



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère De l'Enseignement Supérieur Et De la Recherche  
Scientifique



**Université Abbès Laghrou Khenchela**  
Faculté des Sciences de la Nature Et de la Vie  
Département de Biologie Moléculaire et Cellulaire

**Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master**

**Option: Microbiologie appliquée**

*Thème*

# **Évaluation de la qualité microbiologique et physico-chimique des eaux de puits à usage domestique de la région de Khenchela**

*Présenté par :*

**M<sup>me</sup> LAGHA Imane**

**M<sup>me</sup> ARROUF Ouissem**

**Devant le jury**

Présidente : **M<sup>me</sup> KRIM Meriem** (MCB) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

Promotrice : **M<sup>me</sup> YAKHLEF Wahiba** (MAA) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

Examinatrice : **M<sup>me</sup> NAILI Oumaima** (MCB) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

**2017 – 2018**

# REMERCIEMENTS

Avant toute chose, nous remercions Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la force et la patience pour mener ce travail à bout.

Nous exprimons nos profonds remerciements et nos vives reconnaissances à Madame **YAKHLEF Wahiba** Maître-assistante à l'Université Abbès Laghrour Khenchela, d'avoir dirigée ce travail avec une grande rigueur scientifique ainsi que pour ses conseils et pour la confiance qu'elle nous a accordé afin de réaliser ce travail.

Une très grande reconnaissance va à Madame **KRIM Meriem**, Maître de conférence à l'Université Abbès Laghrour Khenchela pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de présider notre jury de soutenance.

Nous adressons également nos sincères remerciements à Madame **NAILI Oumaima** Maître de conférences à l'Université Abbès Laghrour Khenchela, d'avoir accepté de faire partie de ce jury et d'examiner ce travail.

Un grand merci à toute l'équipe des laboratoires pédagogiques de l'université Khenchela ainsi que le laboratoire de contrôle de l'Algérienne Des Eau (ADE) de la wilaya de Khenchela, en particulier **Nawel** et **Assia** qui ont mis à notre disposition tout le matériel nécessaire pour la réalisation de ce travail, qu'elles trouvent ici nos sincères remerciements.



Merci

## LISTE DES ABREVIATIONS

**A°** : angstrom

**ADE** : Algérienne Des Eaux

**AEAG** : Agence de l'Eau Adour-Garonne

**AFNOR** : Association Française de Normalisation

**Al** : l'Aluminium

**ANOFEL** : Association Française des Enseignants de Parasitologie et Mycologie

**As** : Arsenic.

**BCPL** : Lactose Au Pourpre De Bromocrésol

**BGN** : Bactérie Gram Négative

**C°** : Degré Celsius

**Cd** : Cadmium

**CE** : Conductivité Electrique

**CEAEQ** : Centre D'expertise En Analyse Environnementale Du Québec

**CF** : Coliformes Fécaux

**Cl** : Chlorure

**CSR** : *Clostridium Sulfito-Réducteurs*

**CT** : Coliformes Totaux

**D/C** : Double Concentration

**EDTA** : Éthylène Diamine Tétra Acétique

**EURL** : Entreprise Unipersonnelle A Responsabilité Limitée.

**°F** : Degré Français

**FTAM** : Flore Mésophile Aérobie Totale

**g/l** : Gramme Par Litre.

**H** : Heure

**HCl** : Chlorure D'hydrogène,

**H<sub>2</sub>O** : Oxyde D'hydrogène,  
**HTH** : Hypochlorite De Calcium  
**ISO** : International Organization for Standardization.  
**JORA** : Journal Officiel de la République Algérienne  
**MTH** : Maladies A Transmission Hydrique  
**m** : Mètre  
**mg/L** : Milligramme fois litre moins un  
**N°** : Numéro  
**NaCl** : Chlorure De Sodium  
**NH<sub>4</sub>** : Ammonium  
**nm** : Nano Mètre  
**NPP** : Nombre Plus Probable.  
**NTU** : Unité de Turbidité Néphélométrique.  
**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.  
**P** :Puits  
**Pb** : Plomb  
**PCB** : Polychlorobiphényle  
**Ppm** :Potentiel D'hydrogène  
**Ppm** : Partie Par Million  
**RS** :Résidu Sec  
**S/C** : Simple Concentration  
**SIDA** :Syndrome D'immunodéficience Acquise  
**S/m** : Siemens Par Mètre  
**TAC** : Titre Alcalin Complet  
**TGEA** : Gélose Tryptone Glucose Extract  
**UCV** :Unité De Couleur Vraie  
**UFC** : Unité Formant Colonie.

**US EPA** : United States Environmental Protection Agency

**VF** :Viande-Foie

**%** : Pourcentage

**μs/cm** : Micro-Siémens Par Centimètre.

**μm** : Micro Mètre



## LISTE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 01:</b> Le cycle hydrogéologique de l'eau.....  | 4  |
| <b>Figure 02:</b> Répartition des ressources en eau dans le monde.....  | 4  |
| <b>Figure 03:</b> Coupe schématique d'un puits moderne.....   | 9  |
| <b>Figure 04:</b> Présentation des eaux souterraines .....  | 11 |
| <b>Figure 05 :</b> Protocole de dénombrement des germes totaux.....   | 37 |
| <b>Figure 06 :</b> Protocole expérimental de recherche et de dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux..... | 39 |
| <b>Figure 07 :</b> Protocole expérimental de recherche et de dénombrement des Streptocoques fécaux.....                   | 41 |
| <b>Figure 08 :</b> Recherche et dénombrement des CSR.....   | 43 |
| <b>Figure 09 :</b> Recherche et dénombrement des Salmonelles.....   | 44 |
| <b>Figure 10 :</b> Variation des pH dans les eaux de puits étudiés.....   | 47 |
| <b>Figure 11 :</b> Variation de la conductivité électrique dans les eaux de puits étudié.....                             | 47 |
| <b>Figure 12 :</b> Diagramme de la variation de la dureté totale dans les eaux des puits étudiés...                       | 48 |
| <b>Figure 13 :</b> Variation de la teneur en nitrates dans les eaux de puits étudiés.....                                 | 49 |
| <b>Figure 14 :</b> Variation de la teneur en sulfates dans les eaux de puits étudiés.....                                 | 49 |
| <b>Figure 15 :</b> Diagramme des concentrations de chlorure dans les eaux des puits étudiés.....                          | 50 |
| <b>Figure 16 :</b> Variation du titre alcalimétrique complet dans les eaux de puits étudiés.....                          | 51 |
| <b>Figure 17 :</b> Variation de la teneur en calcium dans les eaux de puits étudiés.....                                  | 51 |
| <b>Figure18 :</b> Variation de la teneur en magnésium dans les eaux de puits étudiés.....                                 | 52 |
| <b>Figure 19 :</b> Diagramme de minéralisation des eaux de puits étudiés.....   | 53 |
| <b>Figure 20 :</b> Diagramme des résidus secs dans les eaux de puits étudiés.....   | 53 |
| <b>Figure 21 :</b> Variation des germes totaux à 22 et 37°C dans les eaux de puits étudiés.....                           | 55 |
| <b>Figure 22 :</b> Variation des coliformes totaux et fécaux dans les eaux de puits étudiés.....                          | 56 |

## **LISTE DES TABLEAUX**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tableau 01:</b> Origines et natures de différentes sources de pollution de l'eau .....    | <b>7</b>  |
| <b>Tableau 02:</b> normes algériennes, et de l'OMS, de l'eau potable .....                   | <b>19</b> |
| <b>Tableau 03 :</b> Paramètres organoleptiques de l'eau potable .....                        | <b>20</b> |
| <b>Tableau 04:</b> Les caractéristiques des dix puits étudiés.....                           | <b>46</b> |
| <b>Tableau 05 :</b> Classification des eaux potables selon leurs résidus secs .....          | <b>54</b> |
| <b>Tableau 06:</b> Qualité physicochimique et bactériologique des eaux de puits étudiés..... | <b>57</b> |

## LISTE DES PHOTOGRAPHIES

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Photographie 01</b> : Le multi-paramètre utilisé pour la mesure du pH et de la CE..... | <b>32</b> |
| <b>Photographie 02</b> : Le dosage de la dureté totale.....                               | <b>32</b> |
| <b>Photographie 03</b> : Le dosage des nitrates (No <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....      | <b>33</b> |
| <b>Photographie 04</b> : dosage des sulfates par spectrophotomètre.....                   | <b>33</b> |
| <b>Photographie 05</b> : Le titrage des chlorures.....                                    | <b>34</b> |
| <b>Photographie 06</b> : Le titrage du titre alcalimétrique complet.....                  | <b>34</b> |
| <b>Photographie 07</b> : Le titrage de calcium et du magnésium.....                       | <b>35</b> |
| <b>Photographie 08</b> :Le dosage du résidu sec.....                                      | <b>35</b> |
| <b>Photographie 09</b> : Boîtesensemencées pour le dénombrement des germes totaux.....    | <b>36</b> |
| <b>Photographie 10</b> :Dénombrement des CT sur BCPL. ....                                | <b>38</b> |
| <b>Photographie 11</b> : Recherche d' <i>E.coli</i> sur bouillon Schubert.....            | <b>38</b> |
| <b>Photographie 12</b> : Dénombrement des Streptocoques fécaux sur bouillon Rothe.....    | <b>40</b> |
| <b>Photographie 13</b> : Recherche des CSR sur milieu viande foie.....                    | <b>42</b> |

