.2.1.2. Pollution industrielle

Elle est provoquée par les rejets d'eaux résiduelles d'origine industrielle. Elle est caractérisée par une grande diversité suivant la nature de l'industrie (**LOUMI, 1988**).

III.2.1.3. Pollution agricole

Elle provient des élevages et de l'utilisation d'engrais chimiques (nitrates et phosphates) qui atteignent les eaux par infiltration (GAUJOUS, 1995).

III.2.1.4. Phénomènes naturels

Certains phénomènes naturels sont à l'origine de pollution, par exemple, une éruption volcanique, un épanchement sous marin d'hydrocarbures, le contact avec des filons géologiques (métaux, arsenic), les pluies acides, etc. (GAUJOUS, 1995).

III.3. Pollution des eaux souterraines

Bien que se trouvant en profondeur, ces eaux souterraines peuvent être polluées. Malgré les nombreux filtrages que subissent les eaux souterraines il est toujours possible qu'elles contiennent des bactéries ou des éléments indésirables.

Avec la pluie les eaux sont entraînées en partie par ruissellements et en partie s'infiltrent contribuant à la recharge de la nappe, mais aussi sa pollution par l'entraînement des matières organiques et minérales de la surface (COULIBALY, 2005).

Il a été démontré que les bactéries fécales pouvaient être entraînées dans le sol jusqu'à 3m de profondeur et que, une fois la surface libre de la nappe atteinte, elles pouvaient parcourir jusqu'à 15m environ dans le sens d'écoulement de l'eau souterraine. La pollution peut encore atteindre une eau souterraine éloignée des sources de contamination lorsque le sol est formé des roches fissurées (LANOIX et ROY, 1976).

La pollution la plus menaçante pour les eaux souterraines est constituée essentiellement par les déchets industriels, par les engrais, les produits d'origine agricole, et les insecticides. La libéralisation du secteur agricole, durant les années 1990 a facilité pour les agriculteurs, l'utilisation d'engrais et des produits phytosanitaires pour le traitement des cultures et pour l'intensification de leur production agricole (BOUZIANI, 2006).

En effet, les puits sont généralement pollués par :

- la pénétration d'impuretés par les ouvertures
- la contamination par la présence de fosses septiques
- les fuites des conduits d'égouts

- l'infiltration des dépotoirs ou les terrains d'enfouissement
- les activités menées au tour du puits (**COULIBALY, 2005**).

Actuellement, plusieurs nappes ont une eau chargée en nitrates et certaines eaux souterraines sont également menacées par des pollutions, liées aux effluents urbains et industriels. Parallèlement, certaines nappes souterraines ont connu des pollutions accidentelles souvent difficiles à maîtriser.

On peut citer la contamination de la nappe de la Mitidja en 1985 par les hydrocarbures, suite à la rupture d'un oléoduc, la contamination des nappes de Tlemcen et Relizane par des fuites d'essence au niveau de réservoirs (**BOUZIANI, 2006**).

Selon **DEGREMONT(1989)** ; lorsqu'une eau souterraine est polluée, il est difficile de récupérer sa pureté originale.

III.4. Pollution des canalisations et des réservoirs d'eau

III.4.1. Formation du biofilm

Le terme biofilm sous entend une couche visqueuse se formant souvent sur la face interne d'une canalisation d'eau (**ECODIS, 2007**). Le biofilm renferme des bactéries, virus, champignons et organismes pluricellulaires. Selon l'**O.I.E (1999)**, les canalisations des réseaux de distribution sont souvent source de relargage de carbone organique. Or, le C.O.D.B est le nutriment des bactéries du bio film (**HASLAY et LECLERC, 1993**).

Les bactéries fixées sont plus nombreuses sur des tuyauteries en ciment que sur les tuyauteries en PVC (chlorure de polyvinyle) (**HASLAY et LECLERC, 1993**).

La formation du biofilm a pour conséquence une consommation en chlore et la formation de sous produits organochlorés, sapides et/ou toxiques (**ECODIS, 2007**).

Le biofilm va aussi permettre aux bactéries lésées par les oxydants de résister à l'action de chlore.

III.4.2. Formation des nids microbiens

C'est un point singulier d'un réseau, d'adduction ou de distribution, caractérisé par une stagnation de l'eau et où s'accumulent des dépôts solides, floconneux ou non, mais non solidaires à paroi des conduites à la différence du biofilm (**HASLAY et LECLERC, 1993**).

Selon **GERBAULET(1993)**, ces dépôts sont un refuge pour les micro-organismes qui peuvent être présents à des concentrations de l'ordre de celles rencontrées dans les eaux résiduaires urbaines brutes.

III.4.3. Bio détérioration

La bio détérioration est la transformation, sous l'action de micro-organismes, de produits non métalliques.

Dans le cas de la distribution, elle intéresse principalement les revêtements intérieurs des canalisations et les joints entre les différents éléments de canalisation (joints en caoutchouc, mastics et pates à joints) (**C.I.E, 2004 ; HASLAY et LECLERC, 1993**).

III.4.4. Corrosion

III.4.4.1. Corrosion biologique

Selon **GERBAULET(1993)**, la bio corrosion résulte de l'action bactérienne qui par fermentation ou oxydation donne des métabolites acides. Celles-ci sont susceptibles d'attaquer la surface des métaux et de causer une perte de métal (**O.I.E, 1999**).

III.4.4.2. Corrosion physico-chimique

C'est le processus par lequel la surface des métaux s'altère et se dégrade, sous l'effet de divers agents physico-chimique (éventuellement polluants) contenus dans les eaux (**RAMADE, 1998**).

La présence de sels dans l'eau (notamment les chlorures) augmente les conductivités de l'eau et la corrosion apparaît plus rapidement (**DEFRANCESHI, 1996**).

Selon **RAMADE(1998)**, la corrosion des parois intérieures des conduites présente une menace pour l'hygiène publique lorsqu'il s'agit de tuyauteries en plomb. La perte en métal peut aussi survenir à la suite d'un phénomène d'érosion causé par une vitesse très élevée de circulation d'eau (**O.I.E, 1999**).

III.5. L'eau et les maladies

Les maladies susceptibles d'être transmises par l'eau ont pour origine des parasites, des bactéries, des virus ou des substances chimique toxiques

III.5.1. Affection d'origine chimique

III.5.1.1. Saturnisme

Le saturnisme est une affection mortelle résultant de l'intoxication à long terme des vertébrés par le plomb (**RAMADE, 1998**).les catégories de population les plus vulnérable sont les jeunes enfants et les flammes enceintes (**C.I.E, 2004**). Néanmoins, le risque d'être intoxiqué par le plomb en buvant l'eau demeure extrêmement faible (**C.I.E, 2005**).

III.5.1.2. Méthémoglobinémie

Transformés en nitrites par l'organisme des nourrissons, les nitrates peuvent dans certaines conditions, quand leur taux est important, provoquer la transformation de l'hémoglobine en méthémoglobine et entrainer ainsi un mauvais transfert de l'oxygène vers les cellules (**RODIER et al., 2005**). Cette pathologie concerne essentiellement les nourrissons de moins de 6 mois. Aucun effet cancérogène n'a été constaté sur l'homme (**C.I.E, 2005**).

III.5.1.3. Maladie d'Itai Itai

Selon **RAMADE(1998)**, cette maladie est une affection observée au japon lors d'un grave épisode de pollution des eaux de rivière et de boisson par du cadmium rejeté par les effluents d'industries électroniques.

III.5.1.4. Goitre

De nombreux auteurs pensent que la fréquence du goitre serait inversement proportionnelle à la richesse en iode des aliments et plus particulièrement de l'eau (**RODIER et al., 2005**).

III.5.1.5. Fluorose

A faible dose, le fluor est un élément indispensable à la santé. Il protège les dents contre les caries en diminuant la solubilité de l'email. A très forte dose, le fluor pourrait provoquer des lésions

dentaires (taches colorées, dents cassantes). Ce risque est totalement exclu aux doses que l'on peut rencontrer dans l'eau potable (C.I.E, 2005).

III.5.2. Maladies à transmission hydrique (M.T.H)

Les M.T.H sont des affections d'origine bactérienne, parasitaire ou virale. Leur point commun est leur transmission par l'eau. Selon la Direction de la santé et de la Population (DSP), parmi ces M.T.H, quatre sont à déclaration obligatoire en Algérie et soumises à la surveillance, ce sont : la fièvre typhoïde, les dysenteries, les hépatites virales A et non A et B.

III.5.2.1. Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes

Se sont des affections septicémiques strictement humaines, dues à un nombre limité de serotypes de Salmonelles : *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi* A, B et C (WINTROBE et al., 1975). Ces affections peuvent dans certains cas, induire des complications digestives graves et peut être la mort (BERCHE et al., 1988).

III.5.2.2. Dysenteries

III.2.2.1. Dysenteries bacillaires (Shigellose)

Les *Shigelloses* sont des maladies infectieuses aiguës atteignant l'homme, et dues au genre *Shigella* (HASLAY et LECLERC, 1993). *Shigella dysenteriae* peut parfois entraîner des atteintes neurologiques du fait d'une toxine produite par cette espèce « *Shigella Toxine* » (BERCHE et al, 1988).

III.5.2.2.2. Dysenterie amibienne

C'est une affection du gros intestin due à *Entamoeba histolitica* (LOUMI, 1988). la maladie peut passer d'un état de diarrhée chronique à une dysenterie fulminante (WINTROBE et al. 1972).

III.5.2.3. Choléra

Est une maladie aiguë qui résulte de l'envahissement de l'intestin grêle par *Vibrio Chole*. Cette maladie entraîne, la plupart du temps, la mort du malade (BERCHE et al., 1988).

III.5.2.4. Les maladies des légionnaires

C'est une pneumopathie extensive, la contamination se fait par voie aérienne et non digestive (eaux chaudes sanitaires.....) (**BERCHE et al., 1988**). L'espèce incriminée est *Legionella pneumophila*.

III.5.2.5. Leptospirose

Selon **WINTROBE et al. (1972)**, les leptospiroses sont tenues pour responsables de la leptospirose. L'homme peut être infecté à partir de l'environnement contaminé par les urines des animaux convalescents ou porteurs sains.

III.5.2.6. L'Hépatite A

L'hépatite à virus A est transmise par le cycle féco-oral (**HASLAY et LECLERC, 1993**). C'est une infection aiguë caractérisée par un ictère et une forte mortalité chez la femme enceinte (**WINTROBE et al.1972**).

III.5.3. Notion d'épidémiologie

Selon **PETRISKY et SI AHMED (1974)** ; on parle d'épidémie lorsqu'il y a apparition dans une population, une région, une période déterminée, d'un groupe de malade avec une fréquence nettement supérieure à la fréquence normalement observée.

III.5.4. Épidémiologie des M.T.H en Algérie

Les maladies à transmission hydrique représentent un réel poids de morbidité pour la santé publique en Algérie. Elles constituent 32% des déclarations des maladies transmises à l'INSP (Institut National de Santé Publique) (**DSP, 2000**).

Durant la période 1985-1998, l'incidence des M.T.H a oscillé entre 27 et 67 cas pour 100.000 habitant soit une moyenne de 100.000 cas annuels. Cette fréquence est grave. Les M.T.H sont classées au second plan parmi les maladies à déclaration obligatoire en 1998, après la recrudescence des zoonoses (**DSP, 2000**). L'étude de la période 1985-1998 faite par la DSP, montre que les hépatites virales occupent la première place parmi les MTH ; elles sont suivies par la fièvre typhoïde, les dysenteries. Aucun cas de choléra n'a été enregistré ces cinq dernières années. Les M.T.H sont des affections endémiques touchant presque toutes les régions du pays à un degré les wilayas du sud. Leur tendance générale est croissante.

Chapitre 2

Partie Expérimentale

I. Matériel et Méthodes

Chapitre 2 : Partie expérimentale

I. Matériel et méthodes

I.1. Description de la zone d'étude

L'objectif de notre travail a porté sur l'analyse de la qualité physico-chimique et bactériologique des échantillons d'eau de puits prélevés à partir de quatre endroits différents dans la région de MEDEA (P1 : Ain Dhab, P2 : Damiette, P3 : Tenyet el hadjer, P4 : Takbou).

L'étude expérimentale s'est étalée d'Avril à juin 2013. Les différentes analyses ont été effectuées au niveau du Laboratoire central de la société des eaux et d'assainissement de Kouba-Alger (SEAAL).

Voici une carte géographique de la région d'étude de Médéa avec les sites de prélèvement

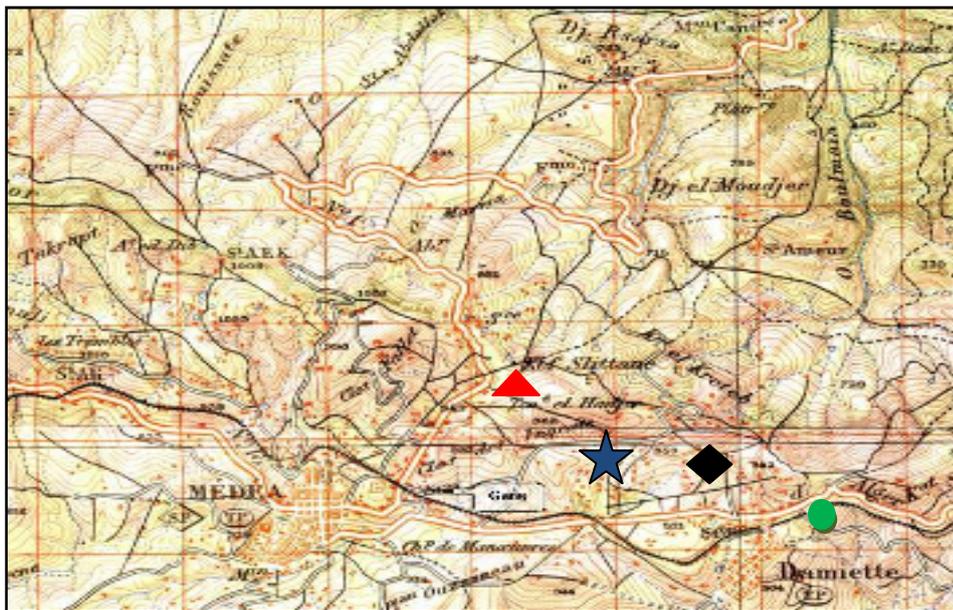


Figure n°6 : Carte géographique de la Région d'étude de Médéa (ANONYME 9, 2010)

- ◆ : Puits n°1d' Ain Dhab
- : Puits n°2 de Damiette
- ▲ : Puits n°3 de Tenyet el hadjer
- ★ : Puits n°4 de Takbou

I.1.1. Situation géographique de la wilaya de MEDEA

La majeure partie de la wilaya de Médéa est située dans l'Atlas Tellien, au Sud de l'Atlas Blidéen ; alors que sa limite méridionale sur le domaine des hautes plaines.

Médéa a des frontières communes avec d'importantes Wilayas d'Algérie. Au Nord, avec la Wilaya de Blida, au Sud, la Wilaya de Djelfa, à l'Est, les Wilayas de M'sila et Bouira et à l'Ouest, les Wilayas de Ain Defla et de Tissemsilt.

Avec une superficie de 8716 Km², la région de Médéa se caractérise par un relief très accidenté (domaine des nappes de Charriages) avec des altitudes pouvant atteindre 1240 m (Ben-Chicao).

Médéa dispose d'un climat méditerranéen semi continental, froid et humide en hiver, tempéré au printemps et chaud et sec en été.

Les précipitations dans la wilaya de Médéa, sont très irrégulières à l'échelle annuelle et du point de vue, répartition, nous avons une croissance de la pluviométrie de septembre en janvier puis une décroissance progressive de février en juin, entièrement nulle entre juillet et août (ANONYME 9, 2010).

I.1.2. Ressources en eau souterraines

La région de Médéa recèle des potentialités en eau souterraines très limitées. Ce manque en terme de quantité est lié à la structure géologique de la région (nappe de charriage) qui ne favorise pas le drainage souterrain à travers les interstices ainsi s'ajoute la couverture des terrains à faible perméabilité qui favorise le ruissellement de surface au dépend des infiltrations. Dans ce sens, nous parlons de l'existence de quelques nappes aquifères sur l'ensemble de la wilaya, mais avec des extensions qui restent limitées.

La partie Nord de la Wilaya de Médéa est occupée par le bassin versant côtier Algérois. Ce dernier est drainé par l'oued Chiffa qui prenait naissance aux environs de la Daïra d'Ouzra.

Dans la wilaya de Médéa, il n'existe que très peu d'aquifères étendus et aux ressources très limitées ; deux sources sont exploitable :

- La source d'Ain chikh (capté vers les réservoirs)
- La source de Ain bestana (piqué vers le réseau de distribution)

Les puits sont alimentés par des poches d'eau et même pas une nappe.

Il y'a seulement deux forages qui sont exploités.

Ces formations aquifères sont alimentées directement par les eaux de précipitations et par l'infiltration des eaux de ruissellement à partir des oueds. Vu que la plus grande partie de la wilaya de Médéa est constituée de formations marneuses où argileuses (imperméable) donc les eaux de ruissèlement ne s'infilte pas dans le sol pour alimenter les formations aquifère mais elle ce jette directement dans les oueds, ces apports pluvieux participent au ruissellement de surface au dépend de l'infiltration dans le sous-sol. Dans le cas où les formations superficielles posséderaient un caractère perméable ou semi-perméable, des réserves souterraines peuvent se constituer mais avec de faibles débits.

La ville de MEDEA est alimentée directement par les eaux de précipitations et par infiltration des eaux de ruissellement à partir des oueds (ANONYME 9, 2010).

I.1.3. Production de l'eau potable

Dans la wilaya de Médéa n'existent que des aquifère peu étendus et aux ressources très étendus et aux ressources très limitées pouvant au maximum donner des débits entre 2 à 8 l/s. ce qui implique que les besoins, lié à un développement économique de la wilaya, ne peuvent pas être satisfaits seulement par les eaux souterraines mais qu'il convient de mobiliser les eaux superficielles par l'intermédiaire de retenues collinaires et les barrages.

L'armature hydraulique regroupe 38 retenues collinaires –envasées- totalisant 2 510.000 m³, 20 petits barrages, alors que la capacité d'eau mobilisée est estimée à 31.794.000 m³. Des forages, sources, puits et prises au fil de l'eau aussi, mais sans indication sur ce qui est réellement pompé et a fortiori ce qui est consommé. Bien que 80% de la population urbaine soit raccordée, seulement un tiers et bien desservi (ANONYME 9, 2010).

I.2. Principe adopté pour la présente étude

Notre étude consiste en l'étude de la qualité hygiénique et physico-chimique de l'eau de quatre puits de la ville de Médéa. L'étude tend à détecter et à proposer d'éventuelles solutions aux sources de contamination des ces puits, et a pour objectifs :

- Contrôle bactériologiques des quatre échantillons :
 - Recherche des germes de contamination fécale
 - et des germes spécifiques comme *Pseudomonas aeruginosa*
- Contrôle physico-chimiques :
 - La minéralisation de ces eaux
 - Les paramètres de pollution
 - Métaux lourds ou paramètres indésirables
- Etude statistique qui vise à étudier l'effet du facteur puits sur l'ensemble des paramètres physico-chimiques

I.3. Prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (**RODIER, 2009**)

I.3.1. Matériel de prélèvement

Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière :

- On a utilisé des flacons en verre stériles de 250 mL, fournis par le laboratoire d'un large col avec un bouchon rodé en plastique a raison de 4 flacons (1 litre) pour chaque échantillon.
- Pour les analyses physico-chimiques on a utilisé des bouteilles en plastique de 1,50 mL (bouteilles d'eau minérale) a raison de 2 flacons (3 litres) pour chaque échantillon.

I.3.2. Techniques de prélèvement

Dans notre cas le prélèvement est effectué à partir d'un robinet.

Selon **RODIER (2009)**, dans le cas de prélèvement à un robinet, si le but est le contrôle de l'eau distribuée, il est indispensable d'attendre que l'eau en stagnation dans les canalisations soit éliminée. En pratique, il convient d'ouvrir le robinet à débit maximum pendant 5 à 10 secondes puis de le ramener à un débit moyen pendant 2 minutes.