## TABLE DES MATIERES

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| <b>LISTE DES ABREVIATIONS.....</b>  | <b>I</b>   |
| <b>LISTE DES FIGURES.....</b>       | <b>II</b>  |
| <b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>      | <b>III</b> |
| <b>LISTE DES PHOTOGRAPHIES.....</b> | <b>IV</b>  |
| <b>INTRODUCTION.....</b>            | <b>1</b>   |

### Revue Bibliographique

#### CHAPITRE I : Généralités sur l'eau

|  |   |
|--|---|
| 1. Définition de l'eau.....                    | 3 |
| 1.1. La molécule de l'eau.....                 | 3 |
| 2. Cycle de l'eau.....                         | 3 |
| 3. Ressources en eau dans le monde.....        | 4 |
| 4. La pollution de l'eau.....                  | 5 |
| 4.1. Les niveaux de la pollution des eaux..... | 5 |
| 4.2. Les types de polluants .....              | 5 |
| 4.2.1 .Les polluants biologiques.....          | 5 |
| 4.2.2. Les polluants chimiques.....            | 5 |
| 4.2.3. Les polluants physiques .....           | 6 |
| 4. L'eau potable .....                         | 7 |
| 5. Normes de la qualité de l'eau potable.....  | 8 |
| 5.1. Normes bactériologiques .....             | 8 |
| 5.2. Normes physico-chimiques.....             | 8 |

#### CHAPITRE II : Les puits

|  |    |
|--|----|
| 1. Définition du puits.....              | 9  |
| 2. Types de puits.....                   | 10 |
| 2.1. Puits ordinaire.....                | 10 |
| 2.2. Puits de surface.....               | 10 |
| 2.3. Puits foncés ou tubulaire.....      | 10 |
| 2.4. Puits artésien.....                 | 10 |
| 2.5. Puits d'infiltration.....           | 10 |
| 3. Origine des eaux des puits.....       | 11 |
| 4. Contamination des eaux des puits..... | 12 |
| 4.1. Facteurs de contamination.....      | 12 |
| 5. Désinfections des puits.....          | 13 |
| 5.1. Nettoyage du puits.....             | 14 |

#### CHAPITRE III : Paramètres physico-chimiques et organoleptiques de l'eau potable

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| I. Paramètres physico-chimiques..... | 15 |
| 1. Le potentiel hydrogène (pH).....  | 15 |
| 2. La température.....               | 15 |
| 4. La conductivité électrique.....   | 15 |

|   |    |
|---|----|
| 5.Ladureté de l'eau.....  | 15 |
| 6.La matière solide dissoute totale(TDS).....                     | 16 |
| 7. Indice de Langelier de saturation (LSI).....                   | 16 |
| 8.Les sels minéraux.....  | 16 |
| 8.1. Calcium ( $Ca^{2+}$ ).....                                   | 16 |
| 8.2. Le magnésium ( $Mg^{2+}$ ).....                              | 16 |
| 8.3. Le sodium ( $Na^+$ ) .....                                   | 16 |
| 8.4. Le potassium ( $K^+$ ).....                                  | 17 |
| 8.5 Le fer.....   | 17 |
| 8.6 Les chlorures.....  | 17 |
| 8.7. Les nitrites.....  | 17 |
| 8.8. Les nitrates.....  | 18 |
| 8.9. Phosphate.....   | 18 |
| 8.10. Les sulfates.....   | 18 |
| 8.11.L'ammonium.....  | 18 |
| II. Les paramètres organoleptiques.....                           | 19 |
| 1. Couleur.....   | 19 |
| 2.Goûts et Odeurs .....   | 19 |
| 3.La turbidité.....   | 20 |
| <b>Chapitre IV : Paramètres microbiologiques de l'eau potable</b> |    |
| I.Les Paramètres microbiologiques de l'eau potable.....           | 21 |
| 1.Les bactéries.....  | 21 |
| 1.1. Les bactéries indicatrices de contamination fécale.....      | 21 |
| 1.1.1.Les bactéries aérobies revivifiables (germe totaux ).....   | 21 |
| 1.1.2.Les coliformes totaux.....                                  | 22 |
| 1.1.3. Les coliformes fécaux thermotolérants.....                 | 22 |
| 1.1.3.1. <i>Escherichia coli</i> .....                            | 23 |
| 1.1.4.Les streptocoques fécaux.....                               | 23 |
| 1.1.5.Les Clostridium sulfito-réducteurs .....                    | 24 |
| 1.2. Les bactéries spécifiques .....                              | 25 |
| 1.2.1. <i>Salmonella</i> .....                                    | 25 |
| 1.2.2.Vibrions sulfato-réducteurs.....                            | 25 |
| 1.2.3. <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....                        | 25 |
| 2. Les virus.....   | 26 |
| 3. Les parasites.....   | 26 |
| 3.1. Les helminthes.....  | 26 |
| 3.2. Les protozoaires.....  | 26 |
| 4. Les algues.....  | 27 |
| II. Les maladies à transmission hydrique.....                     | 27 |
| 1.MTH d'origine bactériennes.....                                 | 27 |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1.1. Le choléra.....              | 28 |
| 1.2. La fièvre typhoïde.....      | 28 |
| 1.3. La gastro-entérite.....      | 28 |
| 1.4. La dysenterie.....           | 29 |
| 2. MTH d'origine virale.....      | 29 |
| 2.1. L'hépatite A.....            | 29 |
| 2.2. La poliomyélite.....         | 29 |
| 3. MTH d'origine parasitaire..... | 30 |

## **MATERIELS ET METHODES**

|   |    |
|---|----|
| 1. Echantillonnage.....   | 31 |
| 1.1. Transport des échantillons.....                                  | 31 |
| 2. Analyses physico-chimiques .....                                   | 31 |
| 2.1. Le potentiel d'hydrogène (pH).....                               | 31 |
| 2.2. La conductivité électrique.....                                  | 32 |
| 2.3. Dosage de la dureté totale .....                                 | 32 |
| 2.4. Dosage des nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....         | 33 |
| 2.5. Détermination des sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )..... | 33 |
| 2.6. Détermination des chlorures.....                                 | 34 |
| 2.7. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC) .....        | 34 |
| 2.8. Détermination du Ca <sup>2+</sup> et du Mg <sup>2+</sup> .....   | 35 |
| 2.9. Détermination de la minéralisation.....                          | 35 |
| 2.10. Détermination du résidu sec (RS).....                           | 35 |
| 3. Analyses bactériologiques .....                                    | 36 |
| 3.1. Dénombrement des germes totaux.....                              | 36 |
| 3.2. Dénombrement des Coliformes.....                                 | 37 |
| 3.2.1. Dénombrement des Coliformes totaux .....                       | 38 |
| 3.2.2. Dénombrement des Coliformes fécaux.....                        | 38 |
| 3.3. Dénombrement des Streptocoques fécaux.....                       | 40 |
| 3.4. Dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs.....             | 42 |
| 3.5. recherches des salmonelles.....                                  | 43 |

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

|   |    |
|---|----|
| 1. Echantillonnage.....                                 | 45 |
| 2. Paramètres physico-chimiques.....                    | 45 |
| 2.1. Le potentiel hydrogène.....                        | 45 |
| 2.2. La conductivité électrique.....                    | 47 |
| 2.3. La dureté totale .....                             | 48 |
| 2.4. Les nitrates.....                                  | 48 |
| 2.5. Les sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )..... | 49 |
| 2.6. Les chlorures.....                                 | 50 |
| 2.7. Le titre alcalimétrique complet.....               | 50 |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.8. Le calcium .....                   | 51        |
| 2.9. Le magnésium.....                  | 51        |
| 2.10. Minéralisation.....               | 52        |
| 2.11. Résidu sec.....                   | 53        |
| 3. Analyses bactériologiques .....      | 54        |
| 3.1. Les germes totaux.....             | 54        |
| 3.2. Les coliformes.....                | 55        |
| 3.3. Autres .....                       | 56        |
| 4. Classification des échantillons..... | 56        |
| <b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b> | <b>58</b> |
| <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>      |           |
| <b>ANNEXES</b>                          |           |
| <b>RESUMES</b>                          |           |

# *Introduction*

# INTRODUCTION

---

L'eau est un élément essentiel de la vie biologique. Non seulement, elle est un nutriment vital, mais elle est aussi impliquée dans de nombreuses fonctions physiologiques essentielles telles que la digestion, l'absorption, la thermorégulation et l'élimination des déchets (**Kirkpatrick et Fleming, 2008**). Sans cette matière simple et complexe en même temps, la vie sur terre n'aurait jamais existé. C'est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures (**Henri, 2012**).

Les eaux souterraines représentent environ 97 % du total des eaux douces continentales liquides (**Bosca, 2002**). Selon **Merzoug et al. (2010)**, 75 à 90 % de la population mondiale utilisent une eau d'origine souterraine.

En Algérie, les eaux de surface sont les principales sources pour notre approvisionnement en eau potable, mais de plus en plus l'individu et la municipalité se tournent vers les nappes phréatiques qui renferment un volume énorme d'eau exploitable (**Chekroud, 2007**).

Les eaux souterraines en Algérie sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline, la surexploitation des couches aquifères entame la capacité de celle-ci à retenir l'eau, ce qui provoque l'enfoncement des couches sous-jacentes. Certaines régions algériennes se révèlent incapables de fournir en quantité suffisante de l'eau potable et des équipements d'hygiène et ainsi l'eau est menacée dans sa qualité et sa quantité (**Remini, 2010**).

Cette étude a pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits à usage domestique au niveau de la région de Khenchela, de dégager éventuellement les causes de la pollution de ces puits et de faire des propositions aux propriétaires de telle manière à observer des attitudes garantissant la qualité de l'eau.

Ce manuscrit est divisé en trois parties :

La première partie est consacrée pour l'étude bibliographique qui est composée de quatre chapitres. Le premier chapitre est un rappel sur l'eau d'une façon générale. Le deuxième chapitre parle sur les puits et les eaux des puits. Le troisième chapitre montre les caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques de l'eau potable et le dernier chapitre présente les paramètres microbiologiques de l'eau potable et aussi mentionne les différentes maladies à transmission hydrique qui affectent la santé humaine.

La seconde partie, intitulée matériel et méthodes, est essentiellement consacrée à la présentation de la démarche pour analyser la qualité des différents échantillons d'eau. Elle s'articule sur les points suivant :

## INTRODUCTION

---

-Une caractérisation physico-chimique des eaux par la détermination de certains paramètres comme le potentiel hydrogène, la conductivité électrique, la dureté totale, la minéralisation, le titre alcalimétrique complet, les résidus secs et le dosage de quelques ions (nitrates, sulfates, chlorures, calcium et magnésium) ;

-Une caractérisation bactériologique des eaux par la recherche et le dénombrement des bactéries indicatrices de pollution fécale à savoir, les germes totaux, les coliformes totaux et fécaux, les streptocoques fécaux, les anaérobies sulfito-réducteurs et les salmonelles ;

La présentation et la discussion des résultats obtenus, ont fait l'objet de la dernière partie de ce manuscrit. Et enfin, nous tirons une conclusion et nous proposons quelques perspectives.

*CHAPITRE I : Généralités sur  
l'eau potable*

# CHAPITRE I : Généralités sur l'eau potable

---

## 1. Définition de l'eau

L'eau est une molécule inodore, incolore et sans saveur, présente dans la nature sous différentes formes et elle est indispensable pour la vie des différentes êtres vivants, elle est le milieu de dispersion pour plusieurs réactions chimiques et biochimiques, et avec une valeur nutritionnelle nulle, elle est classée comme un corps chimique complexe dans ces constantes physiques et physico-chimiques. « H<sub>2</sub>O » est la formule chimique de cette molécule, elle est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène (**Hachemaoui, 2014**).

### 1.1. La molécule de l'eau

L'analyse structurale a permis de connaître la forme de la molécule d'eau, c'est une sorte de compas dont l'axe est occupé par l'atome d'oxygène et dont les bras sont formés par deux atomes d'hydrogène. L'angle H—O—H a une valeur de 104,45 °C.

Chaque atome d'hydrogène et celui d'oxygène mettent en commun chacun un électron pour former deux liaisons chimiques de forte énergie : « les liaisons de covalence ». Cet arrangement électronique confère à la molécule d'eau une grande stabilité chimique. La longueur de la liaison O—H est de 0,96 Å.

La molécule d'eau se comporte comme un dipôle électrique, cette répartition des charges permet de comprendre certaines propriétés physico-chimiques (solvant-soluté), car cette propriété électrique est responsable du grand pouvoir dissolvant de l'eau vis-à-vis des composés ioniques comme certains sels, acides et bases (**Olivaux, 2007**).

## 2. Le cycle de l'eau

Le cycle de l'eau global peut se résumer approximativement de la façon suivante : grâce principalement à l'énergie fournie par le rayonnement solaire, l'eau s'évapore au-dessus des surfaces océaniques et terrestres (si de l'eau y est disponible). Cette vapeur d'eau est élevée par les vents puis se condense, formant les nuages et produisant les précipitations (**Figure 01**). Les précipitations continentales peuvent être stockées provisoirement sous forme de neige et d'humidité dans les sols. Contrairement aux océans, il y a un excès de précipitations par rapport

A l'évaporation dessus des terres : l'excès d'eau qui n'est pas évaporé ruisselle, formant rivières et fleuves et retourne vers les océans, bouclant ainsi le cycle (**Julien, 2007**).

# CHAPITRE I : Généralités sur l'eau potable



Figure 01 : Le cycle hydrogéologique de l'eau (Trenberth et al., 2006).

### 3. Ressources en eau dans le monde

Près de 97% de l'eau sur terre se trouvent sous forme d'eau salée des mers et des océans (figure 02). Dans les 3% restant, seulement 0,4% sont disponibles comme eau douce accessible pour assurer les besoins en eau pour la boisson et les activités ménagères. Mais avec l'augmentation des sources de pollution : industrielle, agricole, et domestique, la dégradation de la qualité de cette eau douce augmente graduellement chaque année (Nebel et Wright, 1996; Ndounla, 2007).

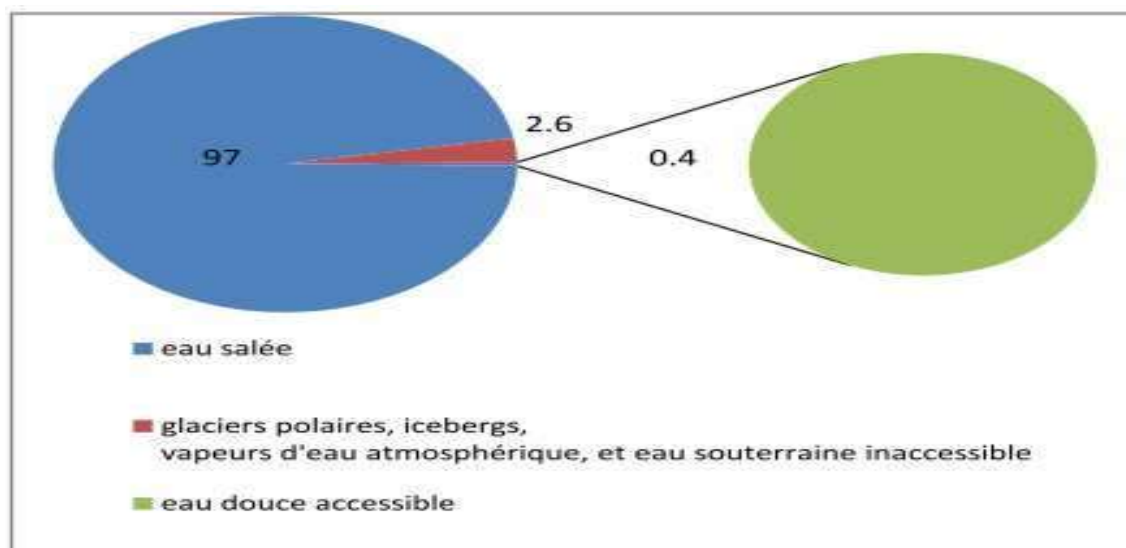


Figure 02 : Répartition des ressources en eau dans le monde (Nebel et Wright, 1996).

## 4. La pollution de l'eau

La pollution de l'eau est actuellement placée en tête des problèmes de l'environnement car l'eau est une interface entre l'air et le sol, elle subit donc les dégradations de ces deux milieux (**Bouziari, 2000**). Une eau est dite polluée lorsque son équilibre est modifié de façon durable par l'apport en quantités très importantes des substances (**Rodier et al., 2005**). L'impact écologique de ces substances polluantes dépend de sa toxicité aigüe et/ou chronique, de son temps de dégradation dans un milieu et de sa capacité à se diffuser dans l'espace et le temps (**Olivaux, 2007**).