I.3.2.1. Echantillons destinés aux analyses bactériologiques

Les prélèvements ont été effectués en respectant les modalités décrites par **RODIER (2009)** dont la manipulation doit s'effectuer dans les meilleures conditions de stérilité ;

L'eau a été prélevée à partir d'un robinet couramment utilisé dans des flacons en verre stérilisé. Les prélèvements ont été effectués après avoir enlevé les filtres ou les brise-jets et tuyaux de caoutchouc adaptés au robinet choisi.

Préalablement se laver très soigneusement les mains et avant-bras, les rincer à l'alcool, laisser sécher, on fait couler l'eau pendant 3 à 5 minutes pour purger les canalisations puis on coupe l'eau.

Ensuite on désinfecte le robinet à l'aide d'un coton imbibé d'alcool, enflammé et ce, pendant au moins une minute, puis laisser couler l'eau pendant au moins 2 mn. Les flacons sont remplis au 3/4. Ceci afin de maintenir en vie les bactéries aérobie et de pouvoir agiter et de mélanger l'échantillon avant l'analyse.

I.3.2.2. Echantillons destinés aux analyses physico-chimiques

L'eau est recueillie dans un flacon chimiquement propre, pratiquement incolore.

Avant d'être rempli, le flacon est rincé trois fois au moins avec de l'eau à prélever, puis remplir complètement en faisant couler l'eau le long de la paroi.

I.4. Transport et conservation

La teneur initiale en germes des eaux risque de subir des modifications dans le flacon, après le prélèvement. C'est pour cela que toute analyse doit être effectuée le plus rapidement possible. L'évolution est d'ailleurs assez difficile à prévoir et dépend de nombreux facteurs : température, concurrence bactérienne des espèces présentes, composition chimique de l'eau.

Si la durée du transport dépasse 1 heure, et si la température extérieure est supérieure à 10 °C, les prélèvements seront transportés dans des glacières dont la température doit être comprise entre 4 à 6 °C. Même dans ces conditions, l'analyse bactériologique doit débiter dans un délai maximal de 8 heures, après le recueil de l'échantillon (**Rodier, 2009**).

Une fois prélevés, nous avons placé nos échantillons dans une glacière munie des poches de glaces et ce pour conserver leur température et assurer l'obscurité pour limiter la croissance des germes éventuellement présents.

Les analyses (physico-chimiques et microbiologiques) sont effectuées au niveau de laboratoire central de la société des eaux et d'assainissement SEAAL à KOUBA, ALGER le même jour de prélèvement.

I.5. Analyses bactériologiques

I.5.1. Recherche et dénombrement des coliformes/*E.coli*, Entérocoques intestinaux, et *Pseudomonas aeruginosa*, par la méthode filtration sur membrane

I.5.1.1. Principe

Cette technique consiste à filtrer sur des membranes montées dans un appareil à filtration (rampe à filtration), une quantité d'eau à analyser, puis à appliquer ces membranes sur des milieux sélectifs, coulés en boîtes de pétri de 55mm de diamètre. Après incubation, les colonies développées seront dénombrées et éventuellement prélevées pour être confirmées ou étudiées.

I.5.1.2. Mode opératoire

Voir annexe N°1

I.5.1.3. Application aux coliformes (NF en ISO 9308-1)

Le schéma ci-dessous résume la méthode de recherche des coliformes (Voir détail en annexe n°1) :

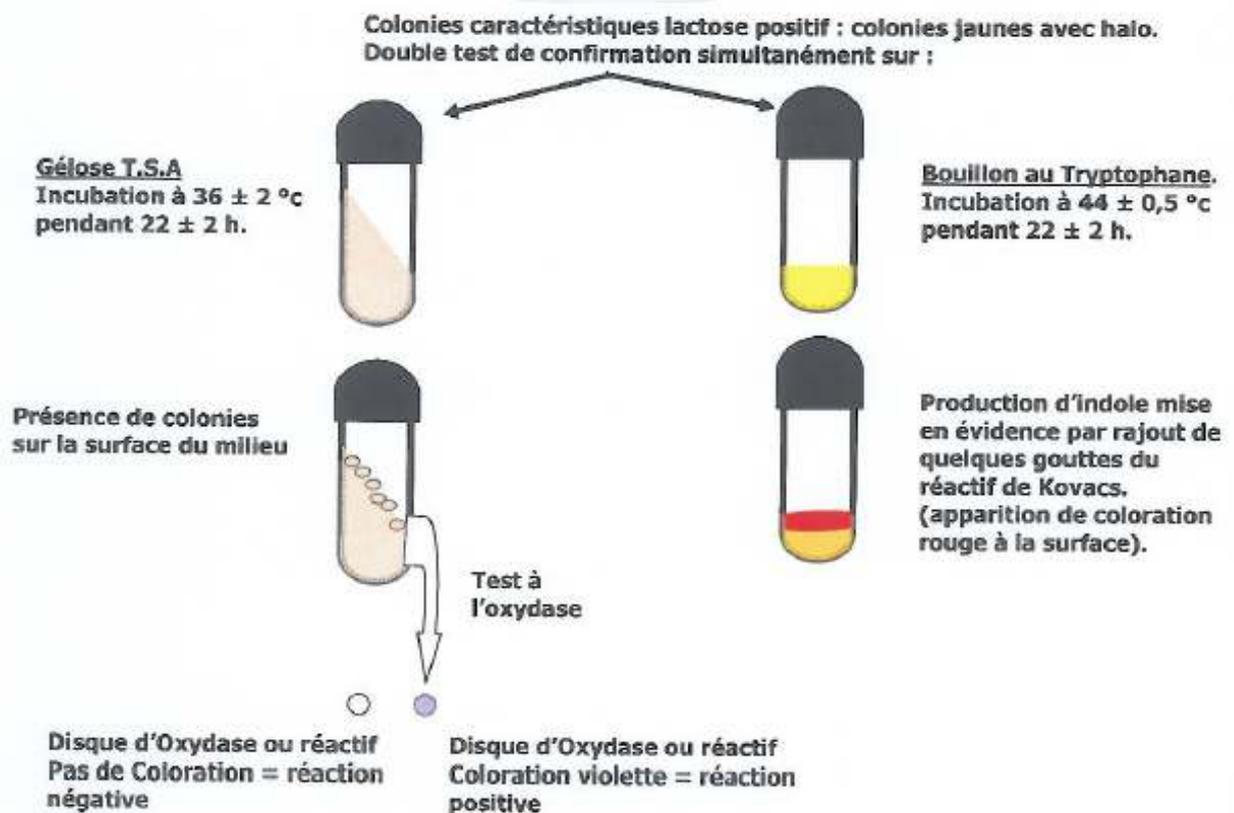
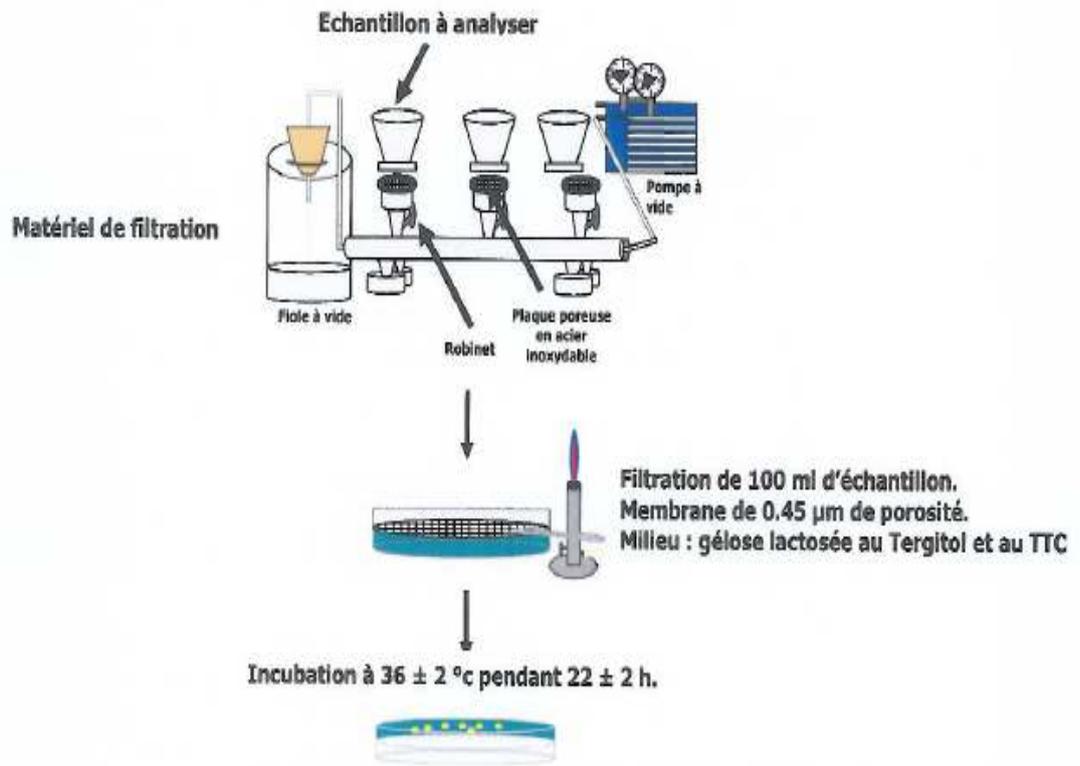


Figure n°7 : schéma simplifié de la recherche des coliformes/*E.coli* (NF en ISO 9308-1)

I.5.1.4. Application aux Entérocoques intestinaux (Norme NA 766 en ISO 7899-2)

➤ **Principe :**

Après filtration de l'échantillon d'eau :

- ✓ Placer le filtre dans la boîte pétri contenant la gélose Slanetz et Bartley et mettre la boîte dans l'incubateur à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant $44 \pm 4\text{h}$.
- ✓ Après incubation, les entérocoques intestinaux typiques donnent des colonies bombées de taille moyenne, rose ou rouge.
- ✓ Transférer le filtre au moyen d'une pince stérile, contenant la gélose B.E.A. faire incuber à $44 \pm 0,5^\circ\text{C}$ pendant 2h.
- ✓ Compter les colonies entourées d'un halo noir indiquant l'esculine plus.

(Annexe n°1)

I.5.1.5. Application aux *Pseudomonas aeruginosa* (NF en ISO 12780)

Le schéma ci-dessous explique le mode de recherche des *pseudomonas aeruginosa* (voir annexe N°1) :

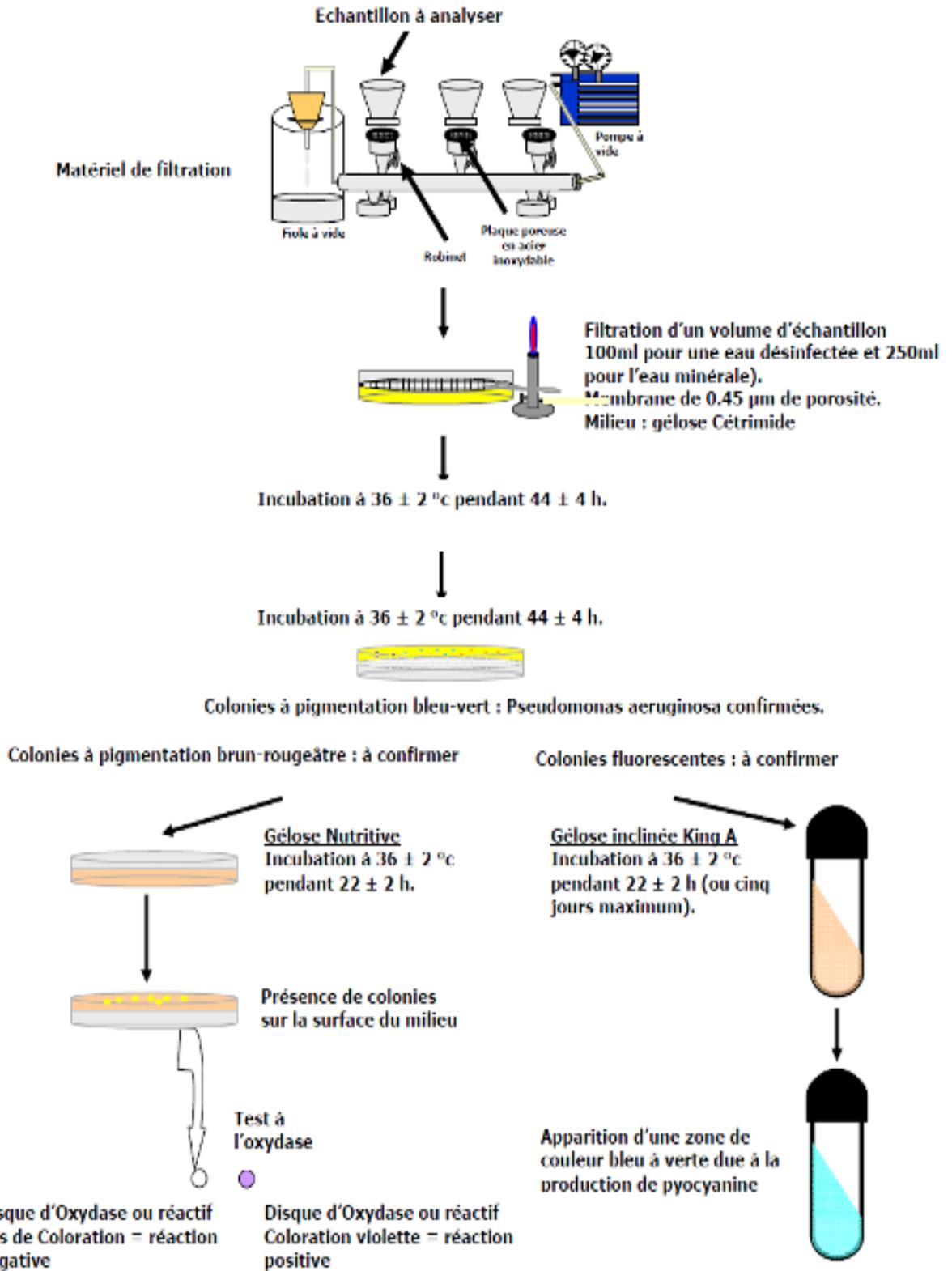


Figure N°8 : schéma simplifié de la recherche des *pseudomonas aeruginosa* (NF en ISO 12780)

I.5.2. Expression des résultats :

Le résultat est donné en nombre de germe par 100 mL

I.6. Analyses physico-chimiques

L'analyse physico-chimique a pour but de déterminer les paramètres physiques, chimiques et paramètres de pollutions.

I.6.1. Les paramètres physiques

I.6.1.1. Le pH (norme NA. 751 :1990)

- **Principe**

Mesure de la différence de potentiel existant entre une électrode de mesure et une électrode de référence plongeant dans une même solution

- **Mode opératoire**

On introduit l'électrode du pH mètre (type Sension Hach) préalablement rincée avec de l'eau distillée dans un bécher contenant environ 100 mL d'eau à analyser tout en agitant avec un barreau magnétique. On appui sur la touche (Read/Entrer) la valeur de pH évolue jusqu'à se stabiliser. La valeur de pH est donnée sur l'écran de l'appareil.

I.6.1.2. La conductivité électrique et taux de salinité TDS (Norme Algérienne NA 749)

- **principe**

- La conductivité électrique est une mesure du courant conduit par les ions présents dans l'eau
- La salinité désigne la quantité de sels dissous dans un liquide

- **Mode opératoire**

L'appareil utilisé au laboratoire est un conductimètre METTLER TOLEDO MC 226.

Elle est déterminée après rinçage plusieurs fois de l'électrode, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner; faire la mesure

en prenant soin que l'électrode soit complètement immergée. Le résultat de conductivité est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le résultat de la salinité et du taux de sels dissous (TDS) sont donnés respectivement en ‰ et en mg/l .

I.6.1.3. Turbidité (Rodier, 2009)

- **Principe**

La détermination de la turbidité mesure une propriété optique de l'échantillon d'eau qui résulte de la dispersion et de l'absorption de la lumière par les particules de matières en suspension présentes dans l'échantillon

- **Mode opératoire**

L'instrument utilisé dans le laboratoire est un Turbidimètre HACH de modèle 2100N de lecture directe.

Après remplissage de la cuvette de mesure propre et bien essuyée au papier hygiénique contenant l'échantillon à analyser, bien homogénéisé, il s'effectue rapidement la mesure. Il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure. La mesure est obtenue directement en NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

I.6.2. les paramètres chimiques indispensables

I.6.2.1. Chlore résiduel

On utilise la méthode à la diéthyl_N, N-paraphénylène-diamine (DPD). En présence du chlore libre, le DPD donne une coloration rose dont l'intensité de cette dernière est proportionnelle à la teneur en chlore libre. On introduit dans un tube à essai 10 ml d'eau à analyser à qui on ajoute sans toucher un comprimé du réactif DPD N°1 puis on agite. Après la dissolution du réactif et la stabilisation de la couleur, on compare l'intensité de la couleur à l'aide d'un comparateur qui donne directement la concentration en mg de Cl_2/l . Les réactifs DPD fournis sous forme des tablettes de comprimés sont les seuls réactifs utilisées pour cette analyse.

I.6.2.2. Alcalinité ou titre alcalimétrique (NF T90-036)

Le principe est détermination en ions bicarbonates (HCO_3^-), carbonates (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-) par mesure de l'acide chlorhydrique nécessaire pour amener à pH 8,3 et 4,5 l'échantillon à analyser. La première détermination (pH 8,3) sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde (pH 4,5) sert à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

Dans notre cas la prise d'essai est de 50 ml (on a pris la moitié qui sera pris en compte dans le calcul en multipliant par facteur 2) et le pH est inférieur à 8,3. Donc on ne mesure que le TAC (annexe2).

Pour le calcul on utilise les formules suivantes :

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{(V_2 \times N \times 1000)M_2}{V} \text{ (mg/l)}$$

$$\text{TAC} = V_2 \times 5 \times Fd \text{ (°F)}$$

M_2 : Masse molaire de $\text{HCO}_3^- = 61\text{g}$

V_2 : volume totale d'acide chlorhydrique en millilitre lu au dosimat (mL)

V : volume en millilitres, de la prise d'essai (50 mL)

N : normalité de la solution acide = 0,01 N

$Fd = 2$: facteur de dilution.

I.6.2.3. Titre hydrométrique (TH) (Norme : ISO 6059 NA 752)

- **Principe**

Le titrage molaire des ions calcium et magnésium se fait à l'aide d'une solution de sel disodique de l'acide éthylène-diamine-tétraacétique (EDTA) à pH10. Le noir érichrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur (Annexe 2).

$$\text{TH} = V_2 \times 2 \times Fd \text{ (°F)}$$

TH : dureté exprimée en °F

V_2 : est le volume en millilitres de la solution d'EDTA, utiliser pour le dosage du TH

Fd : facteur de dilution

I.6.2.3.1. Dosage de Calcium (ISO 6058 NA 1655)

- **Principe**

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un pH compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est le murexide, qui forme un complexe rose avec le calcium, lors de titrage, l'EDTA réagit avec les ions de calcium, l'indicateur vire alors de la couleur rose au violet (Annexe 2).

La détermination de la quantité de calcium est donnée par la formule suivante:

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{C_1 \times V_1 \times A}{V_0} \times 1000 \times Fd \text{ (mg/l)}$$

C₁ : concentration exprimée en mole/l de la solution EDTA=0,01.

V₀ : est le volume en ml de la prise d'essai = 50ml

V₁ : est le volume en ml de la solution d'EDTA, utiliser pour le dosage

A : la masse atomique du calcium = 40,08g

Fd : facteur de dilution

I.6.2.3.2. Dosage du Magnesium

La concentration du magnésium est calculée à partir du volume d'EDTA versé lors du titrage de TH et le volume de l'EDTA versé lors du dosage du calcium.

$$[\text{Mg}^{2+}] = (V_1 - V_2) \times 4,86 \times Fd \text{ (mg/l)}$$

V₁ : est le volume en mL de la solution d'EDTA, utiliser pour le dosage du Ca²⁺

V₂ : est le volume en millilitres de la solution d'EDTA, utiliser pour le dosage du TH

I.6.2.4. Chlorures (Norme NF ISO 9297)

- **Principe**

Le dosage des chlorures est réalisé par titrage au nitrate d'argent (AgNO_3) en utilisant du dichromate de potassium (K_2CrO_4) comme indicateur. Réaction des ions chlorure avec des ions d'argent pour former du chlorure d'argent (AgCl) insoluble qui précipite, ce précipité réagit avec l'indicateur (K_2CrO_4) pour former des chromates d'argent, brun rouge (Ag_2CrO_4). L'apparition de la coloration brun rouge (virage) marque la fin du titrage (Annexe 2).

$$[\text{Cl}^-] = [(V \times F) - V_b] \times 7,1 \text{ (mg/l)}$$

V : est le volume en ml de la solution de nitrate d'argent utilisé pour le titrage de l'échantillon.