### 4.1. Les niveaux de la pollution des eaux

La pollution de l'eau est peut être observée à différents niveaux dont les nappes ou les sources d'eaux sont polluées par suite d'infiltration d'eaux usées (Fosses septiques, latrines), les eaux de surface comme les fleuves, les rivières et les oueds, aussi les canalisations et les réseaux d'alimentations en eau (**Bouziari, 2000**).

### 4.2. Les types de polluants

Les eaux polluées peuvent contenir de très nombreuses colonies de bactéries pathogènes. La plupart de ces pathogènes sont d'origine fécale car ils sont plus connus et facile à rechercher et à dénombrer, et leur transmission dite oro-fécale (**Bennana, 2013**). Ils peuvent contenir aussi des virus qui leur présence dans l'eau est liée à une élimination humaine, par les selles, regroupés sous le nom de virus entériques (**Bouziari, 2000**).en plus des parasites et des algues de l'eau.

#### 4.2.1. Les polluants biologiques

Les eaux polluées peuvent contenir de très nombreuses colonies de bactéries pathogènes. La plupart de ces pathogènes sont d'origine fécale car ils sont plus connus et facile à rechercher et à dénombrer, et leur transmission dite oro-fécale (**Bennana, 2013**). Ils peuvent contenir aussi des virus qui leur présence dans l'eau est liée à une élimination humaine, par les selles, regroupés sous le nom de virus entériques (**Bouziari, 2000**). Des parasites et des algues aquatiques peuvent également y exister.

#### 4.2.2. Les polluants chimiques

Certains éléments chimiques qui se trouvent dans l'eau sont utiles et même indispensables à la santé de l'homme à des faibles concentrations mais peuvent devenir toxiques lorsqu'ils sont absorbés en très grande quantité (**Rodier et al., 2009**). On distingue selon la nature de la

## CHAPITRE I : Généralités sur l'eau potable

---

pollution chimique deux polluants, les éléments chimiques minéraux et les métaux lourds (**Henaut, 2011**).

### 4.2.3. Les polluants physiques

L'activité humaine, qu'elle soit son origine, industrielle, urbaine ou agricole, produit une quantité de substances polluantes de toute nature (**Rodier et al., 2009**). Ces activités traduisent par les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mise à la norme libèrent également des lixiviats riches en polluants, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent le régime et la qualité des eaux (**Faurie et al., 2003**). Ainsi que les activités industrielles rejettent principalement des métaux, des hydrocarbures et des acides (**Benmaïd, 2013**).

# CHAPITRE I : Généralités sur l'eau potable

**Tableau 01:** Origines et natures de différentes sources de pollution de l'eau (Henaut, 2011).

| Type de pollution | Nature   | Origine   |
|-------------------|--|---|
| <b>Physique</b>   | Rejet d'eau chaude                                   | Centrales thermiques<br>Nucléaires                  |
|                   | M.E.S (matière en suspension)                        | Rejet bains, érosion des sols.                      |
| <b>Chimique</b>   | Matière organique                                    | Effluents domestiques, agricoles, agroalimentaires. |
|                   | Fertilisants (nitrate, phosphate)                    | Agriculture, lessives.                              |
|                   | Métaux (Cd, Pb, Al, As)                              | Industries, agriculture, déchets.                   |
|                   | Pesticides (insecticides, herbicides, fongicides...) | Industries, agriculture.                            |
|                   | Organochlorés (PCB, Solvants)                        | Industries.   |
|                   | Composés organiques de synthèse                      | Industries.   |
|                   | Détergents   | Effluents domestiques.                              |
|                   | Hydrocarbures  | Industrie pétrolière, transports.                   |
| <b>Biologique</b> | Bactéries, virus, champignons.                       | Effluents urbains, agricoles.                       |

## 4. L'eau potable

La définition d'une eau potable repose sur des normes établies par une réglementation. Cette dernière varie d'une communauté économique ou d'un pays à l'autre et est évolutive. (Olivaux, 2007).

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), une eau potable est une eau propre à l'alimentation, donc dépourvue de tout élément nocif. Elle doit être limpide, incolore, inodore et fraîche (7-12°). Ces qualités sont facilement décelées par nos sens, nous rejetons d'instinct une eau trouble (matières ou microbes en suspension), colorée, mal odorante (fermentation).

Une eau destinée à la consommation doit être aérée (30cm<sup>3</sup> de gaz par litre) et pourvue d'une faible proportion (pas plus de 0,50g/l) de sels minéraux (carbonates, sulfates, chlorures) qui lui donnent une saveur faible mais agréable et une certaine valeur nutritive, et dépourvue de matières organiques, dont la présence est un indice de souillure. On en tolère 5mg/l au maximum.

## CHAPITRE I : Généralités sur l'eau potable

---

L'eau potable n'est pas stérile. On y tolère de 100 à 1000 bactéries non pathogènes par  $\text{cm}^3$ . Par contre elle ne doit contenir ni germes parasitaires (kystes d'amibes, œufs d'ascaris, d'oxyures), ni microbes pathogènes (bacilles typhiques, vibron cholérique, bacille dysentérique, virus de la poliomyélite, ...) (**Menant et al., 1984**).

### 5. Normes de la qualité de l'eau potable

L'eau est considérée souvent comme un symbole de pureté, Elle est progressivement devenue le produit alimentaire le plus surveillé, et est soumise aux normes de qualité les plus sévères. La surveillance de la qualité de l'eau correspond à la conduite des analyses, de tests et d'observation de certains paramètres à des points clés du réseau d'alimentation en eau potable. L'objectif principale de ce suivi est de vérifier que l'eau distribuée remplit les critères de potabilité. C'est un moyen de protéger la santé publique (**Muriel, 2010**).

#### 5.1. Normes bactériologiques

La qualité bactériologique de l'eau potable se mesure par la présence de germes indicateurs de pollution : la FTAM, les coliformes totaux et fécaux, les entérocoques fécaux, les bactéries anaérobies sulfite-réductrices et les germes pathogènes. Elles se multiplient très facilement et sont utilisées généralement comme germes tests de contamination fécale (**Ahonon, 2011**).

#### 5.2. Normes physico-chimiques

La qualité physico-chimique de l'eau se base sur des paramètres qualitatifs relativement facile à déterminer. Les contaminants chimiques de l'eau peuvent engendrer d'épidémies qui ne sont à majorité détectable à long terme après la contamination du point d'eau comme dans le cas de l'arsenic. Le suivi de la qualité physico-chimique de l'eau destinée à la consommation est nécessaire pour s'assurer que leur teneur demeure en deçà des valeurs pouvant engendrer une toxicité chez l'homme comme stipulé par les normes de qualité des eaux potable de l'OMS. Les paramètres régulièrement suivi lors des contrôles de qualité physico-chimiques comprennent : la turbidité, le pH, la température, la conductivité, les teneurs en pesticides et en minéraux qui présentent des risques néfastes pour la santé tel que les nitrates, les nitrites, l'ammonium, le phosphate, l'arsenic le plomb et les ions métalliques en solution (**Miquel, 2003**).

## *CHAPITRE II : Les puits*

## CHAPITRE II :Les puits

### 1. Définition du puits

On peut tenter de définir un puits de captage d'eau comme étant un ouvrage réalisé en dessous de la surface du sol dans le but de permettre l'exhaure des eaux qui peuvent s'y trouver incluses ou y circuler. Généralement le puits a une profondeur moyenne ou faible (inférieure à 100 m) et un diamètre supérieur à 1,20 m. Les puits, jadis creusés à la main, à l'aide de pics, par des puisatiers, notamment dans les roches consolidées (craie, grès, partie superficielle altérée des granites), sont à peu près tombés en désuétude (Emand Barres et Roux, 1999 ; Collin, 2004).

Un puits aménagé comprend deux parties, le puits proprement dit qui se situe dans le sol et le captage qui s'enfonce dans le sol sous le niveau de la nappe phréatique et à travers le quel l'eau suinte pour remplir le fond. Le puits est donc une construction fixe et définitive, installée dans le sol et dont le captage, qui est la base mobile, glisse dans l'orifice du puits et s'enfonce dans le sol au fur et à mesure que l'on creuse le fond du puits.

Les puits traditionnels ont des parois qui en général ne sont pas revêtues ou possèdent juste un revêtement peu épais de ciment non armé. Quant aux puits modernes à grands diamètres, leurs parois sont tenues par des buses en béton armé (Yélognissè, 2007) (figure 03). Le puits est en particulier adapté aux localités enclavées. Sauf exception, ce type d'ouvrages se destine aux nappes phréatiques. L'exhaure peut être assurée par puisage manuel (seau et corde), par pompe à corde (nappe peu profonde) ou par pompe à motricité humaine (nappe d'eau de profondeur supérieure à 10 mètres) (Molinie, 2009).

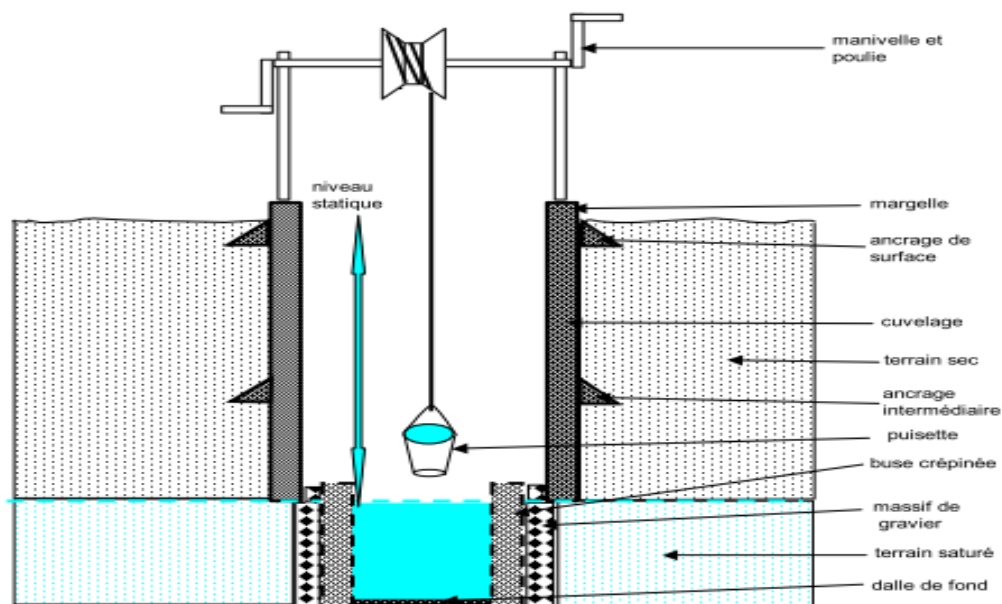


Figure 03 : Coupe schématique d'un puits moderne (Zunino, 2007).

### 2. Types de puits

A partir des différentes manières de creusement, on distingue plusieurs types de puits :

#### 2.1. Puits ordinaires

Les puits ordinaires sont des puits fréquemment réalisés dans les zones rurales (puits individuels ou semi collectifs). Ils sont généralement creusés à la main et où la nappe phréatique se trouve à moins de 20 mètre du niveau de sol. Leur profondeur généralement de 1 à 15 mètre, avec un diamètre de 1 à 2,5 mètres environ (**Bouziani, 2000**).

#### 2.2. Puits de surface

C'est un ouvrage de captage dont le diamètre intérieur est généralement supérieur à 60cm et qui a une profondeur plus de 9 m à partir de la surface du sol. Comme il est alimenté à partir de la nappe phréatique (ou aquifère libre), ce puits est plus vulnérable à la contamination puisqu'il exploite la portion supérieure de la nappe phréatique (**Barrette, 2006**).

#### 2.3. Puits foncés ou tubulaire

Un puits tubulaire est un ouvrage de captage généralement de petit diamètre (152 mm), de grande profondeur et aménagé avec une foreuse par une firme de puisatier (**Bouziani, 2000**).

#### 2.4. Puits artésien

Le puits artésien est obtenu en perforant une couche de sol ou de roc ( bloc de pierre très dure dressé au-dessus du sol ) imperméable pour accéder à une nappe d'eau sous pression nommée la nappe artésienne. Cette nappe est généralement située à plus de 100 pieds de profondeur. Le puits artésien est habituellement fiable et stable toute l'année et est l'option de choix parce qu'il est moins vulnérable à la contamination bactérienne que le puits de surface (**Renald, 2003**).

#### 2.5. Puits d'infiltration

Les puits d'infiltration sont des structures qui permettent l'évacuation du ruissellement de surface par des canalisations souterraines.

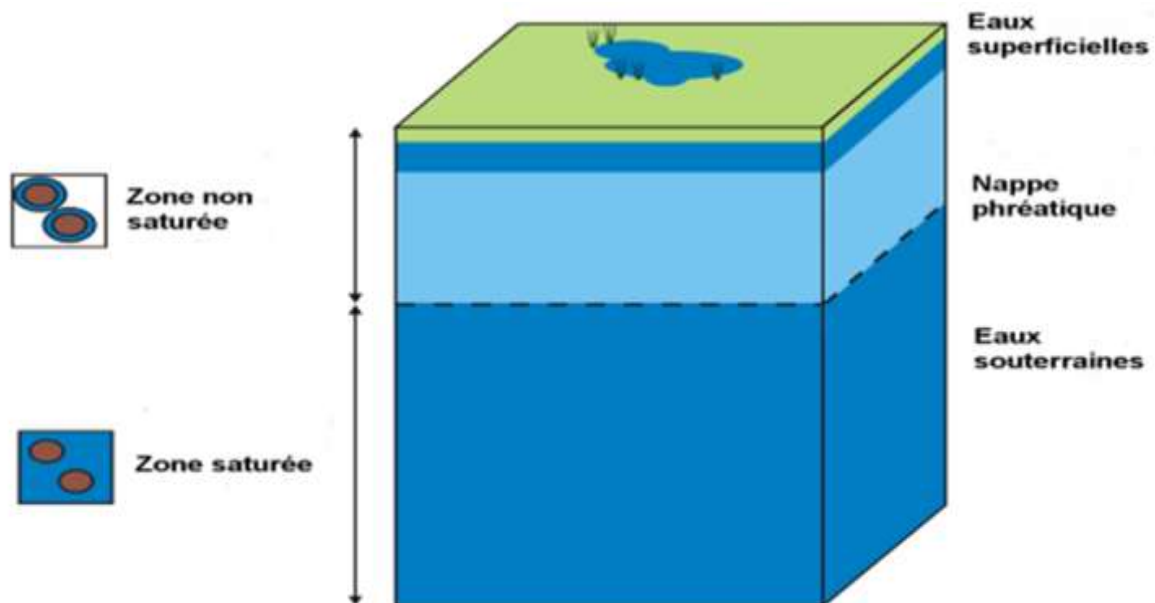
## CHAPITRE II :Les puits

Cependant, contrairement aux avaloirs et aux puisards, les puits d'infiltration ne renferment pas d'entrée d'eau directe à la surface du sol: ils accroissent plutôt la capacité d'infiltration du sol grâce à l'installation de matériel poreux et dans la plupart des cas, d'un drain en serpentin entre la surface du sol et les canalisations souterraines. Les puits d'infiltration sont essentiellement utilisés pour les eaux de toiture. Ils peuvent garantir une protection de la qualité des eaux souterraines en cas de pollution (Stämpfli, 2007).

### 3. Origine des eaux des puits

Un puits est un procédé de captage des eaux d'une nappes phréatique de moyenne profondeur.(Bouziani, 2000). Le mot «nappe» ou encore «aquifère» désigne simplement une couche de sol contenant de l'eau. C'est un gisement d'eau souterraine utilisable comme source d'eau (Arjen, 2010).

Les nappes d'eau souterraine ne sont ni des lacs ni des cours d'eau souterrains. Les nappes d'eau souterraine sont de l'eau contenue dans les pores ou les fissures des roches saturées par les eaux de pluie qui se sont infiltrées (AEAG, 2012).



**Figure 04 :** Présentation des eaux souterraines (Ramsar, 2010).

Les nappes phréatiques (figure 04) sont celles qui se reposent sur la première couche imperméable, non loin de niveau du sol. Elles sont toujours libres et souvent contaminées. Ces nappes revêtent une importance énorme pour l'approvisionnement en eau, car elles constituent les plus grandes réserves d'eau potable dans la plupart des régions du monde .Une

## CHAPITRE II :Les puits

---

nappe phréatique affleure parfois à la surface du sol sous la forme de source ou bien peut être captée au moyen de puits (Mourey et Vernoux, 2000 ; Bouziani, 2000 ; Arjen, 2010).