V_b : est le volume en ml de la solution de nitrate d'argent utilisé pour le titrage du blanc

F_d : Facteur de dilution

I.6.2.5. Les sulfates (Rodier, 2009)

- **Principe**

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum en présence de BaCl_2 (Annexe 3).

I.6.2.6. L'aluminium par spectrophotométrie (méthode interne SEEAL)

- **Principe**

Réaction de l'aluminium avec l'eriochrome cyanine à un pH de 5,9 en présence d'acétate d'ammonium : apparition d'une coloration rouge-orange (Annexe 2).

I.6.2.7. La silice : Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire au molybdate d'ammonium (méthode interne SEEAL)

- **Principe**

L'anhydride silicique donne avec le molybdate d'ammonium à pH 1.2 une coloration jaune due à l'acide silico-molybdique : celui-ci peut être réduit en anhydride silico-molybdique de coloration bleue (Annexe 2).

I.6.2.8. Sodium et potassium par spectrométrie d'absorption atomique (ISO 9964)

- **Principe**

Aspiration directe de l'échantillon dans la flamme d'air/acétylène d'un spectromètre d'absorption atomique. Mesure de l'absorbance à une longueur d'onde de 330.2 nm avec l'appareil d'absorption atomique en mode flamme AAS 800.

- **Mode opératoire**

La lecture de la concentration du potassium et de sodium se fait directement en mg/l par l'auto analyseur

I.6.3. Les paramètres chimiques indésirables (paramètres de pollution)

I.6.3.1. Azote ammoniacal (ammonium (NH_4^+) par spectrophotométrie d'absorption moléculaire (Norme ISO 7150/1)

- **Principe**

Mesure spectrophotométrique à une longueur d'onde de 655nm du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium comme catalyseur (Annexe 2).

I.6.3.2. Ortho phosphate (méthode au molybdate d'ammonium) (ISO 6878/1, 2005)

- **Principe**

Les ions orthophosphates en solution acide et en présence d'ions molybdate et antimoine forment un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate qui, après réduction par l'acide ascorbique, donne un complexe de molybdène fortement coloré en bleu. Le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double de potassium et d'antimoine. La mesure de l'absorbance de ce complexe se fait à une longueur d'onde de 880nm et permet de déterminer la concentration en orthophosphates de l'échantillon (Annexe 2).

I.6.3.3. Nitrite (NO₂⁻) par spectrophotométrie d'absorption moléculaire (ISO 6777, 1984)

- **Principe**

La réaction des ions présents dans l'échantillon, à pH 1,9 avec le réactif amine-4 benzène sulfonamide en présence d'aide ortho phosphorique pour former un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose avec le dichlor-hydrate de N-naphtyl-1 diamino-1,2 éthane, laisser au repos pendant 30 mn puis faire le mesure à 540nm (Annexe 2).

I.6.3.4. Nitrate par la méthode au salicylate de sodium (Rodier, 1971)

- **Principe**

En présence de salicylate de sodium, le nitrate donne du paranitrozonylate de sodium de couleur jaune susceptible d'un dosage colorimétrique (Annexe 2).

I.6.3.5. Dosage des métaux lourds (ISO N° 82-88)

- **Principe**

Aspiration directe de l'échantillon dans la flamme d'air/acétylène d'un spectromètre d'absorption atomique (SAA) Mesure de l'absorbance à une longueur d'onde de 330.2 nm (Annexe 2).

Le résultat est donné directement en mg/L à l'aide de l'interface SOLAAR par ordinateur.

I.7. Analyse statistique

I.7.1. ANOVA factorielle

L'analyse de la variance factorielle vise à comparer les moyennes obtenues par des groupes indépendants qui se différencient sur deux ou plusieurs facteurs (PAVLINOV, 2000).

II. Résultats et Discussion

Chapitre 2 : Partie expérimentale

II. Résultats et discussion

II.1. Résultats des analyses bactériologiques

Il ne faut jamais supposer que l'eau que nous consommons est bonne à boire simplement parce qu'elle ne nous a jamais rendu malades. Si des bactéries sont présentes dans une eau, les risques de maladies sont réels.

II.1.1. Bactéries indicatrices de contamination fécale

Les coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale (CHEVALIER, 2003). FIGARELLA et LEYRAL (2002), rapporte que la recherche et le dénombrement des coliformes à 37°C, est intéressant pour juger de l'efficacité de la désinfection d'une eau. Ils sont d'un intérêt moindre pour détecter une contamination d'origine fécale, du fait que certains de ces coliformes peuvent faire partie de la flore naturelle des eaux et des sols non pollués.

Les streptocoques ou les Entérocoques intestinaux sont généralement pris globalement en compte comme des témoins de pollution fécale, car tous ont un habitat fécal (GUIRAUD, 1998 ; RODIER et al., 2005).

Tableau 3 : La moyenne des résultats des bactéries coliformes et de streptocoques des eaux de puits

Echantillon	Puits n°1	Puits n°2	Puits n°3	Puits n°4	Normes algériennes
Germe (n/100 mL)					
Coliformes totaux	0	0	14,3±4,30	0	<10
Coliformes fécaux (E. coli)	0	0	0	0	0
Entérocoques intestinaux	0	0	0	8±1,63	0

Dans cette étude, nous avons constaté l'absence totale des coliformes fécaux (E. coli) dans les 4 Puits qui en accord avec les normes du Journal Officiel Algérien (2011).

Il convient de remarquer l'absence totale de tous les germes indicateurs de contamination fécale pour les puits n°1 d'Ain Dhab et n° 2 de Damiette.

On remarque un dépassement des normes tolérées par le Journal Officiel Algérien (2011), soit le puits n°3 de Tenyet el Hadjer avec un nombre de coliformes totaux de $14,3 \pm 4,30$ germes/ 100 mL et le puits n°4 de Takbou avec un nombre d'Entérocoques intestinaux de $8 \pm 1,63$ germes/100 mL. Alors on peut dire que les puits n°3 et n°4 sont de mauvaise qualité bactériologique.

Selon Guiraud (1998), la contamination par les germes pathogènes est souvent une contamination de la nappe. Cependant il peut arriver qu'elle soit due à une détérioration des installations et des infiltrations dans celles-ci.

Selon Rodier (2009), les eaux de nappes peu profondes sont plus souvent contaminées après de fortes précipitations ou après les fontes des neiges qui submergent la protection des terrains filtrants.

Selon Rodier (1978), si l'eau destinée à l'alimentation est de mauvaise qualité bactériologique, il convient d'instaurer un traitement qui vise à éliminer les bactéries indésirables soit à les détruire à l'aide d'antiseptique.

Si *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 votre puits ou de la tuyauterie. Cette couche porte le nom de pellicule biologique.
- Il se peut que l'eau de surface pénètre dans votre puits, ce qui accroît les risques de contamination par matières fécales animales.
- Il se peut que l'eau de votre puits provienne d'un aquifère contenant des bactéries. Cela peut se produire quand l'eau souterraine provient d'une source peu profonde (ANONYME 1, 2010).

Si des coliformes totaux sont présents, utilisez un traitement de chloration concentrée pour désinfecter le puits (ANONYME 10, 2010).

Ces résultats trouvés dans cette étude sont probablement dus au manque ou à l'insuffisance de traitement ce qui est confirmé par le test de chlore où on a noté un taux de chlore négatif.

II.1.2. Les bactéries spécifiques

➤ *Pseudomonas aeruginosa*

Les pseudomonas sont également des bactéries sous forme de bâtonnets et sont des ubiquitaires ne se trouvant pas uniquement dans l'eau. Ils colonisent avant tout les surfaces de séparation air-eau (douches, robinetterie de puisage, siphons etc.). La température optimale de prolifération se situe entre 15 °C et 30 °C. Les infections ne sont pas provoquées par la boisson, mais par des infections lubrifiantes ainsi que par la contamination des appareils etc. Le représentant le plus connu de ce genre est le *pseudomonas aeruginosa*. Celui-ci est un germe omniprésent, pouvant coloniser toutes les niches humides. Il apparaît dans les eaux usées, eaux de surface, plantes, fruits, denrées alimentaires, terres humides, ustensiles de nettoyage humides (chiffons, éponges), siphons de lavabo et même solutions désinfectantes. En terrain favorable, il croît sous production d'un pigment vert (**ANONYME 11**).

Tableau 4 : Le taux de *Pseudomonas aeruginosa* dans les 4 puits analysés

Echantillon / Germe	Puits n°1	Puits n°2	Puits n°3	Puits n°4	Normes Algériennes
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (UFC/100 mL)	0	7,81 ± 4,91	13,80 ± 8,20	11,47 ± 3,89	0

Comme le montre le tableau 4, le taux des *Pseudomonas aeruginosa* pour les 3 puits n°2, n°3 et n°4 est au-dessus du seuil maximal d'acceptabilité préconisé par les normes algériennes soit le puits n°3 avec la plus haute teneur 13,80 ± 8,20 /100 mL à l'exception du puits n°1 qui est exempt de *Pseudomonas aeruginosa*.

De ce fait on peut dire que ces eaux de puits sont impropres à la consommation.

Selon **LEIJ et al (1994)**, l'introduction de *Pseudomonas aeruginosa* dans un biotope a été indiquée comme induisant une perturbation de la microflore endogène. Même si *Pseudomonas aeruginosa*, par la production d'enzymes protéolytiques, peut ralentir l'activité

de la particule virale dans les eaux naturelles, la cohabitation bactérienne plurispécifique peut aussi parfois favoriser la survie de certains micro-organismes (TOBIN *et al.*, 1989).

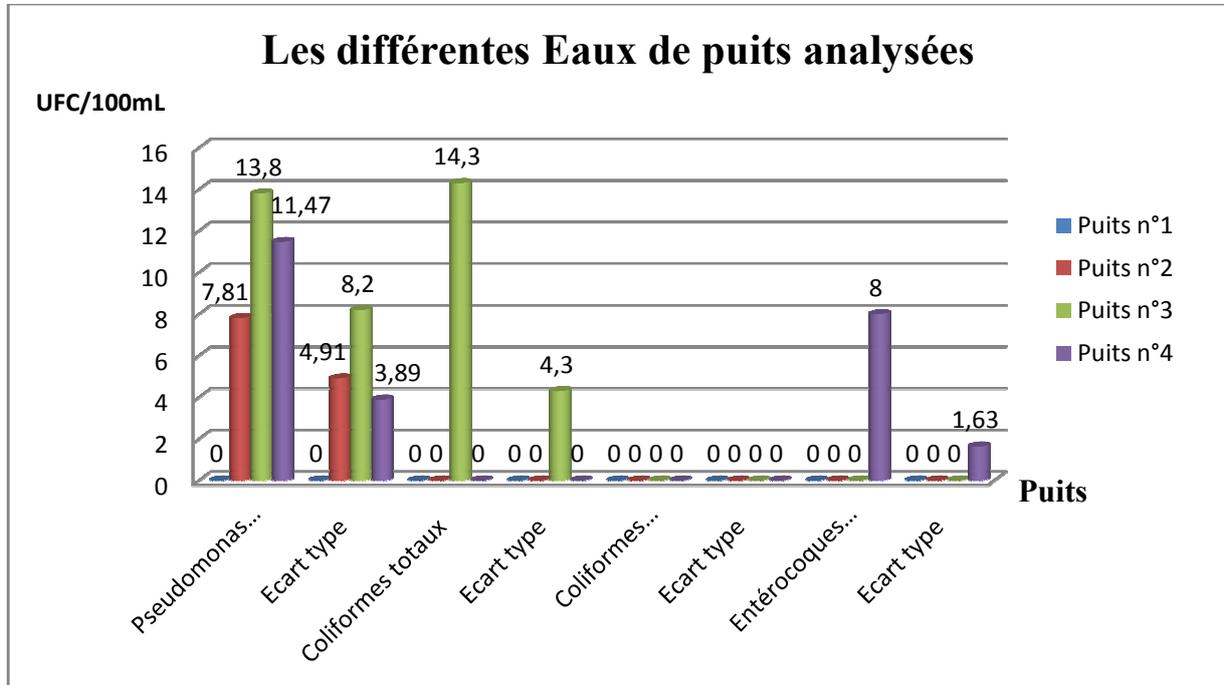


Figure n° 9 : Résultats des analyses microbiologiques des différentes eaux.

L'eau d'une nappe phréatique apparaît d'autant plus vulnérable à la pollution microbiologique que le toit de la nappe est proche de la surface du sol et que les terrains qui surmontent l'aquifère sont perméables aux sources superficielles de pollution (BOUTIN, 1987).

La survie des bactéries dans les eaux souterraines est liée aux facteurs pédologiques et aux caractéristiques générales de la nappe phréatique, caractéristiques comprenant, entre autre, le caractère saturé ou insaturé du sol, sa porosité et la nature des polluants chimiques présents dans l'eau souterraine (MOISE *et al.*, 1998).

II.2. Résultats des analyses physico-chimiques

Les résultats des analyses physico-chimiques sont représentés par les moyennes des résultats des mesures et des dosages des différents éléments.

II.2.1. Les paramètres physiques

II.2.1.1. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (DUSSART, 1966 ; BERMOND et VUICHARD, 1973). Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie aquatique un développement favorable. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 alors que dans les eaux tièdes, celui-ci est compris entre 5 et 9 (ANONYME 12, 2007).

Les valeurs obtenues pour les pH nous permettent de tracer l'histogramme de la (Figure n° 10).

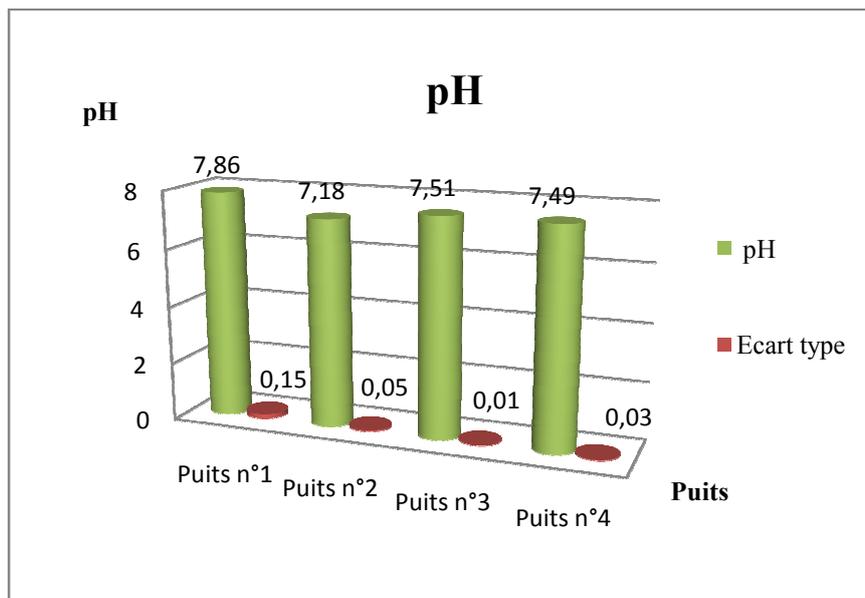


Figure n°10 : Résultats de pH des différentes eaux de puits analysés.

Les résultats de la figure ci-dessus, laissent apparaître une variation de pH entre $7,18 \pm 0,05$ dans le puits n°2 de Damiette et $7,86 \pm 0,15$ pour l'échantillon n°1 d'Ain Dhab (Figure n°10), ce qui témoigne d'une légère alcalinité du milieu. Donc le pH des 4 échantillons se trouve dans l'intervalle des valeurs fixées par la norme algérienne ($\geq 6,5$ et ≤ 9) et sont dans les normes de potabilité.

Les eaux naturelles ont un pH qui est fonction des concentrations en gaz carbonique dissous et en hydrogénocarbonates (BOEGLIN, 2000).

II.2.1.2. Conductivité

La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et elle est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau (ANONYME 13, 2006). En effet, la mesure de la conductivité permet une évaluation rapide et approximative de la minéralisation globale ou la salinité de l'eau, même d'en suivre l'évolution (BOEGLIN, 2000; DIB, 2009).

Les valeurs enregistrées durant la période d'étude varient entre $596,67 \pm 2,88 \mu\text{s/cm}$ pour le puits n°1 d'Ain Dhab et $1847,33 \pm 2,62 \mu\text{s/cm}$ pour l'échantillon 2 de Damiette (figure n°11).

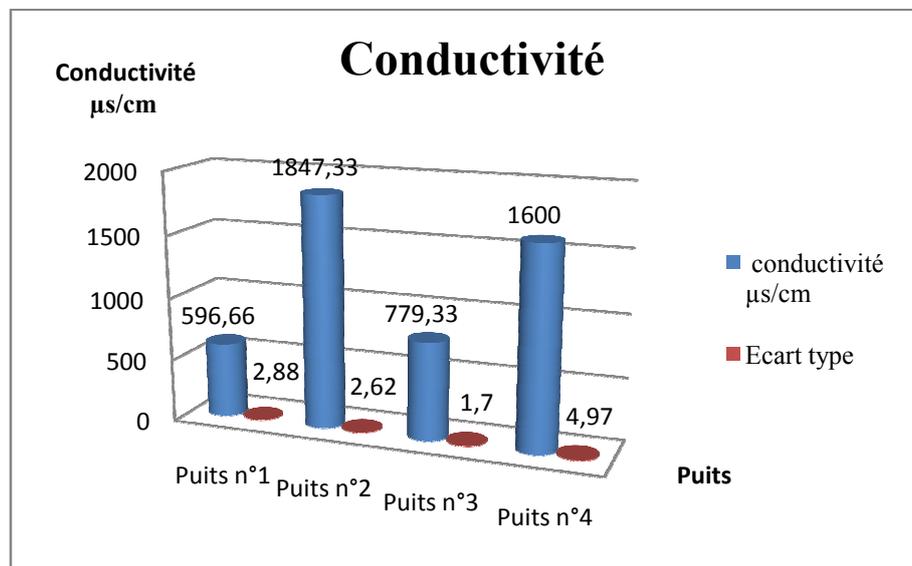


Figure n°11: Résultats des conductivités des différentes eaux de puits analysés.

La conductivité électrique dépend des charges de matière organique endogène et exogène, génératrice de sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau, elle varie aussi suivant le substrat géologique traversé (ANONYME 13, 2006).

RODIER *et al.* (2005), signalent que la variation de conductivité est induite par la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Cette mobilité dépend de la nature des ions dissous et de leur concentration, tels que les ions de calcium

(Ca^{2+}), de sodium (Na^+), de chlorure (Cl^-), des bicarbonates (HCO_3^-), etc. La conductivité électrique augmente avec la concentration des ions en solution et la température (DIB, 2009).

II.2.1.3. Taux des sels dissous (TDS) et salinité

La minéralisation est fonction de la géologie des terrains traversés. Elle est plus élevée dans les eaux souterraines (RODIER et al., 2005).

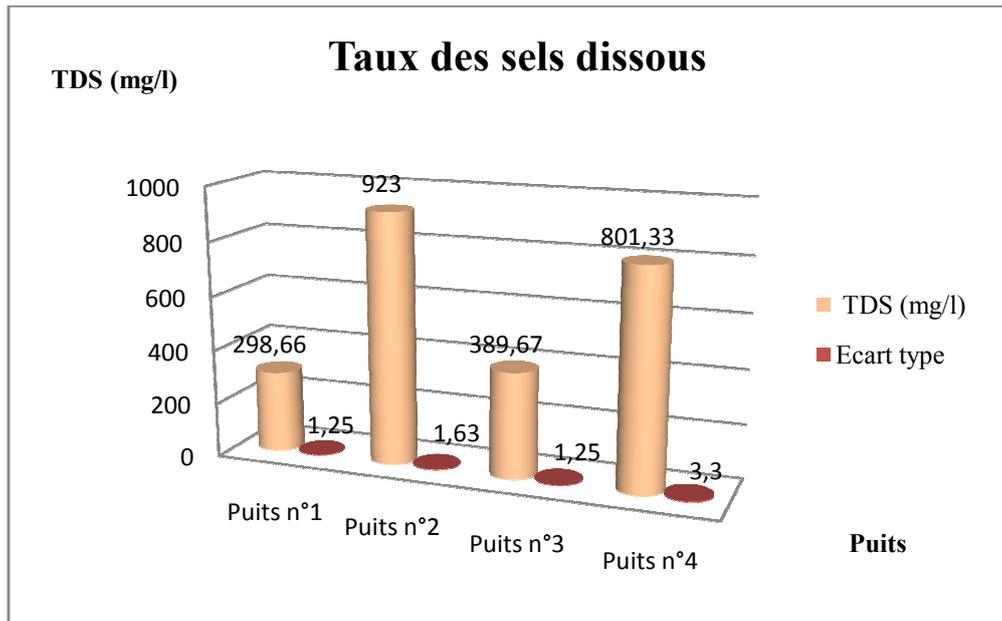


Figure n°12 : Taux des sels dissous (TDS) des 4 puits étudiés

La salinité correspond à la quantité de sels dissous qui sont le chlorure de sodium (NaCl), chlorure de magnésium (MgCl_2), etc. L'augmentation de la salinité reflète une augmentation en ions sodium (Na^+), magnésium (Mg^{2+}), chlorure (Cl^-),... après dissociation des sels. Cette salinité se mesure directement à partir de la conductivité électrique des échantillons d'eau prélevés (FIGARELLA et LEYRAL, 2002; RODIER et al., 2005).