### 4. Contamination des eaux des puits

Il est important de déterminer la source de la contamination des puits afin d'apporter les correctifs appropriés pour améliorer la qualité de l'eau à long terme .Les principales sources potentielles de contamination d'un puits se font par :

- Pénétration directe : intrusion d'eau météoriques, introduction d'objets souillés (seau sale, déchets...), intrusion d'animaux (grenouilles, moustiques), cyclone, inondations, tremblements de terre et raz-de-marée entraînent l'introduction de matières solides et d'eau salée (littoral) ;
- Ruissellement des eaux météoriques : eaux stagnantes (zone inondable), eaux usées issues du puits, animaux à proximité ;
- Infiltration : eaux du périmètre de protection immédiate, migration des polluants dans les couches géologiques. En cas de ces différentes voies de contamination des puits, il n'y a pas de protection possible (filtration par le sol insuffisante). Il faut procéder à un nettoyage et désinfection de ces puits afin de réduire leur contamination (Mbawala *et al.*, 2010).

#### 4.1. Facteurs de contamination

Plusieurs auteurs (Chippaux *et al.*, 2002 ; Jourdan *et al.*, 2005 ; Djuikom *et al.*, 2009 ; Mpakam *et al.*, 2009 ; Mbawala *et al.*, 2010 ; Yapo *et al.*, 2010 ; Degbeyet *et al.*, 2011 ; Er-Raioui *et al.*, 2011 ; Lagnika *et al.*, 2014 ; Zerhouni *et al.*, 2015) ont relevé les facteurs qui favorisent la contamination des puits qui sont multiples :

- Un mauvais aménagement du puits (manque d'étanchéité du couvercle ou du scellement, dégradation des matériaux, etc.);
- Une pente inadéquate du sol environnant (absence d'un monticule autour du puits pour éloigner le ruissellement provenant de la surface);
- Une installation septique défectueuse;

## CHAPITRE II :Les puits

---

- L'insalubrité des lieux (ex. : épandage de fumier ou autres activités générant de la pollution fécale à proximité) ;
- La proximité des sources de pollution telles les déchets urbains, décharges sauvages d'ordures, les ouvrages d'assainissement individuel (latrines, puisards, Fosses septiques), et le non-respect des règles d'hygiène élémentaire par les utilisateurs à l'origine de la pollution (microbienne et/ou chimique) des eaux de puits en milieux urbains
- La pollution organique peut être liée à l'infiltration des eaux usées et des engrais chimiques. Le lixiviat des décharges publiques constitue le principal vecteur de transport de la pollution métallique issue des sites de stockage des déchets vers la nappe phréatique.

Dans ces cas, il s'agit donc de procéder aux travaux requis pour corriger la situation ou de sensibiliser le responsable de la source de contamination. La personne aux prises avec un problème de contamination peut communiquer avec l'officier municipal concerné, qui l'aidera à orienter sa recherche de solutions. Des analyses subséquentes de la qualité de l'eau permettront de vérifier l'efficacité des correctifs apportés (**Dovonou, 2012**).

### 5. Désinfection des puits

Avant que l'eau ne soit extraite du puits pour l'utiliser, une désinfection est recommandée afin de s'assurer que tous les éléments du puits sont propres et désinfectés. Une telle désinfection n'assurera pas de protection résiduelle et par conséquent, il est important de prendre les mesures nécessaires pour une collecte, un transport et un stockage de l'eau aussi hygiéniques que possible.

La désinfection est principalement basée sur l'utilisation de chlore. Le chlore a pour avantage d'être disponible un peu partout, il est simple à doser et à utiliser, et se dissout rapidement dans l'eau. En contrepartie, il s'agit d'une substance dangereuse qui doit être stockée et manipulée avec prudence. Il est également inefficace contre certains kystes, tels que le *Cryptosporidium* qui est un protozoaire responsable d'une grande partie des maladies diarrhéiques à travers le monde (**OMS, 2013**).

Le composé chloré le plus souvent utilisé est l'hypochlorite de calcium en poudre ou granulé (HTH) contenant 60-80 % de chlore actif. L'hypochlorite de sodium est aussi utilisé

## CHAPITRE II :Les puits

---

sous la forme de Javel liquide ou en poudre. Chacun de ces composés chlorés contient une quantité différente de chlore actif selon le temps de stockage qu'il a subi, les conditions d'exposition à l'air et la façon dont il a été produit.

Après l'utilisation de désinfectant, il faut ensuite mélanger l'eau dans le puits à l'aide d'une longue perche et laisser l'eau reposer pendant au moins 30 minutes (**Godfrey et Reed, 2013**).

### 5.1. Nettoyage du puits

Les étapes à suivre pour le nettoyage d'un puits sont résumées comme suit :

- Préparer une solution chlorée à  $200 \text{ mg.L}^{-1}$  de chlore (qui est l'équivalent de 3 grammes de HTH pour un litre d'eau) ;
- Vider l'eau du puits avec la pompe pour supprimer les matières en suspension ou pour purger l'eau salée. Cette étape peut être réalisée à l'aide d'un seau ;
- Brosser les parois du puits avec la solution chlorée préparée, attendre une demi-heure et laisser le puits se remplir à nouveau ;
- Verser dix litres de solution à 1% de chlore par mètre cube d'eau ;  
(HTH = 70% de Cl)
- Brasser et fermer le puits pendant 12 heures (une nuit) et avertir la population de la non potabilité de l'eau, positionner un pictogramme ;
- Enfin, vider l'eau du puits avec la motopompe et contrôler le taux de chlore libre en sortie qui doit être inférieur à  $0.5 \text{ mg.L}^{-1}$  (**Thiria, 2005**).

*CHAPITRE III : Paramètres  
physico-chimiques et  
organoleptiques de l'eau potable*

## **I. Paramètres physico-chimiques**

### **1. Le potentiel hydrogène (pH)**

Le pH d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline, il est fonction de l'activité des ions hydrogènes H<sup>+</sup> présents dans cette eau. Dans les eaux naturelles cette activité est due à des différentes causes en particulier l'ionisation de l'acide carbonique et de ses sels (**Rodier et al., 2009**). Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitiques. Il est alcalin dans les aquifères calcaires. Le pH de l'eau potable ne doit pas être compris entre 6,5 et 8 (**OMS, 2006**). Le pH interfère avec d'autres paramètres de la qualité dans les complexes réactions chimiques : dureté, alcalinité, turbidité, conductivité (**Savary, 2010**).

### **2. La température**

La température des eaux souterraines est relativement constante toute l'année, par contre celle des eaux superficielles est très variable selon les saisons et peut passer de 2 °C à 30°C (**Savary, 2010**). Elle influence aussi la multiplication des micro-organismes, ainsi que leur métabolisme, une température élevée favorise la croissance des micro-organismes, peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur, Par contre une température inférieure à 10°C ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements des eaux (**OMS, 1994**).

### **4. La conductivité électrique**

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de conductivité est le S/m.

La conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en µS/cm (**Rodier et al., 2009**). Elle détermine la teneur globale des minéraux présent dans une solution : une eau douce accusera généralement une conductivité basse et bien au contraire une eau dite dure affichera une conductivité élevée. Elle est également en fonction de la température de l'eau, et proportionnelle à la minéralisation (**Bremaude et al., 2006**).

### **5. La dureté de l'eau**

La dureté de l'eau correspondant à sa minéralisation en calcium et en magnésium. Elle est mesurée par le titre hydrotimétrique et exprimé en °F. Elle peut modifier l'état des canalisations et des appareils de chauffage et empêcher la formation de la mousse lors du lavage de linges (**Miquel, 2003**).

## 6. La matière solide dissoute totale (TDS)

Les solides dans l'eau se trouvent soit en solution ou en suspension, et se distinguent par le passage de l'échantillon de l'eau à travers un filtre de fibres de verre. Par définition, les matières en suspension sont retenues sur le dessus du filtre, et les solides dissous passent à travers le filtre avec de l'eau. Lorsque la partie filtrée de l'échantillon d'eau est placée dans une coupelle, puis évaporé, les solides dissous dans l'eau restent comme résidu dans la capsule d'évaporation. Cette matière est appelée matières totales dissoutes ou TDS (**Spellmanfrank, 2008**). La concentration des TDS dans l'eau varie considérablement dans différentes régions géologiques à cause de la différence de solubilité des minéraux (**OMS, 2006**).

## 7. Indice de Langelier de saturation (LSI)

La méthode la plus simple pour le calcul de l'agressivité de l'eau est la « méthode de Langelier ». Il a établi un indice, appelé « **indice de saturation** ou **indice de Langelier** ». L'eau est agressive si cet indice est négatif, elle est calcifiante si l'indice est positif et elle est à l'équilibre calcocarbonique si l'indice de saturation est nul (**Rodier et al., 2009**).

## 8. Les sels minéraux

### 8.1. Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

Le calcium est un élément principal dans le squelette (99%). (**Savary, 2010**). C'est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Il existe principalement à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre sous forme sulfate, chlorure...etc (**Rodier et al., 2005**). Le calcium ne pose pas des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage (**Gaujour, 1995**).