Les concentrations en sels dissous dans les échantillons d'eau étudiés, sont variables. Elles sont respectivement de $298.67 \pm 1,25$ mg/L pour le puits n°1 jusqu'au $923 \pm 1,63$ mg/L dans l'échantillon n°2, le journal officiel algérien ne précise pas des limites, mais ces valeurs obtenus sont conformes à l'OMS (2006) soit 1000 mg/l.

On constate que ce sont des eaux moyennement minéralisées. Par contre les eaux de forte minéralisation ne peuvent être bues sans restriction d'une façon permanente car l'abus

de leur consommation peut être dangereux pour la santé car la plupart de ces eaux ne sont pas destinées à la consommation permanente (le sodium en excès favorise l'hypertension) (ROUESSAC, 2004).

II.2.1.4. La turbidité

La figure suivante résume les variations de la turbidité des 4 puits étudiés :

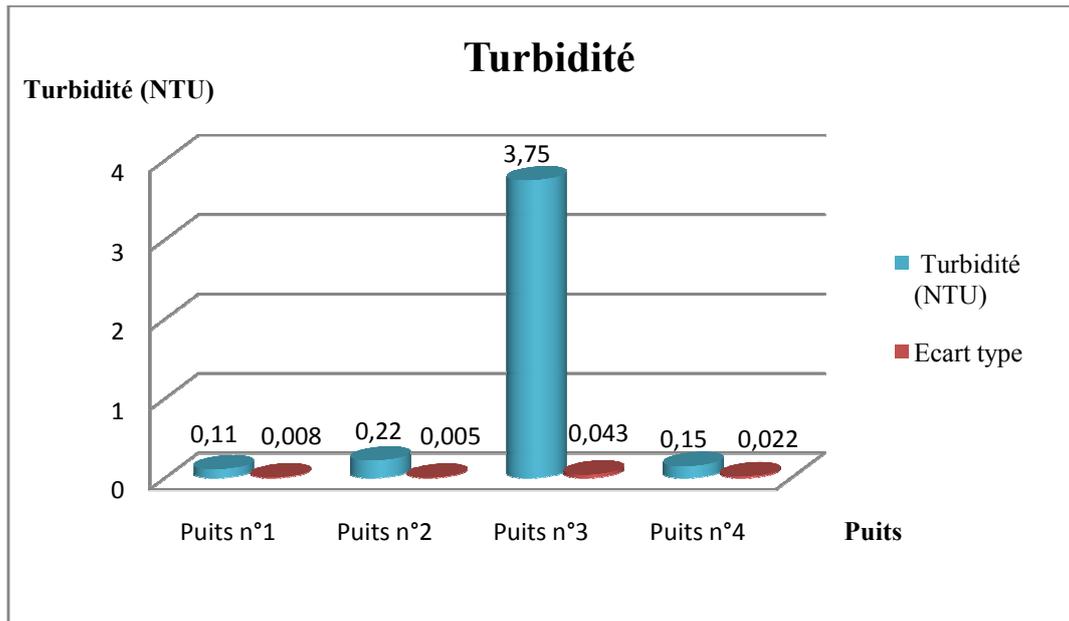


Figure n° 13: Variation des résultats de la turbidité des 4 puits

D'après le graphe la turbidité des 4 échantillons est inférieure à la norme préconisée par le journal officiel algérien (2011) qui est de 5 NTU. Alors ces eaux sont conformes aux normes de potabilité.

Selon DESJARDINS (1990); KETTAB (1992); BOEGLIN (2000), parmi les caractéristiques générales des eaux souterraines, il faut retenir leur très faible turbidité.

II.2.2. les paramètres chimiques indispensables

II.2.2.1. Le test du chlore

Il est bien connu que la chloration a pour objectif l'élimination des germes pathogènes, l'oxydation de la matière organique et de quelques éléments minéraux, mais également le

maintien d'un résiduel désinfectant capable d'assurer la protection microbiologiques de l'eau pendant son transport dans le réseau de distribution (CLAUDE, 1996).

Dans les quatre puits étudiés, on a absence totale du chlore, les propriétaires de ces puits ne font pas la désinfection de leurs puits ; c'est pour ça on a constater une mauvaise qualité bactériologique des puits étudiés surtout la période estivale.

D'après (DEGREMONT, 2005), une bonne chloration doit permettre de retrouver une quantité de chlore résiduel dans l'eau et qui doit arriver au consommateur à une concentration de 0,3 mg/l.

II.2.2.2. Dureté totale (titre hydrotimétrique)

La dureté totale a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium (HAKMI, 2006).

Les différents titres hydrotimétriques sont présentés dans la figure ci-dessous :

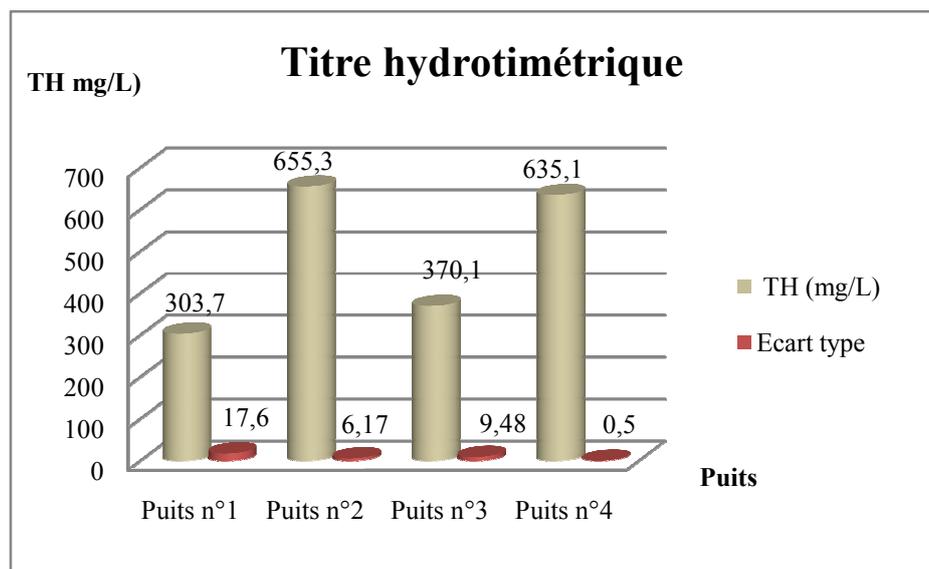


Figure n°14 : Variation des résultats de titre hydrométrique (TH) des 4 puits

Les normes françaises fixent la dureté totale exprimée en degré hydrométrique (°F) à 10 mg de CaCO₃/l (RODIER et al., 2005).

D'après le graphe ci-dessus, les valeurs obtenues de la dureté totale, vont de 303,7±17,6 mg/l CaCO₃ (soit 30,37 ±1,76°F) pour le puits n°1 jusqu'à 655,3 ± 6,2 mg/l CaCO₃ (soit 65,53±0,62°F) pour le puits n°2 de Damiette, donc nous remarquons une

augmentation par rapport à la valeur fixée par la norme algérienne (**JORA, 2011**) soit 200 mg/l CaCO₃.

D'après les résultats obtenus (tableau n°5) et les normes de **l'OMS (1972)** mentionnées dans le tableau, on remarque que les échantillons d'eau de la présente étude sont de différentes duretés :

Tableau 5 : Normes de dureté des eaux de boissons (**OMS, 1972**)

Paramètres	Titre hydrotimétrique (TH°F)				
	0-7	7-22	22-32	32-54	>54
Dureté d'eau	douce	Modérément douce	Assez douce	dure	Très dure

Alors selon ce tableau on peut classer nôtres échantillons comme suit :

Tableau 6 : classement des puits analysés selon la dureté

Echantillon	Puits n°1 (Ain Dhab)	Puits n°2 (Damiette)	Puits n°3 (Tenyet el hadjer)	Puits n°4 (Takbou)	JORA (2011)
TH °F	30,37	65,53	37,01	63,51	200 mg/l CaCO ₃
TH mg/l CaCO ₃	303,7	655,3	370,1	635,1	
Type d'eau	Assez douce	Très dure	dure	Très dure	

L'eau dure n'a pas d'effets nocifs sur la santé mais la formation de calcaire peut générer des désagréments matériels (entartrage des canalisations notamment) (**RODIER, 2005**).

Dans les échantillons analysés (tableau 6), ce paramètre présente une grande variation d'un puits 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.

La dureté d'une eau, constitue un risque notable dans l'entartrage des canalisations. Pour une eau d'adduction, une dureté élevée contribue également à accroître la consommation de savon (**RODIER et al., 2005; HAKMI, 2006**). Il a été démontré que les réservoirs, les réseaux et les points de puisage (robinet, pommes de douche) des conduites d'eau chaude sanitaire pouvaient, s'ils étaient entartrés, être favorables à l'accueil et à la prolifération des

bactéries (MEGDOUD, 2003). Toutefois, certaines études, rapportent qu'il semble exister un pourcentage plus élevé de mortalité par affections cardio-vasculaires, dans les régions où sont distribuées des eaux douces. Les eaux dures peuvent limiter le transfert intestinal des ions métalliques toxiques comme le cadmium, le cuivre, le plomb, etc., contrairement aux eaux douces (RODIER et al.,2005).

II.2.2.3. Alcalinité

Les titres alcalimétriques complets des échantillons d'eau de la présente étude vont de $166,2 \pm 1,5$ mg /l CaCO_3 pour le puits n°4 de Takbou jusqu'à $243,7 \pm 0,9$ mg/l CaCO_3 dans l'échantillon n°3 (Tableau 7). Les résultats trouvés (figure n°15) sont conformes à la limite préconisée par le JORA (2011) soit 500 mg/l CaCO_3 .

Tableau 7 : Résultats des TAC des puits étudiés

Echantillon	Puits n°1 (Ain Dhab)	Puits n°2 (Damiette)	Puits n°3 (Tenyet el hadjer)	Puits n°4 (Takbou)	JORA (2011)
TAC (°F)	22,10	21,47	24,37	16,63	500(mg/l)
TAC (mg/l CaCO_3)	221	214,7	243,7	166,2	

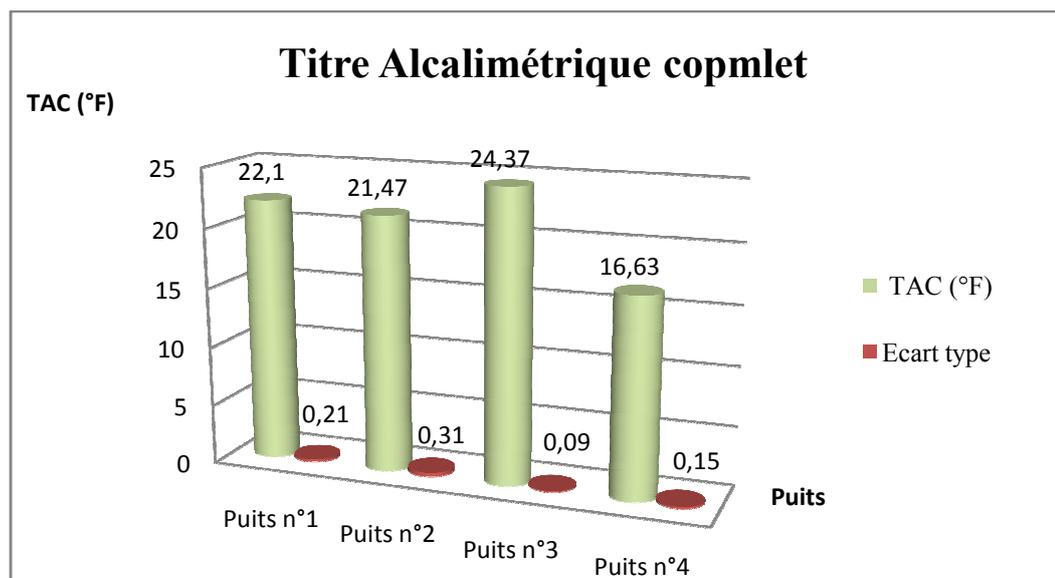


Figure n° 15: Variation des résultats de titre alcalimétrique complet (TAC) des 4 puits

II.2.2.4. Minéralisation globale

Les normes algériennes de potabilité pour le calcium sont fixées à 200 mg de Ca^{2+}/L (JORA, 2011). Le puits n°1, 3, et 4, présentent des limites acceptables en normes. Par contre l'échantillon n°2 dépasse les normes avec $219, 58 \pm 15,3 \text{ mg/L}$.

Le potassium de même dépasse les normes (12 mg de K^+/L) dans l'échantillon n°2 et n°4 soit respectivement de $30,51 \pm 5,2 \text{ mg/l}$ et $19,89 \pm 6,3 \text{ mg/l}$ (JORA, 2011), alors que les échantillons n°1 et n°3 sont conformes aux normes.

Le magnésium, les chlorures, la silice, les sulfates et le sodium mesurés, sont dans les limites des normes de potabilité (150 mg/L Mg^{2+} , 500 mg/L cl^- , 20mg/L Si, 400 mg/L SO_4 , et 200 mg/L Na^+) (JORA, 2000 ; OMS, 2004).

Les valeurs de l'aluminium dans toutes les eaux de puits étudiés (soit : $<0,04 \text{ mg/l}$) sont conformes aux normes recommandées par JORA soit $0,2 \text{ mg/L}$.

La présence des bicarbonates dans les eaux n'a aucun effet sur la santé, ce qui explique l'absence de normes indiquant la valeur guide en cet élément. (BOULANGE, 1992) (Figure n°16).

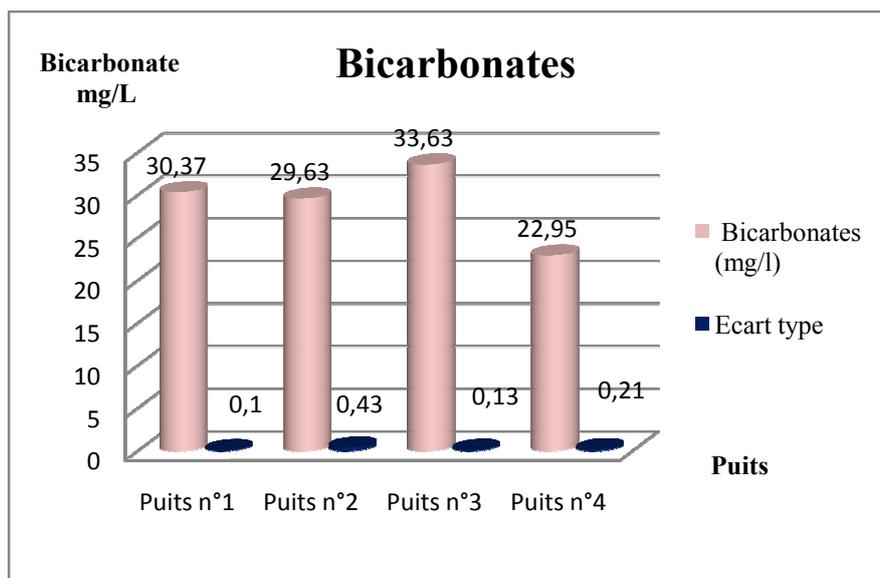


Figure n° 16: Variation des résultats des bicarbonates des 4 puits

L'influence du **calcium** de l'eau sur la santé humaine, a été souvent discutée. Des recherches et des études statistiques notent qu'il n'y aurait pas de relation dose effet avec la teneur de cet élément dans l'eau. Les quantités susceptibles d'être ingérées sous forme de boisson sont inférieures aux quantités nécessaires à l'organisme, estimées approximativement entre 700 et 900 mg/jour. De plus le calcium de l'eau n'est que peu absorbé par l'intestin. Les eaux qui dépassent 200 mg/l de calcium, présentent des inconvénients pour les usages domestiques et pour l'alimentation des chaudières (**RODIER et al., 2005**).

Le calcium peut provenir également des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) qui sont facilement solubles (**DIB, 2009**) (Figure n°17).

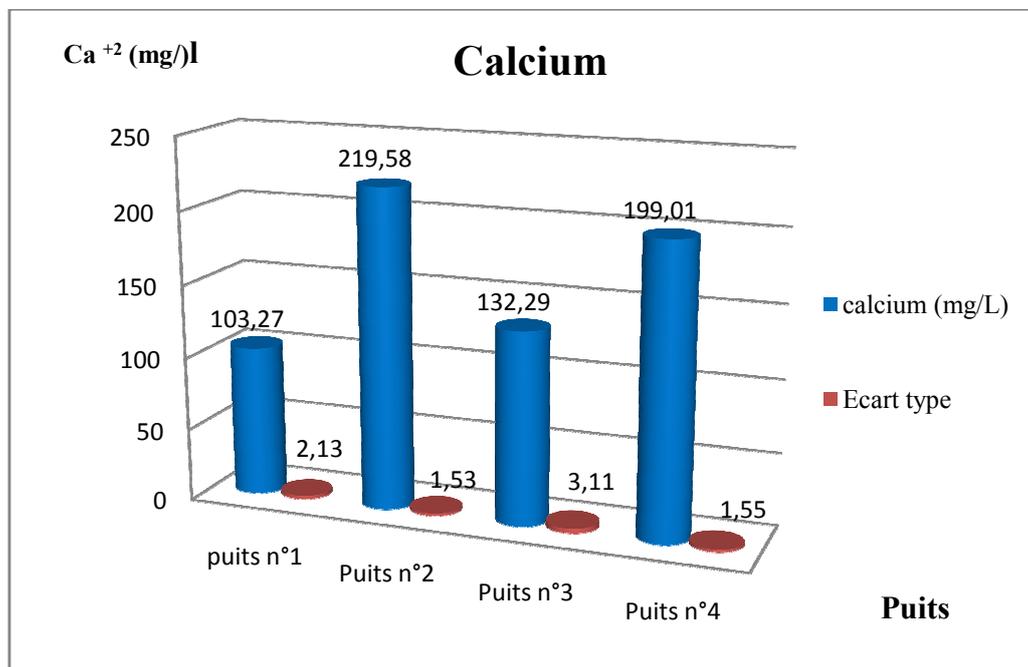


Figure n°17 : Variation des résultats du calcium des 4 puits

Le **magnésium** est un élément présent dans toutes les eaux naturelles (**BENAMAR et al., 2011**). La variation du magnésium dans les eaux souterraines est due à l'influence des formations carbonatées telles que les calcaires, d'une part, et les formations salifères d'autre part comme les argiles et les marnes qui sont riches en Mg^{2+} (**DIB, 2009**). La plupart des sels de magnésium sont très solubles dans l'eau, même le carbonate peut être dissous jusqu'à 300 mg/l à 20°C. Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogencarbonates. En zones arides, il a été constaté

la consommation courante et sans problèmes majeurs pour les habitudes, des eaux contenant 200 mg/l de magnésium avec des teneurs élevées en sulfates (RODIER *et al.*, 2005) (Figure n°18).

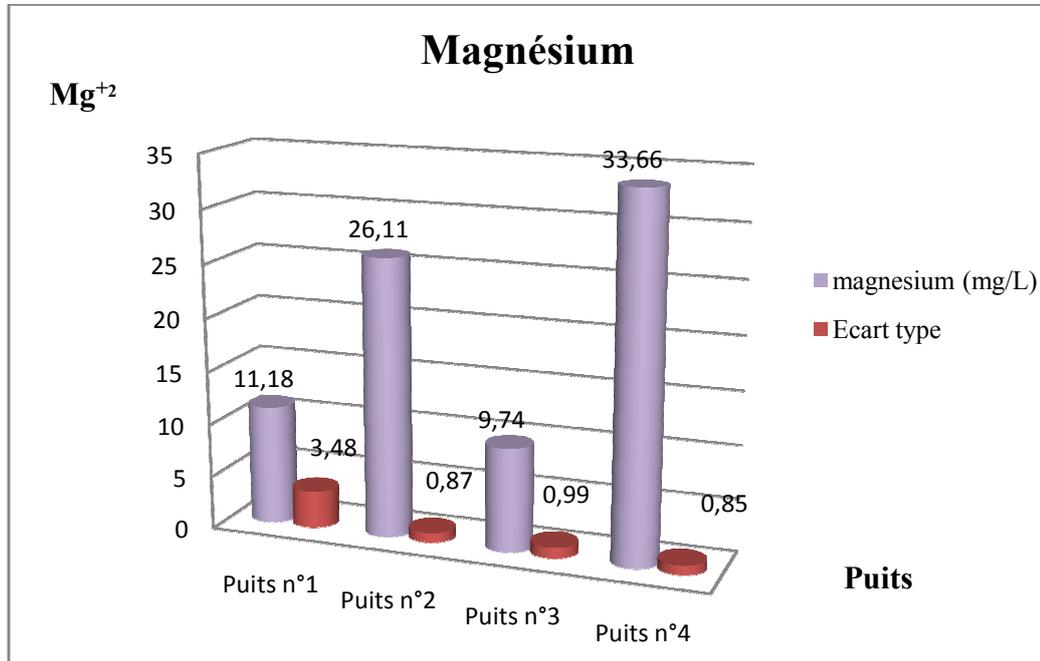


Figure n° 18 : Variation des résultats du magnésium des 4 puits

Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables, allant de quelques dizaines de milligrammes à 500 mg/l. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition des sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères, etc. Par ailleurs le traitement de l'eau peut ajouter du sodium en provenance du carbonate, de l'hydroxyde, du silicate et de l'hypochlorite de sodium. Dans l'état actuel des connaissances, il n'existe pas d'argument suffisant pour justifier la fixation d'une valeur indicative pour le sodium dans l'eau, pour la base d'un risque sanitaire (RODIER *et al.*, 2005). Comme le corps possède des mécanismes très efficaces de régulation des teneurs en sodium du milieu interne, ce métal n'est pas fortement toxique aux concentrations où on le trouve normalement dans l'environnement ou dans l'alimentation (FINBERG *et al.*, 1963).

Pour **MONTIEL (1999)**, la présence exagérée de sodium dans les eaux peut affecter certaines populations (sujets souffrant d'hypertension par exemple), et peut aussi affecter certains sujets normaux (augmentation de la tension sanguine chez les adolescents).

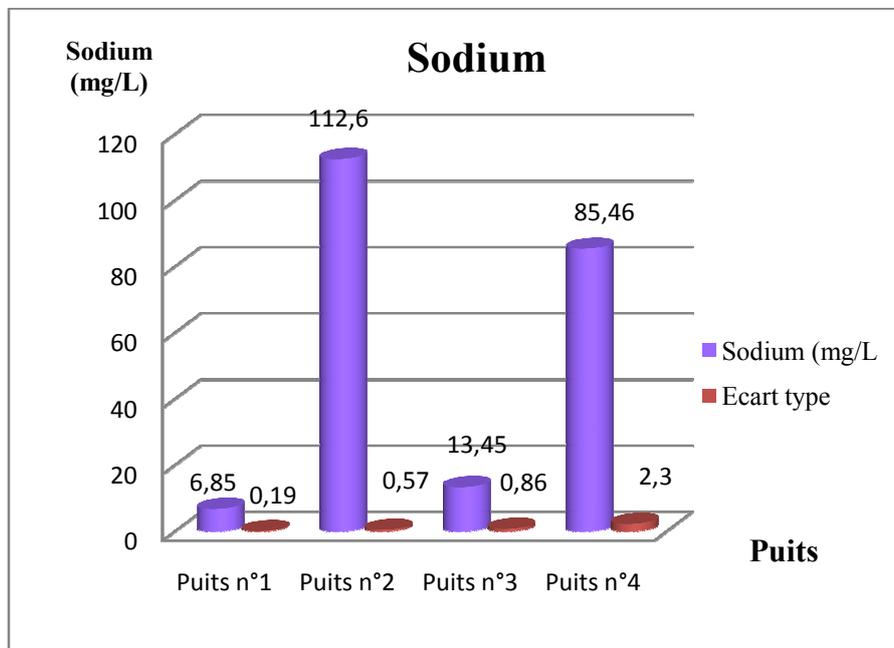


Figure n° 19 : Variation des résultats du sodium des 4 puits

Bien que dans les roches ignées, la teneur en **potassium** soit presque aussi importante que celle du sodium (**RODIER et al., 2005**), avec la nature du terrain, c'est tout à fait le contraire, où le potassium est mineur par rapport au sodium. Le potassium à faible dose ne représente pas de risques significatifs. Même des variations importantes de ces teneur de l'eau, n'auraient que des effets négligeables sur les concentrations de l'organisme (**RODIER et al., 2005**). Sa présence dans les eaux naturelles ne dépassent pas habituellement 10 à 15 mg/l. Le seuil de perception gustative du chlorure de potassium se situe à environ 20 fois cette valeur (**FALL, 2008**).

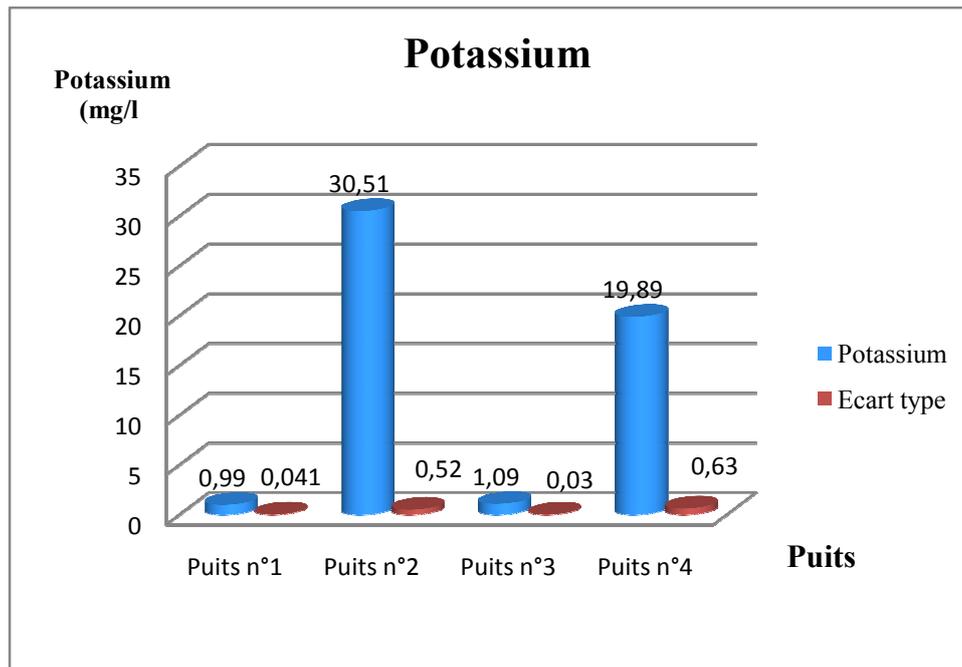


Figure n°20 : Variation des résultats du potassium des 4 puits

Les teneurs en **chlorures** des eaux sont extrêmement variées et sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Leurs teneurs dans les eaux naturelles sont susceptibles de subir des variations en zones arides suite au lessivage superficiel en cas de fortes pluies. Elles peuvent avoir comme origine, selon **DIB (2009)**, une contamination par les eaux usées.

L'inconvénient majeur des chlorures, est la saveur désagréable, qu'elles communiquent à l'eau à partir de 250 mg/l (**OMS, 1993; WHO, 2008**), surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium. Pour une quantité équivalente de chlorures, la saveur peut être moins marquée en présence de calcium et de magnésium (**RODIER et al., 2005**). **GUERGAZI et ACHOUR (2005)** ; **DIB, 2009** ont observé une forte concentration en chlorures dans des eaux souterraines traitées de réservoir et de réseau de distribution de la région de Biskra de 128 mg/l à 1391 mg/l. Cet élément provoque un goût désagréable dans les eaux de consommation et les rendent corrosives vis-à-vis des conduites et des réservoirs. Elles sont aussi nocives pour les plantes. Cet élément provoque aussi l'augmentation du chlore résiduel lors de la chloration d'une eau chargée en matière organique (**GUERGAZI et ACHOUR, 2005**).

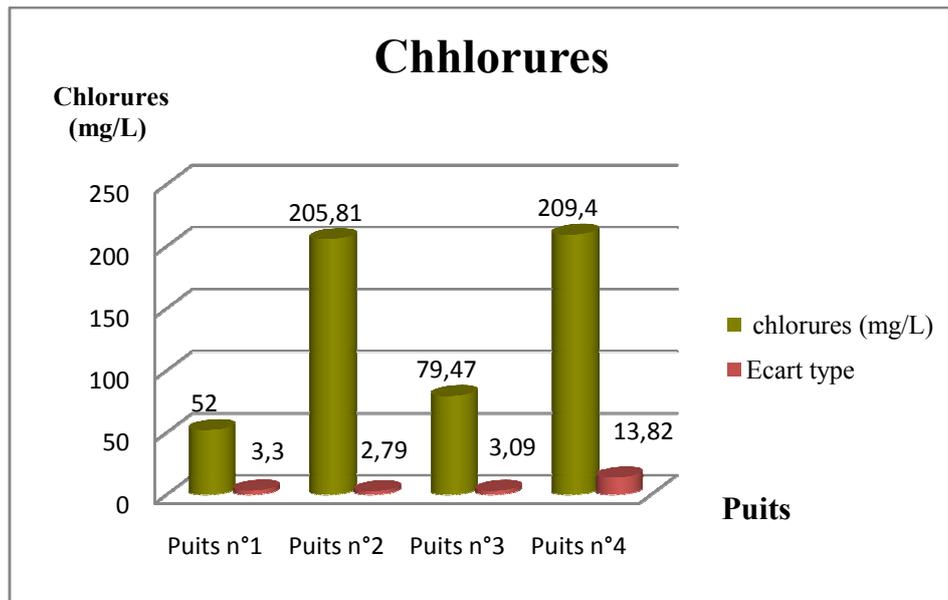


Figure n° 21: Variation des résultats de chlorures des 4 puits

La concentration en ions **sulfates** des eaux naturelles, est très variable, peut être largement dépassée dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevée, et la dissolution du gypse (**RODIER et al., 2005; DIB, 2009**). La présence de sulfate en quantité supérieure à 300 mg/l peut entraîner dans certaines conditions l'**altération des matériaux de construction** (corrosion des réservoirs de stockage) et accélérer la corrosion du fer (**RODIER et al., 2005**).

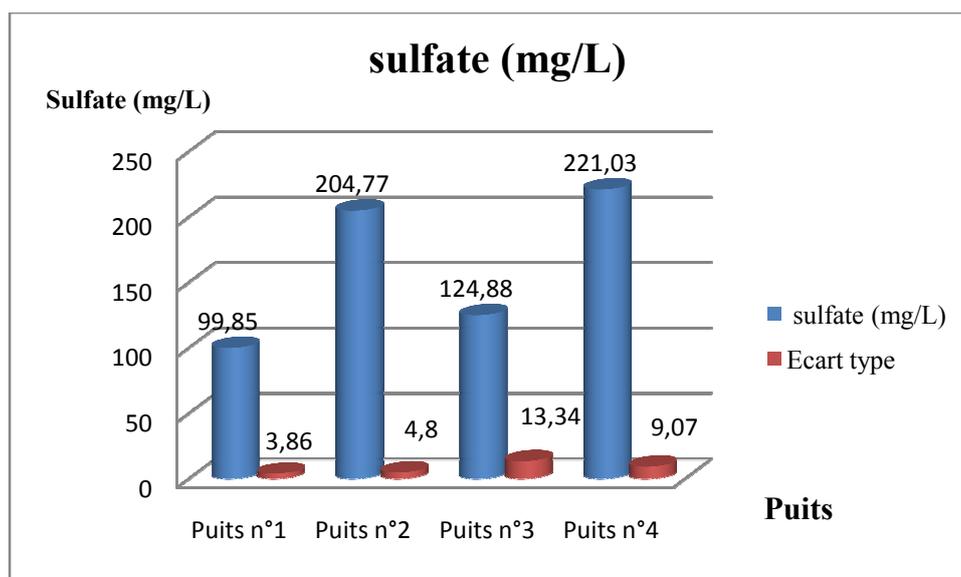


Figure n° 22 : Variation des résultats de sulfates des 4 puits

Les résultats des analyses de **silice** dans les eaux de puits étudiées nous révèlent une conformité aux normes fixées par l'OMS (20mg/L), parce que la norme algérienne ne recommande aucune valeur. Nous constatons aussi que les valeurs sont négligeables par rapport à la limite (Annexe n°3).

En dehors de ses manifestations pathologiques au niveau du poumon liées à l'inhalation, l'action biologique du silicium a été peu étudiée. Cependant, il y a lieu de tenir compte de l'interaction fluor-silicium qui peut être responsable de manifestations d'hyperfluoroses. Donc son contrôle est primordial (**ADALA, 2012**).

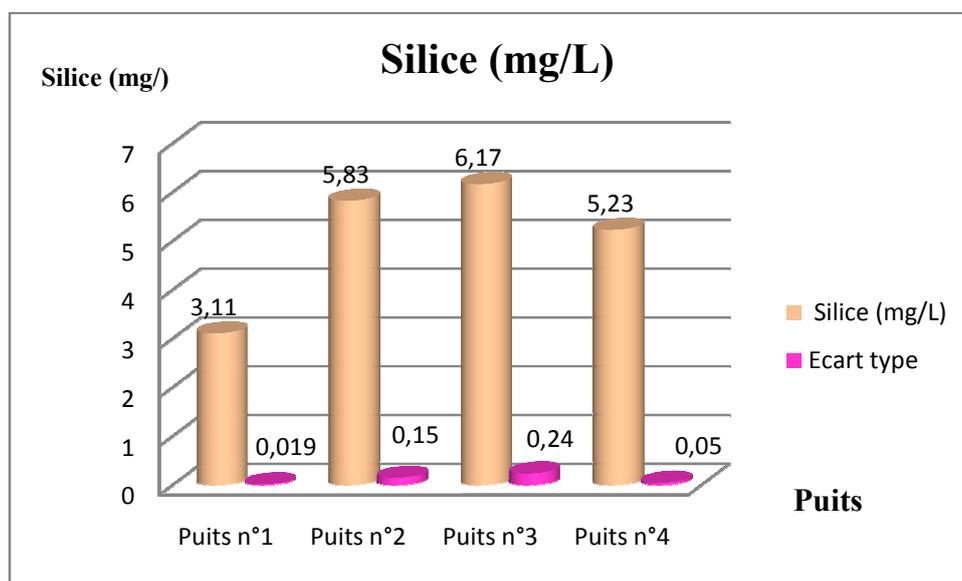


Figure n° 23 : Variation des résultats de la silice des 4 puits

II.2.3. Les paramètres chimiques indésirables (paramètres de pollution)

II.2.3.1. L'ammonium (azote ammoniacal)

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique (**RODIER, 2009**).

Les résultats obtenus montrent que l'eau analysée ne renferme pas d'azote ammoniacal. Pour tous les échantillons prélevés, les teneurs en ce paramètre de pollution sont conformes aux normes du journal officiel algérien (**2011**) ($0,5 \text{ mg NH}_4^+/l$) (Tableau 8).

Tableau 8 : Résultats de moyenne de l'ammonium des différentes eaux analysées

Ammonium mg/l	Puits n°1 (Ain Dhab)	Puits n°2 (Damiette)	Puits n°3 (Tenyet el hadjer)	Puits n°4 (Takbou)	JORA (2011)
moyenne	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,5 mg NH ₄ ⁺ /l

La faible teneur en azote ammoniacal peut être s'expliquer par le fait que l'ammonium est un élément peu stable car il se transforme rapidement par l'oxydation en nitrates et nitrites avec les variations de la température et de l'O₂ dissous.

Enfin bien que l'azote ammoniacal n'ait aucun effet direct sur la santé aux concentrations rencontrées dans les eaux de consommation, l'oxydation biologique de l'ammoniaque peut développer des zones anaérobies dans certaines parties des réseaux de distribution et entraîner ainsi des goûts désagréables et provoquer la corrosion des conduites, notamment en cuivre.

L'ammoniaque présente aussi l'inconvénient de nécessiter une augmentation de la consommation en chlore lors de la désinfection et de produire des composés organochlorés indésirables (chloramines minérales ou organiques) (**DEGREMENT, 2005**).

II.2.3.2. Les phosphates (ortho-phosphates)

Tableau 9 : Résultats de moyenne des ortho-phosphates des différentes eaux analysées

Orthophosphates mg/l	Puits n°1 (Ain Dhab)	Puits n°2 (Damiette)	Puits n°3 (Tenyet el hadjer)	Puits n°4 (Takbou)	JORA (2011)
Moyenne	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	0,5 mg/L NH ₄ ⁺

Il ressort de tableau ci-dessus que les valeurs moyennes de phosphores des 4puits analysés ont des valeurs similaires et qui sont conformes à la valeur fixé par la norme algérienne soit 0,5mg/L (**JORA, 2000**).

Les eaux de surface ou de nappes peuvent être contaminées par des rejets industriels (industries agro alimentaires, ateliers de traitement de surface, laveries) et domestiques ou par le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés ou traités par certains pesticides.

Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol. Leurs présences dans les eaux naturelles, sont liées à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique (HAKMI, 2006; LADJEL, 2009). Il en résulte une véritable dégradation qui peut devenir irréversible (HAKMI, 2006). Le phosphore joue un rôle important dans le développement des algues (RICHARD, 1996; LADJEL, 2009). Il est susceptible de favoriser leur multiplication dans les réservoirs, les canalisations de grand diamètre et les eaux de lacs, où il contribue à l'eutrophisation phénomène évolutif au cours duquel le milieu s'enrichit en matières nutritives d'une manière excessive, et par voie de conséquence, en algues et Phytoplancton (LADJEL, 2009).

II.2.3.3. Les Nitrates

Les teneurs en nitrates varient durant la période d'étude de 2,16 mg/l à 303,19 mg/L (figure n°24).

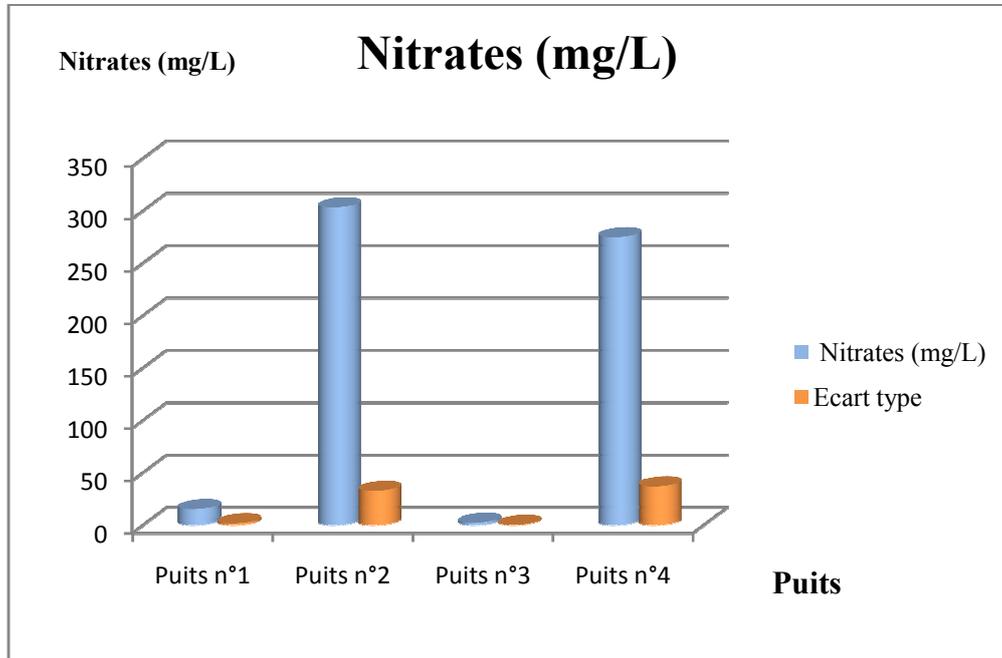


Figure n°24 : Variation des résultats des nitrates des 4 échantillons analysés

Le taux normal en nitrates est fixé à 50 mg/l selon l'OMS (1990) et JORA (2011), De ce fait, l'échantillon 1 et 3 soit respectivement $15,20 \pm 1,61$ mg/L, $2,16 \pm 0,22$ mg/l ne sont pas sujette à un risque de pollution par les nitrates, par contre le 2ème échantillon avec un taux de $303,19 \pm 32,54$ mg/L et le 4ème échantillon avec $274,78 \pm 36,90$ mg/L ont dépassé la valeur limite.