### 8.2. Le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

Il constitue l'élément significatif de la dureté de l'eau avec les ions calcium, c'est l'un des éléments les plus répandus dans la nature. 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  $\text{Mg}^{++}$  (**Dib, 2009**).

### 8.3. Le sodium ( $\text{Na}^+$ )

Ce métal, très abondant ne se rencontre pas naturellement à l'état natif mais toujours associé à d'autres éléments chimiques (comme le NaCl) (**Savary, 2010**). Les concentrations dans l'eau varient d'une région à une autre (**Bouziani, 2000**). Les eaux très riches en sodium deviennent

saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées (**Rodier et al., 2005**).

#### **8.4. Le potassium ( $K^+$ )**

Le potassium est le cation le plus abondant du liquide intracellulaire. Il joue un rôle important dans l'équilibre électrolytique de l'organisme et règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules (**Houillier et al., 2004**). Il est étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est très répandue dans la nature sous forme de sels (**Mercier, 2000**).

#### **8.5 Le fer**

Le fer est un métal assez soluble que l'on peut retrouver dans l'eau et qui précipite par oxydation à l'air en formant des flocons rouges qui troublent l'eau et tachent le linge (**Bouziyani, 2000**). La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries. Il est essentiel pour l'homme mais son excès dans les eaux de consommation peut donner un goût particulier et causer des altérations des tissus (**Samake, 2002**).

#### **8.6 Les chlorures**

Les chlorures sont très répandus dans la nature généralement sous forme de sels du sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium ( $CaCl_2$ ) (**Sevesc, 2013**). L'ion chlorure n'est pas adsorbé par les formations géologiques, reste très mobile et ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques. Il constitue un bon indicateur de la pollution (**Chaker et Slimani, 2014**).

Les teneurs en chlorures des eaux extrêmement variées sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confèrent à l'eau à partir de  $250 \text{ mg.L}^{-1}$  surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium (**Rodier et al., 2005**).

#### **8.7. Les nitrites**

L'azote, élément essentiel de la vie, est présent en abondance dans la nature sous formes gazeuse, organique ou minérale. Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante (**Savary, 2010**). Toutefois, une eau renfermant une quantité élevée de nitrites est considérée comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de la qualité microbiologique (**Bouziyani, 2000**).

### **8.8. Les nitrates**

Ils constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique. Les nitrates sont très répandus dans la plupart des eaux et dans les plantes où ils sont nécessaires à la synthèse des végétaux. Soluble dans l'eau, ils se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines et superficielles (**Savary, 2010**), leur concentration varie de 0,1 à 1 mg.L-1 pour l'eau souterraine. L'apport de nitrates dans le sol, puis dans les eaux, est donc fortement lié à la quantité de matières organiques présente et aux conditions de milieu. Les actions anthropiques sont donc importantes : utilisation d'engrais azotés et de lisier. De même, les rejets de stations d'épuration ou plus simplement de latrines et fosses septiques représentent un apport en matières organiques susceptibles de produire des nitrates (**Demdoun, 2010**).

### **8.9. Phosphate**

Le phosphore est un élément assez rare mais indispensable à tout être vivant. Il joue un rôle d'engrais. Le phosphate est obtenu dans la nature à partir de la décomposition des cellules mortes qui sont minéralisées par les micro-organismes. Sa présence dans l'eau n'a pas de conséquence sanitaire. Par contre, elle favorise la croissance des algues dès que l'eau est exposée à la lumière par des phénomènes de l'eutrophisation. Bien que non toxiques, les phosphates présents dans l'eau peuvent occasionner des troubles digestifs à cause de leur effet tampon (**Samake, 2002**).

### **8.10. Les sulfates**

Les sulfates qui se dissolvent dans l'eau proviennent de certains minéraux en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation de minéraux sulfureux (**Beriere, 2000**). Les niveaux les plus élevés se produisent habituellement dans les eaux souterraines et proviennent de sources naturelles. En général, l'apport quotidien moyen de sulfate de l'eau potable, de l'air et de la nourriture est d'environ 500 mg, la nourriture étant la principale source. Toutefois, dans les zones où l'approvisionnement en eau potable contenant des niveaux élevés de sulfate, l'eau potable peut constituer la principale source de consommation (**OMS, 2003**). Selon l'intolérance des consommateurs, l'excès de sulfates dans l'eau peut entraîner des troubles intestinaux (**Bouziani, 2000**).

### **8.11. L'ammonium**

L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. L'ammonium provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates. C'est donc un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel (**Spellman Frank, 2008**).

**Tableau 02** : normes algériennes, et de l'OMS, de l'eau potable (JORA, 2011; OMS, 2009).

| Paramètre                                 | Unité                      | Normes algériennes | OMS                                     |
|---|----------------------------|--------------------|---|
| pH  |                            | 6.5 à 8.5          | 6.5 à 9.5                               |
| Conductivité                              | μS/cm à 20°C               | 2280               | /                                       |
| Température                               | °C                         | 25                 | /                                       |
| Résidu Sec                                | mg/l après séchage à 105°C | 2000               | /                                       |
| Dureté total                              | mg/l CaCO <sub>3</sub>     | 500                | 200 ppm                                 |
| Calcium(Ca)                               | mg/l                       | 200                | /                                       |
| Magnésium(Mg)                             | mg/l                       | 150                | /                                       |
| Sodium (Na)                               | mg/l                       | 200                | /                                       |
| Potassium (K)                             | mg/l                       | 12                 | /                                       |
| Sulfate(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )   | mg/l                       | 400                | 500 mg/l                                |
| Chlorure (Cl <sup>-</sup> )               | mg/l                       | 500                |   |
| Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )   | mg/l                       | 50                 | 50 et 3 mg/l (exposition à court terme) |
| Fer total( Fe)                            | mg/l                       | 0,3                | /                                       |
| Nitrite( NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )   | mg/l                       | 0.2                | 0.2 mg/l (exposition à long terme)      |
| Ammonium(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )   | mg/l                       | 0.5                | /                                       |
| Phosphate(PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) | mg/l                       | 0.5                | /                                       |
| Aluminium (Al)                            | mg/l                       | 0.2                | 0,2 mg/l                                |

## II. Les paramètres organoleptiques

### 1. Couleur :

Une eau naturelle, même une fois traitée n'est jamais rigoureusement incolore (si on la compare, par exemple à une eau distillée). Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV .Elle peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques (acides humiques, fulviques). Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire. L'élimination de la couleur s'accompagne également de celles de certaines matières organiques indésirables (précurseurs de composés haloformes) (Boeglin , 2000)

### 2. Goûts et Odeurs

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur « non désagréable ». La plupart des eaux dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur.

Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère. Les odeurs sont causées par la présence dans l'eau de substances relativement volatiles. Ces substances peuvent être inorganiques comme le chlore, les hypochlorites, le bioxyde de soufre SO<sub>2</sub> ou le sulfure d'hydrogène H<sub>2</sub>S ; ou organiques comme les esters, les alcools, les nitrites, les dérivés aromatiques et des composés plus ou moins bien identifiés résultant de la décomposition de matières animales ou végétales (comme les algues) ou encore dus à la pollution) (Boeglin , 2000)

### 3. La turbidité

C'est le premier paramètre perçu par le consommateur (Andriamiradis, 2005). La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques, etc). Il est important de connaître la teneur de la turbidité lorsqu'on envisage de traiter l'eau car elle facilite le développement des germes indicateurs de contamination, réduit l'efficacité des désinfectants et accroît la consommation de chlore tout en diminuant son efficacité. (Miquel, 2003). Selon Desjardins (1997); Kettab (1992); Boeglin (2009), parmi les caractéristiques générales des eaux souterraines, il faut retenir leur très faible turbidité.

**Tableau03** : Paramètres organoleptiques de l'eau potable (JORA, 2011)

| Paramètre     | unité         | valeurs indicatives |
|---------------|---------------|---------------------|
| Couleur       | mg/l Platine  | 15                  |
| Turbidité     | NTU           | 5                   |
| Odeur à 12°C  | Taux dilution | 4                   |
| Saveur à 25°C | Taux dilution | 4                   |

*CHAPITRE IV : Paramètres  
microbiologiques de l'eau potable*

## CHAPITRE IV : Paramètres microbiologiques de l'eau potable

---

### I. Les paramètres microbiologiques de l'eau potable

L'eau potable doit convenir à la consommation humaine et pour tous les usages domestiques habituels (OMS, 1997). Elle doit répondre aux normes de potabilité proposées au niveau mondial et reprises localement par des organismes nationaux. La qualité d'une eau est caractérisée par les diverses substances qu'elle contient, leur quantité et l'effet qu'elles ont sur l'écosystème et sur l'être humain (Festy et al., 2003).