Selon (RODIER *et al.* (2005) et DIB (2009), toutes les formes d'azote sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique.

Dans cette étude, Ces valeurs particulières peuvent être dues à une ancienne pollution, avec une transformation de l'ammonium en nitrite puis en nitrate dans le temps face à un traitement réduit et une élévation de la température (les nitrates pourraient avoir comme origine une nitrification de l'azote organique issu des terrains traversés). Notre hypothèse est motivée par le fait que les puits se trouvent dans des terrains à vocation agricole où l'utilisation d'engrais s'effectue constamment pour maintenir la fertilité du sol. Il faut également noter que les faibles profondeurs de la surface à la nappe aggravent sa vulnérabilité vis-à-vis de ce type de pollution.

Les principales sources de nitrates - nitrites sont les fertilisants agricoles, le fumier, les rejets sanitaires et la décomposition d'organismes végétaux et animaux. Ils sont entraînés vers les nappes d'eau souterraines par l'infiltration de la pluie ou la fonte de la neige. Une concentration au-delà de 3 mg/l justifie un suivi semi-annuel de la qualité de l'eau pour les nitrates - nitrites. Une eau contenant plus de 10 mg/l ne doit pas être utilisée pour l'alimentation des nourrissons de moins de 6 mois et des femmes enceintes. Si la méthémoglobinémie du nourrisson est une maladie rare, mais pouvant avoir des conséquences graves. Elle est associée à l'ingestion d'une eau fortement concentrée en nitrates - nitrites et affecte la capacité du sang à transporter l'oxygène (BENAMAR *et al.*, 2011).

Dans les eaux naturelles non polluées; le taux de nitrate est très variable suivant la saison et l'origine des eaux. Il peut varier de 1 à 15 mg/l et de même une concentration de 2 ou 3 mg/l, peut être considérée comme normale (RODIER *et al.*, 2005). L'excès des nitrates dans les eaux de consommation bloquent les échanges respiratoires au niveau du sang, à des doses supérieures à 100 mg/l peuvent conduire à la formation in vivo de nitrosamines qui sont des dérivés cancérigènes (MONTIEL, 1999).

II.2.3.4. Les Nitrites

Au vu du tableau ci-dessous, les échantillons d'eau analysés de la région de Médéa ne renferment pas des nitrites ($<0,02\text{mg NO}_2^-/\text{l}$). La limite de consommation algérienne est fixée à $0,1\text{ mg NO}_2^-/\text{l}$ (JORA, 2000) ; Tous les puits enregistrent des valeurs inférieures aux normes recommandées.

Tableau 10 : Résultats de moyenne des nitrites des différentes eaux analysées

Nitrites (mg/l)	Puits n°1 (Ain Dhab)	Puits n°2 (Damiette)	Puits n°3 (Tenyet el hadjer)	Puits n°4 (Takbou)	JORA (2011)
Moyenne	$<0,02$	$<0,02$	$<0,02$	$<0,02$	$0,1\text{ mg NH}_4^+/\text{l}$

Pour **RODIER et al. (2005)**, en absence de pollution, il n'y a pas ou très peu de nitrites dans les eaux. Les teneurs se maintiennent à des niveaux très faibles ($0.01\text{mg NO}_2^-/\text{l}$).

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante des bactéries (phénomène de la dénitrification) (**RODIER et al., 2005; DIB, 2009**).

Une eau qui renferme des nitrites, est considéré comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique (**RODIER et al., 2005**). Cependant, les eaux en contact avec certains terrains ou conduites peuvent contenir des nitrites indépendamment de toute souillure (**HAKMI, 2006**).

II.2.3.5. Les métaux lourds

II.2.3.5.1. Le Fer

Tableau 11 : Résultats de moyenne de Fer des différentes eaux analysées

Echantillon	Puits n°1 (Ain Dhab)	Puits n°2 (Damiette)	Puits n°3 (Tenyet el hadjer)	Puits n°4 (Takbou)	JORA (2011)
Fer mg/l	<0,05	<0,05	0,13	0,083	0,3 mg/L
	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
	<0,05	<0,05	0,26	<0,05	
Moyenne	<0,05	<0,05	-	-	

Le Fer est un élément assez abondant dans les roches (quelques %) sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. La craie contient des nodules de marcasite (sulfure); les terrains jurassiques présentent un niveau d'oolithes en oxydes de fer. Le fer est soluble à l'état d'ion Fe^{2+} (ion ferreux) mais insoluble à l'état Fe^{3+} (ion ferrique). La valeur du potentiel d'oxydo-réduction (Eh) du milieu conditionne donc sa solubilité et la teneur de l'eau en fer. Les nappes captives isolées des échanges avec la surface sont en conditions réductrices: leur eau est ferrugineuse. Ce fer dissous précipite en milieu oxydant, en particulier au niveau des sources et à la sortie des conduites. La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer où corrodent les canalisations. L'eau est ferrugineuse notamment dans les nappes captives de la craie et des sables de l'Albien. Un traitement spécifique est alors nécessaire (précipitation en milieu oxydant) (GUILLEMIN ; ROUX ,1992).

Les teneurs en Fer total dans la région d'étude sont inférieures à 0,05 mg/L (seuil de détection de l'appareil), (tableau n°11), ce qui fait que la concentration en fer dans la région est inférieure à la norme algérienne (JORA, 2011) relative à la potabilité des eaux soit **0,3 mg/l**.

II.2.3.5.2. Le Manganèse

Certaines eaux souterraines ont des teneurs de l'ordre de 1 mg/L en particulier lorsqu'il y a une attaque par l'eau de la roche support en milieu réducteur, ou sous l'action de certaines bactéries. Dans ces conditions, il est souvent associé au fer avec lequel il coprécipite par oxydation. Les eaux de surface en contiennent généralement moins de 0,05 mg/L.

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS ainsi que JORA indiquent une valeur guide provisoire de 0,05 mg/L.

Au point de vue gustatif, le manganèse peut donner un goût désagréable à l'eau. Par ailleurs, même à des doses faibles (0,02 mg/L), il est susceptible de former une couche noire sur les canalisations qui lorsqu'elle se détache donne un aspect peu engageant à l'eau. Au point de vue domestique, il présente l'inconvénient, même en quantités faibles (\pm 0,1 mg/L), de tacher l'émail et le linge (**RODIER et al, 2009**)

Tableau 12 : Résultats de moyenne de Manganèse des différentes eaux analysées

Echantillon	Puits n°1 (Ain Dhab)	Puits n°2 (Damiette)	Puits n°3 (Tenyet el hadjer)	Puits n°4 (Takbou)	JORA (2011)
Mn (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05 mg/L
	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Moyenne	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	

D'après le tableau ci-dessus nos résultats sont conformes à la norme.

II.2.3.5.3. Le Zinc

La présence de zinc dans les eaux de surface doit être rattachée à des activités industrielles. Par contre, le zinc retrouvé dans les eaux de distribution à des teneurs pouvant dépasser 1 mg/L provient généralement des canalisations de laiton ou de fer galvanisé, attaquées par les eaux agressives ou riches en chlorures et sulfates. Il est à noter que le zinc

sous forme d'orthophosphates est utilisé comme inhibiteur de corrosion pour les canalisations en plomb.

En présence des teneurs élevées en zinc, il faut se souvenir que ce métal peut contenir 1 % de cadmium ; il conviendra de rechercher ce toxique en particulier si l'eau a séjourné sur des surfaces galvanisées.

Pour des teneurs supérieures à 5 mg/L, le zinc peut communiquer à l'eau une opalescence variable avec la dureté .pour cela, l'eau destinée à la consommation humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire une gêne pour le consommateur (aspect, goût), l'OMS ainsi que JORA (2011) recommande comme valeur limite pour le zinc 3 mg/L (RODIER et al, 2009).

D'après le tableau ci-dessous les résultats obtenus sont dans la limite d'acceptabilité

Tableau 13 : Résultats de moyenne du zinc des différentes eaux analysées

Echantillon	Puits n°1 (Ain Dhab)	Puits n°2 (Damiette)	Puits n°3 (Tenyet el hadjer)	Puits n°4 (Takbou)	JORA (2011)
Zinc (mg/l)	0,16	0,23	0,71	0,283	5 mg/L
	0,165	0,38	<0,05	0,295	
	0,19	0,25	<0,05	<0,05	
Moyenne	0,17	0,29	-	-	

II.3. Etude de l'effet de puits sur les paramètres physico-chimiques de l'eau

Tableau n° 14: analyse statistique (ANOVA) de l'effet de puits (région)

	SC	ddl	MC	F ratio	P
echxparam\$	369804.000	3	123268.000	4.46	0.008

L'effet du facteur puits dont la modalité est la région a été significatif ($p < 0,05$) sur la qualité physico-chimique des eaux analysés selon le test ANOVA, (tableau 14) (annexe n°4)

Conclusion

Conclusion

Au cours de notre stage, nous avons réalisé une étude sur l'eau de quatre puits de la région de Médéa (P1 : Ain Dhab, P2 : Damiette, P3 : Tenyet el hadjer, P4 : Takbou), dans le but de contrôler la qualité physico-chimique et bactériologique ainsi que la détermination des ses composition chimique.

Aux termes de notre travail, nous pouvons conclure que la contamination des puits est générale dans les quartiers de notre étude. Les résultats démontrent aussi un accroissement de la pollution de la nappe superficielle.

Les causes de cette pollution sont

Multiplés ; parmi les quelles on peut citer :

- La profondeur de puits
- Mauvaise protection des puits
- Non application des mesures d'hygiène élémentaires
- Mauvaise conception des puisards et des latrines
- Mauvaise évacuation des eaux usées
- Présence de dépôts d'ordures dans la zone d'alimentation de la nappe phréatique.

Les résultats des analyses obtenues, nous permettant de conclure que :

- L'eau des 4 puits étudiés (P2, P3, P4) est de mauvaise qualité bactériologique, en raison de présence des germes de contamination fécale (coliformes et streptocoques) ainsi que la présence de *Pseudomonas aeruginosa*, ce qui pourrait présenter un danger pour le consommateur, excepté de l'eau de puits 1 d'Ain Dhab qui est de bonne qualité bactériologique.
- Les analyses physico-chimiques, nous a permis de constater une différence entre les quatre puits comme suivant :
 - ❖ L'eau de puits 1 et 3 contient un taux de nitrate supérieur à la norme des eaux potables
 - ❖ L'eau de puits 2 et 4 est dur, est riche en calcium et magnésium (une dureté supérieur à la norme des eaux potables)

Nous pouvons conclure qu'évidemment une eau de puits n'est pas saine à 100% et peut être contaminées par différentes voies et on ne peut pas dire qu'il ya une eau souterraine meilleure qu'une autre, car chacune d'elles a son empreinte et son parcours géologique.

En conclusion, on peut dire que la qualité de l'eau produite est également un élément déterminant si cette eau est utilisée pour des usages sanitaires. Une eau de qualité dégradée, sur le plan bactériologique ou chimique, peut en effet présenter des risques pour la santé des utilisateurs ou consommateurs.

L'eau d'un puits ou forage peut ne pas présenter toutes les garanties de qualité et peut être également contaminée. Son utilisation, notamment à des fins sanitaire et alimentaire, nécessite une analyse périodique pour s'assurer de sa bonne qualité physique, organoleptique et bactériologique et connaître son évolution.

Dans l'avenir il serait opportun de compléter notre présent travail par d'autres plus approfondis, on préconise alors les perspectives suivantes :

- ✓ Rendre cette étude plus précise en prenant plus de quatre puits et de les contrôler durant 1 mois au minimum pendant 2 saisons soit au printemps et à l'automne et de faire la différence entre ces deux saisons
- ✓ Prendre des puits de différentes communes de la wilaya de Médéa
- ✓ On peut accomplir ce travail par un contrôle après la désinfection de ces puits et un système de dénitrification dans le cas des puits de Damiette et de Takbou qui ont dépassé la norme
- ✓ Etudier l'influence de la région ou la localisation du puits sur le taux de nitrate
- ✓ Prendre des puits de 3 ou 4 wilayas et Faire la différence entre eux
- ✓ une étude approfondie vise à rechercher la cause réelle de contamination de ces puits par les nitrates pour la corriger ou l'éliminer

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

ADALA M.H., 2012 ; « contrôle de la qualité de l'eau produite par la station de production d'eau potable de sidi aissa (blida) pour la mise en place des mesures de maîtrise selon les principes HACCP », mémoire d'ingénieur, département d'agronomie, université de BLIDA ;

ANONYME 1., 2011 ; « Renseignements wellcare MD concernant Les bactéries et l'eau souterraine », www.watersystemscouncil.org, consulté le 13/03/2013 ;

ANONYME 2., 2003 ; « le ministère de l'Environnement du Québec », Bibliothèque nationale du Québec ;

ANONYME 3., 2003 ; « forage et puits en aquitaine », Ministère de l'écologie et du développement durable, république française, direction régionale de l'environnement, Aquitaine ;

ANONYME 4., 2009 ; « dans une goutte d'eau : Sources d'eau potable », ministère de l'Environnement de la Nouvelle-Écosse ;

ANONYME 5., 1986 ; « Santé du monde », Magazine de l'organisation mondiale de la santé , 30p ;

ANONYME 6., 2002 ; « la qualité de l'eau de mon puits », gouvernement de Québec ;

ANONYME 7., 2008 ; « appui à la mise en place d'un système de surveillance et de contrôle de qualité de l'eau de boisson dans les sites de déplacés et de camps de réfugiés », rapport de mission : organisation mondiale de la santé ;

ANONYME 8., 2008 ; « dans une goutte d'eau : chimie générale et métaux », ministère de l'Environnement de la Nouvelle-Écosse , www.gov.ns.ca, consulté le 25/05/2013 ;

ANONYME 9., 2010 : DREWM : Direction des ressources en eau de la wilaya de Médéa ;

ANONYME 10., 2011 ; « Qualité de l'eau 101 : Introduction aux microsystemes d'approvisionnement en eau potable » Version 1.1, Conseil interministériel fédéral de formation sur la qualité de l'eau ;

ANONYME 11., 2010 ; « dans une goutte d'eau : bactéries coliformes », ministère de l'Environnement de la Nouvelle-Écosse , www.gov.ns.ca, consulté le 25/05/2013 ;

ANONYME 12., 2007 ; « Etude diagnostique de la zone humide AL Massira-Faija, cercle d'EL Brouj et Cercle de Settat (Maroc) », Haut Commissariat Aux Eaux et Forêt et la Lutte Contre la Désertification, 242p ;

ANONYME 13., 2006 ; « Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CR dar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat », Haut Commissariat Aux Eaux et Forêt et la Lutte Contre la Désertification, 201p ;

BENAMAR N., MOUADIH N., BENAMAR A., 2011 ; « Étude de la biodiversité et de la pollution dans les canaux de l'Ouest algérien: le cas de l'oued Cheliff. Colloque international. Usages écologiques, économiques et sociaux de l'eau agricole en méditerranée: quels enjeux pour quels services ? », Université de Provence, Marseille, 20-21 janvier 2011, 6 p ;

BERCHE P., GAILLIARD.J.L., SIMONET M., 1988 ; «Bactériologie : les bactéries des Infection Humaines », Ed Flammarion, Paris. P77-81, 93- 105. 127-130, 138-140, 244-246, 386, 387,392,393 ;

BERMOND R., VUICHAARD R., 1973 ; « Les paramètres de la qualité des eaux » Documentation Française, Paris, 179p ;

BOEGLIN J.C., 2000 ; « Contrôle des eaux douces et de consommation humaine », Ed. Techniques de l'ingénieur, 24 p ;

BOUTIN C., BOULANOUAR M.,1984 ; « Premières données sur la faune des puits des environs de Marrakech (Maroc Occidental). *Verh. Internat. Verein. Limnol* », 22, 1762-1765 ;

BOUTIN C., 1987 ; « L'eau des nappes phréatiques superficielles, une richesse naturelle vitale mais vulnérable. L'exemple des zones rurales du Maroc », *Sciences de l'Eau*, 6, 357-365 ;

BOUZIANI. M., 2006 ; « L'eau dans tous ces états : source de vie, ressource épuisable, maladies hydriques, politique chimique », Algérie (Oran), 230p ;

C.I. E., 2004 ; « la Qualité de l'Eau du Robinet », Centre d'Information sur l'Eau, P13. 17-23.27 ;

C. I .E., 2005 ; « les Normes de Qualité », Centre d'Information sur l'Eau, p4-7,11-16,22-26 ;

CHEVALIER. P ; 2003 « Coliformes totaux », Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 4 p

COULIBALY.K., 2005 ; « étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako », thèse de doctorat, faculté de médecine de pharmacie et d'odontostomatologie, université de Bamako, MALI ;

COURT L., 1986 ; « le Cout Economique et Social de la Pollution de l'Eau »,Tome I : Les Micropolluants et la Législation, Ed .Lavoisier-Tec.et Doc, Paris .p 82-84, 98-105 ;

DEFRANCESI. M., 1996 ; « L'Eau dans Tous ses Etats », Ed .Ellipse, Paris. P29, 30, 39,60-63, 66-68, 75-103 ;

DESJARDIN. R., 1990 ;« Le traitement des eaux », 2ème édition revue, Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada, 304 p ;

DEGREMENT. ,1978 ; « Mémento technique de l'eau », Ed .Lavoisier- Tec et Doc, Paris, 8^{ème} édition, 1200p ;

DEGREMONT., 1989 ; « Mémento Technique de l'Eau », Tome I, Ed .Lavoisier- Tec et Doc, Paris, p 21-25,36-39 ; 244-245, 910-912. 34, 908 ;

DEGREMONT., 2005 ; « Mémento technique de l'eau », Ed .Lavoisier- Tec et Doc, Paris, 10^{ème} édition, 1718p ;

DIB I., 2000 ; « L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien) », Mémoire de magister en hydraulique, construction hydro-technique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar Batna, 127 p ;

DSP., 2000 ; « Séminaire sur les Maladies Transmission Hydrique », Direction de la Santé et de la Population

DUSSART B., 1966 ; « Limnologie : Etude des eaux continentales », Ed Gauthier-Villars, Paris ;

FALL C., 2008 ;« 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», Mémoire de maitrise, Université Cheikh Anta Diop Dakar, Faculté des lettres et sciences humaines, Département de Géographie, 81 p ;

FIGARELLA J., LEYRAL G., 2002 ; « Analyse des eaux: Aspects réglementaires et technique », Ed. Scérén CRDP d'Aquitaine, Paris, 360 p;

FINBERG L., KILEY J., LUTTREL C.N., 1963 ; « Mass accidental poisoning in infancy», Journal of American Medicine Association, pp184-187;

GAUJOUS.D., 1995 ; « La pollution des milieux aquatiques : aide mémoire », 2^{ème} édition, Ed .Lavoisier- Tec et Doc, 507p ;

GHISLAIN.M. ,2009 ; « L'eau, un trésor en partage : préface d'Erik Orsenna », Paris. Ed. Dunod , 107p ;

GUERGAZI S., ACHOUR S., 2005 ; « Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'alimentation de la ville de Biskra, pratique de la chloration », Lahryss Journal, pp119-127 ;

HAKMI A., 2006 ;« Traitement de l'eau de source Bousfer Oran», Mémoire de licence traitement des eaux, Université des Sciences et de la Technologie Oran, 48 p :

HASLAY.C., LECLERC.H ., 1993 ;« Microbiologie des eaux d'alimentation », Edition Lavoisier. Tec et Doc Paris, P 60-95,125,131-145,151,154, 158-167,188-193,245-251, 400-434, 908 ;

JULIEN MOREL., 2007 ;« Les ressources en eau sur Terre : origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique », un tour d'horizon de la littérature ;

JORA., 2011 ; « Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine », NA du journal officielle N° 18

KETTAB A., 1992 ; «Traitement des eaux, les eaux potables », Ed. Office des publications universitaires, Alger : 7-29 ;

KOUO MBILLE. C, VCAT, DASS-NC, HAGEN.M, 2010; « élaborer et mettre en œuvre un plan de sécurité sanitaire des eaux, guide 4 : suivi de la qualité de l'eau produite et distribuée », direction des affaires sanitaires et sociales de la Nouvelle-Calédonie : cellule santé et environnement ;

LADJEL S., 2009 ; « Contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'une eau de consommation », Les cahiers techniques du stage T 7, Centre de formation en métiers de l'eau, Tizi Ouzou, 101 p ;

LANOIX J.N., ROYML.L., 1976 ; « Manuel du Technicien Sanitaire OMS p 21-25, 32, 46 ,55 ;

LARPENT J.-P., LARPENT-GOURGAUD M., 1990 ; « Mémento technique de microbiologie », Tec & Doc Lavoisier, Paris, 2e édition ;

LARPENT.J.P., 1997 ; « Microbiologie alimentaire : Techniques de laboratoire », Ed.Lavoisier- Tec et Doc, Paris, p1073 ;

LEIJ.A., SUTTON.EJ., WHIPPS.JM., 1994; « effect of genetically modified Pseudomonas aureofaciens on indigenous microbial population of wheat», FEMS Microb Ecol, p249-58;

LE MINOR L., VÉRON M., 1989 ;« Bactériologie médicale », 2e édition, Flammarion, Paris ;

LOUML.N., 1988 ; « Les paramètres physicochimiques de l'eau potable : désinfection de l'eau potable », service sante et environnement INSP. P 1-5, 15-25 ;

MABILLOT. A., 1980 ; « le forage de l'eau », Guide pratique Ed Johnson, Filtration systèmes p 220-225, 335-340 ;

MAMMECIER.A ., BEAUX.J.F., 1994 ; « La planète terre: histoire, environnement, ressources , »Edition NATHAN, P90-91 ;

MEGDOUD D., 2003 ; « Qualité des eaux du Sahara Septentrional », Journées Techniques et Scientifiques sur la qualité des eaux du Sud: Un combat pour la qualité, 19 et 20 mai 2003, El Oued, p45 ;

MOISE.N., TOMAS .N., ADOLPHE.M., VICTORINE.S.F., EUPHRASIE.D., ROGER.T.,1998 ; « qualité bactériologique des eaux des sources et des puits de Yaoundé (Cameroun) », Cahier Santé :

MONIQUE. T. H ., BEAUDRY .J.P., 1992 ; « Chimie des eaux », 2^{ème} édition. Le griffon d'argile, Inc.-Québec 340p ;

MONTIEL A., 1999 ; « Contrôle de la pollution de l'eau », Ed. Techniques de l'ingénieur, 12 p ;

NADIA. K., PRILLIAS .K., 2010 ; « cours géodynamique externe : les eaux souterraines », filière sciences de la vie et de la terre, université Mohammed V- AGDAI, faculté des sciences, département des sciences de la terre ;

O. I. E., 1999 ; « Office International de l'eau », centre nation de formation aux Métiers de l'eau à la distribution ;

O.M.S., 1993 ; « Directives de l'O.M.S pour la qualité de l'eau de boisson », Recommandations Organisation mondiale de la Santé, Genève, pp49-50 ;

O.M.S., 2004 ; « Directives de qualité pour l'eau de boisson », Volume1, Genève, 10p ;

O.M.S., 2006 ; « Directives de qualité pour l'eau de boisson », troisième édition. Recommandations Organisation mondiale de la Santé, Genève, 78 p ;

PAVLINOV J.A.I., 2000; «The contribution to craniometric variation and taxonomy of jirds from the group "Shawi–grandis" of the genus Meriones (Gerbillidae)», Bull. Moscou Soc. nature, 79, pp 201 – 209;

PETRINSKY. V., SI- AHMEDM., 1974 ; « cours élémentaire de statistique sanitaire » OMS, p 1,66-69 ;

POTELON. J-I., ZYSMAN. K., 1998 ; « Le guide des analyses de l'eau potable », Ed.la lettre du cadre territorial S.EPT, 253p ;

RAMADE.P., 1998 ; « Dictionnaire Encyclopédique des Science de l'eau », Ed. Edi-science international, paris P77-80, 125, 493, 494 ;

RAYMOND DESJARDINS., 1997 ; « traitement des eaux », édition de l'école polytechnique de Montréal, 2^{ème} édition, 275 p ;

RODIER.J, BAZIN.C, BROUTIN.J.P, CHAMPOU.P, CHAMPSUR.H ET RODI.L. 2005. L'analyse de l'eau. 7^{ème} édition. Paris. Dunod. Bordas. 503p

RODIER.J, BAZIN.C, BROUTIN.J.P, CHAMPOU.P, CHAMPSUR.H ET RODI.L. 2009. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. 8^{ème} édition. Paris. Dunod.1384p.

ROSZAK D.B., COLWELL R.R., 1987 ; « Survival stratégies of bacteria in the natural environment», *Microbiol. Rev*, 51, pp365- 379 ;

ROUESSAC. F., ROUESSAC. A., CRUCHE. D., 2004 ; « Analyse chimique : méthodes et techniques instrumentales modernes », Ed. DUNOD, Paris, 120p ;

TARDAT.M.H ., BEAUDRY J.P., 1995 ; « Chimie des eaux », Ed. le griffon d'argile Inc.- Québec, 340p ;

TOBIN .R.S., SMITH.DK.,1989; « Criteria for the microbial quality of well water in Canada», *Wat qual bull*, 14: pp175-87;

VILAGENES .R., 2003 ; « Eau, Environnement et sante publique : introduction à l'hydrogéologie », Ed. Lavoisier Tec et Doc, 2^{ème} , Paris ;

WHO., 2008; «Guidelines for Drinking Water Quality», Third Edition Incorporating the First and Second Addenda, World Health Organization. Volume 1: Recommandations, Geneva, 515 p ;

WINTROBE.M. et al., 1972 ; « Principes de médecine interne », 6^{ème} Edition. Flammarion médecine science, paris, pp 803-804 ;

Table des Matières

Introduction.....	2
-------------------	---

Chapitre 1 : Partie Bibliographique

I. généralités sur l'eau

I.1. Définition de l'eau.....	6
I.2. Cycle de l'eau.....	6
I.3. Répartition de l'eau sur la terre.....	7
I.4. Ressources hydriques.....	8
I.4.1. Dans le monde.....	8
I.4.2. En Algérie.....	8
I.5. Les sources d'alimentation en eau.....	9
I.5.1. Les eaux de surface.....	9
I.5.2. Les eaux souterraines.....	9
I.5.2.1. Différentes types de nappe.....	10
I.5.2.1.1. Nappes libres.....	11
I.5.2.1.2. Nappes phréatiques.....	11
I.5.2.1.3. Nappe alluviale.....	11
I.5.2.1.4. Les nappes captives.....	12
I.5.2.2. Les types de captage	12
I.5.2.2.1. Les sources.....	12
I.5.2.2.2. Les galeries d'infiltration.....	13
I.5.2.2.3. Les puits.....	13
a) Les puits ordinaires.....	13
b) Les puits foncés ou puits tubulaires.....	13
c) Les puits forés.....	14
d) Les puits artésiens..... ;	14
I.5.2.3. Propriétés physiques et chimiques des eaux souterraines.....	15

II. Surveillance de la qualité de l'eau de puits

II.1. Définition de la qualité.....	17
II.2. Critères et normes de qualité des eaux de puits.....	18
II.2.1. Critères organoleptiques.....	18
II.2.1.1. Couleur.....	19
II.2.1.2. Odeur.....	19
II.2.1.3. Goût.....	19
II.2.1.4. Turbidité.....	19
II.2.2. Critères microbiologiques.....	20
II.2.2.1. Bactéries indicatrices de contamination fécale.....	21
II.2.2.1.1. Les coliformes.....	21
a) Les coliformes totaux.....	21
b) Coliformes fécaux « coliformes thermo-tolérants ».....	22
c) Les bactéries d'origine fécale (<i>E. coli</i>).....	22
II.2.2.1.2. Les Entérocoques.....	22
II.2.2.2. Les bactéries spécifiques.....	23
II.2.2.2.1. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	23
II.2.3. Critères physico-chimiques.....	24
II.2.3.1. Les paramètres physiques.....	24
II.2.3.1.1. Température.....	24
II.2.3.1.2. La conductivité.....	24
II.2.3.1.3. Minéralisation globale.....	24
II.2.3.1.4. pH.....	25
II.2.3.2. les paramètres chimiques indispensables.....	25
II.2.3.2.1. La dureté.....	25
a) le calcium.....	26

b) le magnésium.....	26
II.2.3.2. L'alcalinité.....	26
a) Titre alcalimétrique simple (TA).....	26
b) Titre alcalimétrique complet (TAC).....	26
II.2.3.2.3. Les chlorures.....	27
II.2.3.2.4. Les sulfates.....	27
II.2.3.2.5. L'aluminium.....	27
II.2.3.2.6. Sodium.....	27
II.2.3.2.7. Potassium.....	28
II.2.3.2.8. La silice.....	28
II.2.3.3. Les paramètres chimiques indésirables (paramètres de pollution).....	28
II.2.3.3.1. L'ammonium (azote ammoniacal).....	28
II.2.3.3.2. Les phosphates (orthophosphates).....	28
II.2.3.3.3. Les Nitrates.....	29
II.2.3.3.4. Les nitrites.....	29
II.2.3.3.5. Les métaux lourds.....	29
a) Le Fer.....	29
b) Le manganèse.....	30
c) Le zinc.....	30

III. Eau , pollution et maladies

III.1. Généralité sur la pollution de l'eau.....	32
III.2. Pollution des eaux.....	32
III.2.1. Origines de la pollution.....	32
III.2.1.1. Pollution domestique.....	32
III.2.1.2. Pollution industrielle.....	32
III.2.1.3. Pollution agricole.....	33

III.2.1.4. Phénomènes naturels.....	33
III.3. Pollution des eaux souterraines.....	33
III.4. Pollution des canalisations et des réservoirs d'eau.....	34
III.4.1. Formation du biofilm.....	34
III.4.2. Formation des nids microbiens.....	35
III.4.3. Bio détérioration.....	35
III.4.4. Corrosion.....	35
III.4.4.1. Corrosion biologique.....	35
III.4.4.2. Corrosion physico-chimique.....	35
III.5. L'eau et les maladies.....	36
III.5.1. Affection d'origine chimique.....	36
III.5.1.1. Saturnisme.....	36
III.5.1.2. Méthémoglobinémie.....	36
III.5.1.3. Maladie d'Itai Itai.....	36
III.5.1.4. Goitre	36
III.5.1.5. Fluorose.....	36
III.5.2. Maladies à transmission hydrique.....	37
III.5.2.1. Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes.....	37
III.5.2.2. Dysenteries.....	37
III.5.2.2.1. Dysenteries bacillaires (shigellose).....	37
III.5.2.2.2. Dysenteries amibienne.....	37
III.5.2.3. Choléra.....	37
III.5.2.4. Les maladies des légionnaires.....	37
III.5.2.5. Leptospirose.....	38
III.5.2.6. L'Hépatite A.....	38
III.5.3. Notion d'épidémiologie.....	38
III.5.4. Epidémiologie des MTH en Algérie.....	38

Chapitre 2 : Partie expérimentale

I. Matériel et méthodes

I.1. Description de la zone d'étude.....	41
I.1.1. Situation géographique de la wilaya de MEDEA.....	42
I.1.2. Ressources en eau souterraines.....	42
I.1.3. Production de l'eau potable.....	43
I.2. Principe adopté pour la présente étude.....	43
I.3. Prélèvement.....	43
I.3.1. Matériel de prélèvement.....	43
I.3.2. Techniques de prélèvement.....	44
I.3.2.1. Echantillons destinés aux analyses bactériologiques.....	44
I.3.2.2. Echantillons destinés aux analyses physico-chimiques.....	44
I.4. Transport et conservation.....	45
I.5. Analyses bactériologiques.....	46
I.5.1. Recherche et dénombrement des <i>coliformes/E.coli</i> , <i>Entérocoques intestinaux</i> , et <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , par la méthode filtration sur membrane.....	46
I.5.1.1. Principe	46
I.5.1.2. Mode opératoire.....	46
I.5.1.3. Application aux coliformes	46
I.5.1.4. Application aux Entérocoques intestinaux.....	48
I.5.1.5. Application aux <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	48
I.5.2. Expression des résultats.....	50
I.6. Analyses physico-chimiques.....	50
I.6.1. Les paramètres physiques.....	50
I.6.1.1. Le pH	50
I.6.1.2. La conductivité électrique et taux de salinité TDS.....	50
I.6.1.3. Turbidité	51
I.6.2. Les paramètres chimiques indispensables.....	51

I.6.2.1. Chlore résiduel.....	51
I.6.2.2. Alcalinité ou titre alcalimétrique.....	52
I.6.2.3. Titre hydrométrique (TH)	52
I.6.2.3.1. Dosage de Calcium	53
I.6.2.3.2. Dosage du Magnésium.....	53
I.6.2.4. Chlorures	54
I.6.2.5. Les Sulfates	54
I.6.2.6. L'aluminium par spectrophotométrie	54
I.6.2.7. La silice.....	55
I.6.2.8. Sodium et potassium par spectrométrie d'absorption atomique.....	55
I.6.3. Les paramètres chimiques indésirables (paramètres de pollution).....	55
I.6.3.1. Azote ammoniacal.....	55
I.6.3.2. Ortho phosphate (méthode au molybdate d'ammonium).....	56
I.6.3.3. Nitrite (NO ₂ ⁻) par spectrophotométrie d'absorption moléculaire.....	56
I.6.3.4. Nitrate par la méthode au salicylate de sodium.....	56
I.6.3.5. Dosage des métaux lourds.....	56
I.7. Analyse statistique.....	57
I.7.1. ANOVA factorielle.....	57

II. Résultats et discussion

II.1. Résultats des analyses bactériologiques.....	59
II.1.1. Bactéries indicatrices de contamination fécale.....	59
II.1.2. Les bactéries spécifiques.....	60
II.2. Résultats des analyses physico-chimiques.....	62
II.2.1. Les paramètres physiques.....	62
II.2.1.1. Le potentiel d'hydrogène (pH).....	62
II.2.1.2. Conductivité.....	64

II.2.1.3. Taux des sels dissous (TDS) et salinité.....	65
II.2.1.4. La turbidité.....	66
II.2.2. Les paramètres chimiques indispensables.....	66
II.2.2.1. Le test du chlore.....	66
II.2.2.2. Dureté totale (titre hydrotimétrique).....	67
II.2.2.3. Alcalinité.....	69
II.2.2.4. Minéralisation globale.....	70
II.2.3. Les paramètres chimiques indésirables (paramètres de pollution).....	77
II.2.3.1. L'ammonium (azote ammoniacal).....	77
II.2.3.2. Les phosphates (ortho-phosphates).....	78
II.2.3.3. Les Nitrates.....	79
II.2.3.4. Les nitrites.....	81
II.2.3.5. Les métaux lourds.....	81
II.2.3.5.1. Le fer.....	80
II.2.3.5.2. Le manganèse.....	82
II.2.3.5.3. Le zinc.....	83
II.2. Etude de l'effet de puits sur les paramètres physico-chimiques de l'eau.....	84
Conclusion.....	86
Références bibliographiques.....	90
Annexes.....	97

Annexes

Annexe 1

Analyses Microbiologiques (Modes opératoires)

Méthode par filtration sur membrane :

- Flamber la surface supérieure de la rampe à filtration ainsi que la plaque poreuse et le réservoir.
- Laisser refroidir.
- Prélever une membrane stérile de porosité de 0,45 μm de son emballage à l'aide d'une pince stérile (flambée et refroidie), et l'étaler sur la plaque poreuse de la rampe de filtration ;
- Agiter soigneusement le flacon d'eau à analyser, et verser stérilement la quantité d'eau désirée (100 ml pour une eau désinfectée)
- Ouvrir le robinet pour laisser l'eau s'écouler lentement sous l'action du vide ;
- Dès que la membrane paraît sèche, enlever le réservoir et prélever la membrane avec une pince stérile en la saisissant par son extrême bord
- Déposer la membrane à la surface d'une boîte de pétrie contenant le milieu sélectif en prêtant attention à ne pas piéger de bulles d'air

Le cas des Coliformes :

- Après filtration de 100 mL d'eau à analyser, on transfère la membrane sur la surface de milieu à base d'une gélose lactosée au Tergitol et au TTC puis on l'incube à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 48 heures.
- Pour la lecture, on dénombre les colonies caractéristiques qui se présentent sous forme de petites colonies lisses, légèrement bombées à contours réguliers de couleur jaune orangé ou jaune.
- Après incubation 5 à 10 colonies caractéristiques seront prélevés pour la confirmation ;
- Pour les bactéries coliformes, la confirmation est basée sur la recherche de l'enzyme oxydase, on fait un repiquage sur gélose T.S.A., on incube à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 24 heures, Après la période d'incubation, on prend un disque d'oxydase que l'on ajoute une goutte d'eau distillée stérile puis on dépose à l'aide d'une pipette stérile la colonie.

- Toutes les colonies ayant une réaction négative à l'oxydase sont des bactéries coliformes.
- Pour les *E. coli*, la confirmation est basée sur la production d'indole : on fait un repiquage sur bouillon au tryptophane on incube à 44°C pendant 24 heures. Après la période d'incubation, on recherche la production d'indole en ajoutant 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs. La présence d'un anneau rouge brique à la surface du bouillon traduit la production de l'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu, alors toutes les colonies ayant une réaction négative à l'oxydase, mais positive à l'indole, sont des *Escherichia coli*.

Le cas de *Pseudomonas aeruginosa*

- Filtration de la prise d'essai de l'échantillon à travers une membrane filtrante d'une porosité de 0.45 µm.
- Dépôt de cette dernière sur un milieu sélectif, gélose au cétrimide.
- Incubation à 36 ± 2 °C pendant 44 ± 4 h.
- Dénombrement des colonies caractéristiques formées sur la membrane filtrante par comptage. Les colonies produisant de la pyocyanine (bleu-vert) sont considérées comme *Pseudomonas aeruginosa*, les autres colonies produisant une fluorescence ou les colonies de couleur brun rougeâtre nécessitent une confirmation.
- Pour les colonies de couleur brun rougeâtre, la confirmation est basée sur la recherche de l'enzyme oxydase et de la production de fluorescéine. Considéré comme résultat positif (confirmation de *Pseudomonas aeruginosa*) toutes colonies ayant une réaction positive à l'oxydase et produisant une fluorescence sous rayonnement ultraviolet due à la production de fluorescéine
- Pour les colonies produisant une fluorescence, la confirmation est basée sur la production de pyocyanine. Considéré comme résultat positif (confirmation de *Pseudomonas aeruginosa*) s'il ya apparition d'une zone de couleur bleu à verte due à la production de pyocyanine

Entérocoques intestinaux

- Après filtration de 100 ml d'échantillon d'eau à analyser, la membrane est déposée à la surface d'une plaque de gélose Slanetz et Bartley puis on l'incube à 37 °C pendant 24 à 48 heures.
- Après incubation, les entérocoques intestinaux typiques donnent des colonies bombées de taille moyenne, rose ou rouge.
- La confirmation se fait en transférant la membrane sur la gélose BEA sans retournement de la boîte en l'incubant à 44°C pendant 2 heures. Pour le dénombrement on compte les colonies de couleur noir indiquant l'hydrolyse de l'esculine.

Annexe 2

Analyses Physico-chimiques (Modes opératoires)

Détermination du TAC :

Pour déterminer l'alcalinité, on prend 100 mL de l'échantillon à analyser et on mesure le pH. Si le pH est supérieur à 8,3, verser lentement de l'acide chlorhydrique 0,01N pour obtenir 8,3. Noter le volume V_1 (mL) d'acide lu sur dosimat. Puis on continue à verser doucement de l'acide chlorhydrique 0,01N jusqu'à obtenir un pH 4,5. Noter le V_2 (mL) d'acide versé pour amener le pH à 4,5.

Si le pH est inférieur à 8,3, verser l'acide chlorhydrique 0,01N pour obtenir 4,5. Noter le volume V_2 (ml) d'acide lu au dosimat.

Détermination du TH :

On introduit 50 ml d'eau à analyser dans un bécher, on ajoute 4ml de solution tampon pH 10 et une pincée de noir ériochrome. Ce qui donne une coloration rose. On titre avec l'EDTA (0,01 mol/l) jusqu'au virage du rose au bleu. Noter le volume V_2 (ml)

La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

Dosage du calcium :

On prélève une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon, on ajoute 2ml de la solution d'hydroxyde 2N et une pincée d'indicateur (Murexide). Après avoir bien mélangé on titre avec la solution d'EDTA. Le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement violette. Noter le volume V_1 (ml)

Dosage des ions sulfates :

On introduit 20 ml d'eau à analyser dans un bécher à qui on ajoute 5ml de la solution stabilisante puis 2 ml de chlorure de baryum sous agitation continue (agitateur magnétique), On complète jusqu'à 100 mL avec de l'eau distillée tout en agitant pendant 1 minute, On mesure au spectrophotomètre à la longueur d'onde à 420 nm . La concentration en SO_4^{2-} est affiché sur l'écran en mg/l

Dosage des chlorures :

Dosage de l'échantillon

On introduit 100 ml d'eau à analyser dans un erlemeyer à qui on ajoute 1ml d'indicateur de chromate de potassium et on titre la solution par addition goutte à goutte de solution de nitrate d'argent jusqu'à une coloration brun rouge. On note le volume de nitrate d'argent versé V.

Essai à blanc

On titre une solution à blanc en utilisant 100 ml d'eau distillée à la place de l'échantillon, on note le volume de nitrate d'argent versé Vb.

Dosage de l'aluminium :

On verse 25 ml d'eau à analyser dans une fiole de 50 ml puis on ajoute des réactifs dans l'ordre suivantes :

- 0,5 ml de Thiosulfate de sodium 0,028N et agiter
- 1 ml d'acide Ascorbique concentration 10 mg/l
- 1 ml d'acide sulfurique 0,04N
- 10 ml de la solution tampon pH 6,2
- 5 ml de la solution fille d'ériochrome cyanine

On complète chaque fiole à 50 ml avec de l'eau distillée et on homogénéise. On mesure au spectrophotomètre à la longueur d'onde à 535 nm après avoir laisser au repos 10 minutes. La concentration en Al^{3+} est affiché sur l'écran en mg/l.

Dosage de silice :

Dans des boites spéciales nous prélevons une prise d'essai de 25mL que l'on complète jusqu'à 100 ml avec l'eau distillée à laquelle on ajoute 4ml de la solution d'heptamolybdate d'ammonium, 20 mL d'acide chlorhydrique au $\frac{1}{2}$ et on agite. Après 5 minutes on ajoute encore 10 mL d'acide oxalique, 4 mL d'acide amino nephtal sulfurique, 5 mL d'eau distillée après 5 minutes La concentration en SI est affichée sur l'écran du spectrophotomètre en mg/l.

Dosage des nitrites

Prélever 40ml de l'échantillon, ajouter dans l'ordre 1ml du réactif coloré. Homogénéiser immédiatement et compléter à 50ml, le ph a ce stade doit être de 1,9. Laisser reposer au moins 20 minutes, effectuer la mesure spectrométrique à la longueur d'onde 540 nm.

Dosage de l'ammonium :

On prélève 40 ml d'eau à analyser, on ajoute dans l'ordre 4 ml du réactif coloré homogénéisé et 4 ml du réactif Dichloroisocyanurate de sodium qu'on homogénéise. Après au moins 60 minutes d'attente de développement de couleur vert, on effectue les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde 655 nm. La concentration de NH_4^+ est affichée sur l'écran en mg/l. S'il n'y a pas coloration on note comme résultat $< 0,02$ mg/L.

Dosage des orthophosphates

On prélève 40 ml d'eau à analyser. Sans attendre entre chaque ajout, ajouter 1ml d'acide Ascorbique à 100 g/l, 2 mL d'héptamolybdate d'ammonium tout en agitant quelques secondes. Après un temps compris entre 10 à 30 minutes (temps nécessaire au développement de couleur bleu), si aucune couleur n'est apparue, il n'y a pas de phosphates (PO_3^{4-}). On indique alors comme résultat : $< 0,09$ mg/l des phosphates. Sinon une coloration bleu est apparue, on effectue la mesure sur spectrophotomètre à la longueur d'onde 880 nm. La concentration des PO_3^{4-} est affichée sur l'écran en mg/l.

Dosage des nitrates :

On introduit 10 mL d'échantillon à analyser dans des capsules de 60 mL, puis on ajoute 3 à 3 gouttes de la solution d'hydroxyde de sodium, on porte ces capsules à l'étuve à 80°C pour être évaporés. Après évaporation complète on fait sortir les capsules qui vont être refroidies, puis on ajoute 2ml de H_2SO_4 , après un repos de 10 min on ajoute 15ml de l'eau distillée et 15ml de tartrate double de sodium et de potassium. On procède après à Lecture spectrophotométrique à la longueur d'onde 420 nm

Dosage des métaux lourds :

- Attaquer les échantillons avec (5 ml HNO_3 + 2 ml H_2O_2) pour 100 ml d'échantillon
- Procéder à la digestion des échantillons dans des fioles de 100 ml et ajuster avec de l'eau distillée, passer à la détermination des métaux (Mn, Fe, Zn) par la Spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

Annexe n°3

Matériels et Réactifs pour analyses microbiologiques et physico-chimique

➤ Matériels pour analyse microbiologique

- Matériels utilisés pour le prélèvement :
 - Flacon de 250 ml en verre
 - Coton
 - Alcool
 - Glacière avec cartouche

- Appareillages
 - Rampe de filtration à plusieurs postes, en acier inoxydable
 - Pompe à vide
 - Bec bunsen
 - Pistolet à flamme
 - Bain marie
 - Etuve à 37 °C
 - Etuve à 44°C
 - Compteur des colonies
 - Réfrigérateur

- Verreries et autres
 - Tube à essai
 - Boîtes de Pétri
 - Membranes de filtration stérile en cellulose de 0,45 µm
 - Pince

- Milieux de culture

Composition de milieu de culture pour la recherche des coliformes :

 **Gélose lactose au tergitol 7 et au TTC**

Peptone de viande10g/L

Extrait de viande 5g/L

Extrait de levure.....	5 g/L
Lactose	20 g/L
TTC.....	0.25 g/L
Tergitol.....	0.1g/L
Bleu de bromothymol.....	0.5 g/L
pH final.....	7.2
Eau distillée.....	1000mL

✚ Bouillon au tryptophane :

Digestat tryptique de caséine.....	10g
L-Tryptophane.....	1g
Chlorure de sodium.....	5g
Eau distillée.....	1000 mL

Composition de milieu de culture pour la recherche des streptocoques :

✚ Gélose de Slanetz et Bertley :

Peptone de caséine	15 g/L
Peptone de farine de soja	5 g/L
Cellulose	2 g/L
Azide de sodium	0.4 g/L
TTC.....	0.1 g/L
Phosphate dipotassique	4 g/L
Agar	18 g/L
Eau distillée.....	1000 mL

Composition de milieu de culture pour la recherche de *Pseudomonas aeruginosa*

✚ Gélose au Cétrimide :

Peptone de gélatine.....	16g/L
Peptone de caseine.....	10g/L
Bromure de tétradonium (cétrimide).....	0,2g/L
Acide nalidixique.....	15mg

Sulfate de potassium.....10g/L

Chlorures de magnésium..... 1,4 g

Agar.....10 g

➤ Matériels pour analyse physico-chimiques

- Matériel utilisé pour le prélèvement
 - Bouteille de 1,5L

- Appareillages
 - pH mètre
 - Conductimètre
 - Turbidimètre HACH 2100 N
 - Spectrophotomètre UV visible
 - Dosimètre
 - Comparateur de chlore
 - Agitateur magnétique
 - Chronomètre
 - Analyseur CFA

- Verreries et autres
 - Bêchers (50 ml, 100 ml)
 - Pipette graduée (1ml, 2 ml, 5ml, 10 ml, 20 ml)
 - Fioles jaugées (25 ml, 50 ml, 100 ml)
 - Pissette d'eau distillée

- Les réactifs et les solutions
 - ✓ Composition des réactifs et des solutions utilisés pour les analyses physico-chimiques

➤ **Dosage de phosphate (PO_4^-)**

○ Réactif Mixte :

- Heptamolybdate d'ammonium 13 g
- Eau distillée100 ml ;
- Tartrate d'antimoine0.35 g
- Eau distillée100 ml
- Acide sulfurique pur150 ml
- Eau distillée150 ml
- Acide ascorbique à 10 %:
- Acide ascorbique.....10g.
- Eau distillée1000 mL

✓ **Dosage des nitrites**

Reactif coloré :

- Dissoudre 40g d' amino-4banzène sulfonamide ($\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$) dans un mélange formé de 100ml d'acide orthophosphorique et de 500ml d'eau.
- Ajouter 2g de dichlorhydrate de N-(naphtyl-1) damino-1,2 éthane, compléter le volume à 1000ml avec de l'eau distillée.

➤ **Dosage des sulfates (SO_4^-)**

- Solution mère de sulfate de sodium, à 1g/L :
Sulfate de sodium (Na_2SO_4)..... 1,479 g
Eau distillée.....1000 ml
- Solution stabilisante :
Eau distillée..... 100 ml
Acide chlorydrique pur.....60 ml
Ethanol.....200 ml
Chlorure de sodium NaCl150 g
Glycérol.....100 ml
Eau distillée à 1000ml

- Solution de chlorures de baryum :

Chlorure de baryum (BaCl_2).....150mg

Acide chlorydrique..... 5ml

Eau distillée..... 1000ml

➤ **Dosage des Chlorures Cl^- :**

- Solution de Nitrate d'argent 0,02 mole/L

Dissoudre dans l'eau distillée 3,397g de nitrate d'argent, séchés au préalable à l'étuve à 105°C pendant 2heures, et compléter (avec de l'eau distillée) à 1000 ml dans une fiole jaugée

- Chromate de potassium comme indicateur à 10%

➤ **Dosage des Nitrates :**

- Solution de salicylate de sodium :

Dissoudre 0,5g de salicylate de sodium dans 100ml d'eau distillée

- Solution de tartrate double de sodium et de potassium :

Hydroxyde de sodium.....400g

Tartrate double.....60g

Eau distillée.....1000ml

- Solution d'acide sulfurique concentré 96% de pureté
- Solution d'hydroxyde de sodium à 30

➤ **Dosage de magnésium (Mg^{+2}) et de calcium (Ca^{+2})**

- Ammoniac
- Indicateur : richromate noir
- EDTA

- Hydroxyde de sodium 2N (NaOH)
- Indicateur : murexide
- Eau distillée
-

➤ ***Dosage de l'ammonium :***

- Réactif A (solution de Dichloroisocyanurate de sodium)

Acide dichloroisocyanurique2 g

Hydroxyde de sodium.....32 g

Eau distillée.....1000 ml

- Réactif B (Réactif coloré)

Tri citrate de sodium130 g

Salicylate de sodium.....130 g

Nitroprussiate de sodium.....0,97 g

Eau distillée.....1000 ml

Annexe n°4

Résultats des moyennes des paramètres physiques et minéraux

paramètres	P1 : Ain Dhab	P2 : Damyet	P3 : Tibibi	P4 : Takbou
pH	7,73	7,11	7,5	7,45
	7,78	7,21	7,53	7,51
	8,07	7,21	7,51	7,51
Moyenne	7,86	7,18	7,51	7,49
Ecart type	0,15	0,05	0,01	0,03
conductivité (us/cm)	597	1846	777	1603
	600	1845	780	1604
	593	1851	781	1593
moyenne	596,66	1847,33	779,33	1600
Ecart type	2,88	2,62	1,70	4,97
TDS (mg/l)	299	923	388	805
	300	921	390	802
	297	925	391	797
moyenne	298,66	923	389,67	801,33
Ecart type	1,25	1,63	1,25	3,30
TURBIDITE (NTU)	0,11	0,23	3,69	0,12
	0,1	0,22	3,77	0,17
	0,12	0,22	3,79	0,16
moyenne	0,11	0,22	3,75	0,15
Ecart type	0,008	0,005	0,043	0,022
SILICE (mg/l)	3,12	5,64	6,4	5,16
	3,12	5,84	5,84	5,28
	3,08	6	6,28	5,24
moyenne	3,11	5,83	6,17	5,23
Ecart type	0,019	0,15	0,24	0,05
SULFATE (mg/l)	105,3	203,3	106,55	233,2
	97,4	199,75	130,2	211,45
	96,85	211,25	137,9	218,45
Moyenne	99,85	204,77	124,88	221,03
Ecart type	3,86	4,80	13,34	9,07
BICARBONATES (mg/l)	30,28	30,14	33,76	23,24
	30,32	29,67	33,45	22,77
	30,51	29,09	33,69	22,83
Moyenne	30,37	29,63	33,63	22,95
Ecart type	0,10	0,43	0,13	0,21
TAC (°F)	21,94	21,84	24,46	16,84
	21,97	21,5	24,24	16,5
	22,4	21,08	24,42	16,54
Moyenne	22,10	21,47	24,37	16,63
Ecart type	0,21	0,31	0,09	0,15

CALCIUM (mg/L)	105,81	217,55	136,67	198
	103,41	221,24	129,7	201,2
	100,6	219,96	130,5	197,83
moyenne	103,27	219,58	132,29	199,01
Ecart type	2,13	1,53	3,11	1,55
MAGNESIUM (mg/l)	15,55	25,27	10,16	34,31
	7,05	25,76	10,69	32,46
	10,94	27,31	8,36	34,21
Moyenne	11,18	26,11	9,74	33,66
Ecart type	3,48	0,87	0,99	0,85
TH (°F)	32,8	64,68	38,28	63,52
	28,7	65,8	36,76	63,56
	29,6	66,12	36	63,44
Moyenne	30,37	65,53	37,01	63,51
Ecart type	1,76	0,62	0,95	0,05
CHLORURES (mg/l)	55,31	209,31	78,53	198,52
	53,18	202,49	83,64	200,79
	47,5	205,62	76,25	228,91
Moyenne	52	205,81	79,47	209,40
Ecart type	3,30	2,79	3,09	13,82
NITRATE (mg/L)	13,48	340	2,22	222,61
	17,348	308,7	1,87	301,74
	14,78	260,87	2,39	300
Moyenne	15,20	303,19	2,16	274,78
Ecart type	1,61	32,54	0,22	36,90
SODIUM (mg/l)	7,1	112,3	14,36	83,78
	6,65	113,4	12,3	83,88
	6,8	112,1	13,68	88,71
Moyenne	6,85	112,6	13,45	85,46
Ecart type	0,19	0,57	0,86	2,30
POTASSIUM (mg/l)	1,04	30,45	1,05	19,2
	0,94	29,91	1,11	20,73
	1	31,18	1,1	19,74
Moyenne	0,99	30,51	1,09	19,89
Ecart type	0,041	0,52	0,03	0,63

Résultats des paramètres de pollution

paramètres	P1 : Ain Dhab	P2 : Damyet	P3 : Tibibi	P4 : Takbou
nitrites mg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Moyenne	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ecart type	0	0	0	0
ortho- phosphate mg/l	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
Moyenne	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
Ecart type	0	0	0	0
ammonium mg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Moyenne	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ecart type	0	0	0	0
aluminium mg/l	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Moyenne	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Ecart type	0	0	0	0
zinc mg/l	0,16	0,23	0,71	0,283
	0,165	0,38	<0,05	0,295
	0,19	0,25	<0,05	<0,05
Moyenne	0,17	0,29	-	-
Ecart type	0,01	0,06	-	-
Fer mg/l	<0,05	<0,05	0,13	0,083
	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	<0,05	<0,05	0,26	<0,05
Moyenne	<0,05	<0,05	-	-
Ecart type	0	0	-	-
Manganèse mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Moyenne	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ecart type	0	0	0	0

Annexe 5

Résultats des analyses microbiologiques

Echantillon	Puits n°1	Puits n°2	Puits n°3	Puits n°4
<i>Coliformes totaux</i> (n/100 mL)	0	0	20	0
	0	0	9,6	0
	0	0	13,3	0
moyenne	0	0	14,3	0
Ecart type			4,30	0
<i>Coliformes fécaux (E. coli)</i> (n/100 mL)	0	0	0	0
	0	0	0	0
	0	0	0	0
moyenne	0	0	0	0
<i>Entérocoques intestinaux</i> (n/100 mL)	0	0	0	8
	0	0	0	10
	0	0	0	6
moyenne	0	0	0	8
Ecart type	0	0	0	1,63
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (n/100 mL)	0	14	24,75	16
	0	2	5	11,9
	0	7,43	11,66	6,5
Moyenne	0	7,81	13,80	11,47
Ecart type	0	4,91	8,20	3 ,89

Annexe 6

Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine (NA du journal officielle N° 18, le 23 mars 2011)

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/L	0,2
	Ammonium	mg/L	0,5
	Nitrates	mg/L	50
	Nitrites	mg/L	0,2
	Oxydabilité	mg/LO ₂	5
	Phosphore	mg/L	5
	Zinc	mg/L	5
	Chlore	µg/L	5
	Chlorite	µg/L	0,07
Paramètres microbiologiques	Coliformes totaux	n/100mL	<10
	Coliformes fécaux	n/100mL	0
	Streptocoque fécaux	n/100mL	0
	Escherichia Coli	n/100mL	0
	Entérocoques	n/100mL	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	n/20mL	0
	Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Platine
Turbidité		NTU	5
Odeur à 12°C		Taux dilution	4
Saveur à 25°C		Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/L en CaCO ₃	500
	TAC	mg/L	<200 mg/L
	Calcium	mg/L en CaCO ₃	200
	Chlorures	mg/L	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
	Dureté	mg/L en CaCO ₃	200
	Potassium	mg/L	12
	Résidu sec	mg/L	1500
	Sodium	mg/L	200
	Sulfates	mg/L	400
	Température	°C	25

Annexe 7

La réglementation de l'eau de consommation selon OMS (OMS, 1981-1990)

Tableau 1: les normes des qualités organoleptiques de l'eau potable

Paramètres organoleptiques (mg/l)	Recommandation
Coloration	Ne doit pas dépasser 15mg/l de platine en référence à l'échelle platine cobalt.
Turbidité	Ne doit pas être supérieur à la valeur équivalente à 2unités jackson.
Odeur et saveur	Le taux de dilution doit être de 2 à 12°C et de 3 à 25°C

Tableau 2 : les normes des qualités physico-chimiques d'une eau potable

	Paramètres	Recommandations (OMS)
Paramètres physiques	La température pH	Ne doit pas dépasser 25°C 6,5 – 8,5
Paramètres chimiques	Chlorures (Cl) Sulfates (SO ₄) Magnesium (Mg) Sodium (Na) Potassium (K) Résidu sec	200mg/l 250mg/l 50mg/l 150mg/l 12mg/l 1 500mg/l
Paramètres chimiques indésirables	Nitrates (NO ₃) Nitrites (NO ₂) Ammonium (NH ₃) Fer (Fe) Manganese (Mn ₄) Cuivre (Cu) Zinc (Zn) Phosphore (P) Argent (Ag)	50mg/l 0,1 mg/l 0,5 mg/l 0,2mg/l 0,05mg/l 1mg/l 5mg/l 5mg/l 0,01mg/l
Paramètres chimiques toxiques	Arsenic (As) Cadmium (Cd) Cyanure (Cn) Chrome total Mercure (Hg) Nickel (Ni) Plomb (Pb)	0,05mg/l 0,005mg/l 0,05mg/l 0,05mg/l 0,001mg/l 0,05mg/l 0,05mg/l

Tableau 3: les normes de qualité bactériologique de l'eau potable

Paramètres bactériologiques	unités	Recommandations
Germes totaux	Germes/1ml	100
Coliformes fécaux	Germes/100ml	0
Streptocoques fécaux	Germes/100ml	0
Clostridium sulfito-réducteur	Germes/20ml	0
Salmonelle	Pas d'unités	Absence
Vibrions cholériques	Pas d'unités	Absence