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Elle doit être limpide, incolore, inodore et agréable au goût ; elle ne doit renfermer aucun germe pathogène, ni aucun élément toxique (OMS, 2000). L'évaluation pratique de sa qualité microbiologique se fait sur la base d'organismes dits « indicateurs » à cause des difficultés ou impossibilité technique de détecter toute la diversité des microorganismes (Festy et al., 2003 ; Servais et al., 2009).

#### 1. Les bactéries

##### 1.1. Les bactéries indicatrices de contamination fécale

###### 1.1.1. Les bactéries aérobies revivifiables (germes totaux)

Cet ensemble regroupe les bactéries se développant dans les conditions aérobies habituelles de culture. Les micro-organismes aérobies revivifiables sont des indicateurs de pollution soit : dans les eaux de très bonne qualité microbiologique dont on veut éprouver la protection vis-à-vis de toute contamination. Ce sont donc essentiellement les eaux souterraines, de nappes profondes ou alluviales, qui sont soumises à cet examen, mais aussi les eaux de surface comme celles de certains lacs loin des rives.

Soit dans les réseaux ou une augmentation de la concentration bactérienne en aval de la station de pompage ou de traitement doit être interprétée soit comme une multiplication interne de bactéries existant à l'entrée du réseau, soit comme une intrusion de l'extérieur dans celui-ci, au niveau des réservoirs ou des canalisations (Rodier et al., 2009)

Sa recherche vise à dénombrer non spécifiquement le plus grand nombre de microorganismes, le dénombrement des bactéries aérobies revivifiables à 22°C et 37°C s'effectue sur une gélose glucosée à l'extrait de levure.

## CHAPITRE IV : Paramètres microbiologiques de l'eau potable

---

La charge mésophile totale n'est pas un paramètre d'appréciation de la qualité bactériologique. Toutefois, elle peut nous renseigner sur le degré de potabilité des eaux (Hamed et al, 2012).

### 1.1.2. Les coliformes totaux

Les coliformes totaux correspondent à des bacilles Gram négatif (BGN), non sporulés, oxydase négatifs, aérobies anaérobies facultatifs. Ils sont capables de se multiplier en présence de sels biliaires et de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 48 heures à une température de 35-37°C (Montiel, 2004). Germes sensibles au chlore, la présence des CT dans les échantillons d'eau peut indiquer l'existence d'un biofilm ou un manque d'efficacité du traitement.

Ils se répartissent en deux catégories :

\* Les germes d'origine fécale stricte :

*Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Levinea*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*

\* Les germes provenant d'autres sources environnementales (aquatique ou terrigène) :

*Enterobacter intermedium* et *amnigenus*, *Klebsiella terrigena*, *Buttiauxella agresti*

Les CT ne s'utilisent plus comme indicateur de contamination fécale. Les progrès de la taxonomie montrent qu'ils ne sont pas spécifiques de l'intestin des humains ou des autres mammifères à sang chaud de plus ils peuvent se trouver dans l'environnement (Verhille, 2013).

La présence de coliformes totaux dans l'eau du puits indique que le puits est vulnérable à la contamination ou simplement qu'il s'y produit un ré-croissance bactérienne (Santé Canada, 2006).

### 1.1.3. Les coliformes fécaux thermotolérants

Ce sont des bacilles Gram négatifs, aérobie anaérobie facultatifs, Oxydase négative. les coliforme fécaux sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5 °C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia coli* (*E. coli*) et, dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella* (Edberg et al., 2000). *E. coli* représente toutefois 80 à

## CHAPITRE IV : Paramètres microbiologiques de l'eau potable

---

90 % des coliformes thermotolérants détectés. Bien que la présence de coliformes fécaux témoigne habituellement une contamination d'origine fécale, plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale, provenant plutôt d'eaux enrichies en matière organique, tels les effluents industriels du secteur des pâtes et papiers ou de la transformation alimentaire (OMS, 2000). C'est pourquoi il serait plus approprié d'utiliser le terme générique « coliformes thermotolérants » plutôt que celui de « coliformes fécaux » (OMS, 1994) L'intérêt de la détection de ces coliformes, à titre d'organismes indicateurs, réside dans le fait que leur survie dans l'environnement est généralement équivalente à celle des bactéries pathogènes et que leur densité est généralement proportionnelle au degré de pollution produite par les matières fécales (CEAEQ, 2000). Par ailleurs, puisque les coliformes fécaux ne prolifèrent habituellement pas dans un réseau de distribution, ils sont utiles pour vérifier son étanchéité, permettant de détecter une contamination fécale (Robertson, 1995).

### 1.1.3.1 *Escherichia coli*

*E. coli* fait partie du groupe des coliformes totaux et constitue le seul membre de ce groupe que l'on trouve exclusivement dans les matières fécales des humains et des animaux. (Santé Canada, 2006). C'est un indicateur d'agents entéro-pathogènes le plus fiable, et le meilleur moyen de détecter une contamination fécale récente dans les eaux potables.. Sa détection dans un puits peut donc être indicatrice d'une source ponctuelle de contamination (Gouvernement du Québec, 2004).

L'absence d'*E coli* dans l'eau potable indique généralement que celle-ci ne contient pas de bactéries intestinales pathogènes, Mais elle n'indique pas nécessairement une bonne qualité sanitaire de l'eau, car cette bactérie et les autres coliformes sont en général plus sensibles à la désinfection que les agents pathogènes plus résistants au chlore tels que les virus et les oocystes de cryptosporidies. Certaines souches d'*E coli* (comme *E. coli* O157:H7) peuvent provoquer une intoxication et cela uniquement lorsque certaines conditions sont réunies (Verhille, 2013)

### 1.1.4. Les streptocoques fécaux

Le terme "streptocoques fécaux" désigne les streptocoques généralement présents dans les fèces de l'homme et des animaux. Tous possèdent l'antigène du groupe D de Lancefield. Du point de vue taxonomique, ils appartiennent aux genres *Enterococcus* et *Streptococcus* (OMS ,1994)

## CHAPITRE IV : Paramètres microbiologiques de l'eau potable

---

Le genre *Enterococcus* comprend une vingtaine d'espèces qui se retrouvent dans différents habitats et chez différents hôtes. On les retrouve souvent dans le tractus gastro-intestinal des humains et de plusieurs animaux ; *E. faecalis* et *E. faecium* sont les deux espèces le plus souvent identifiées chez l'humain (Gleeson et Gray, 1997). Elles sont présentes dans les intestins d'environ 75 % des humains (Olivieri, 1982), à des concentrations variant de 10<sup>5</sup> à 10<sup>8</sup> bactéries/g (Hancock et Gilmore, 2000). Quant aux streptocoques du groupe D susceptibles de contaminer les eaux d'approvisionnement, ils sont plutôt typiques des déjections animales, comme *Streptococcus bovis*, *S. equinus*, *S. gallolyticus* et *S. alactolyticus* (Farrow et al., 1984 ; Bitton, 1999). Ces espèces colonisent le bétail, les chevaux et la volaille bien qu'elles peuvent parfois être présentes chez l'humain, en particulier *S. bovis* (Devriese et al., 1998).

La persistance des entérocoques dans divers types d'eau peut être supérieure à celle des autres organismes indicateurs, notamment à cause de leur résistance notoire aux agents désinfectants (Haslay et Leclerc, 1993), ce qui fait d'eux des indicateurs privilégiés pour évaluer l'efficacité du traitement de l'eau (OMS, 2000), leur détection témoigne généralement d'une pollution fécale récente. Dans ce contexte, on a récemment reconnu le rôle des entérocoques à titre d'indicateur de contamination fécale dans les aquifères (nappes d'eau souterraine) (OMS, 2000), des études menées aux États-Unis ayant démontré leur utilité pour mettre en évidence une contamination fécale de l'eau souterraine (USEPA, 2000). Cet intérêt à l'égard des entérocoques s'expliquerait par le fait que, comparativement aux coliformes (incluant *Escherichia coli*), ils sont plus résistants à des conditions environnementales difficiles et persistent plus longtemps dans l'eau (Gleeson et Gray, 1997); de telles conditions sont typiques des eaux souterraines où la température est généralement plus froide et qui sont pauvres en éléments nutritifs.

Il est important de mentionner que, pendant plusieurs décennies, le rapport coliformes fécaux/entérocoques était utilisé comme un élément informatif de premier ordre pour déterminer si une pollution fécale était d'origine animale ou humaine. (Pourcher et al., 1991)

### 1.1.5. Les *Clostridium* sulfito-réducteurs

Ce sont des bactéries à Gram positif mesurant 4 à 6µm de long et 1 à 2µm de large produisant des spores dont le plus caractéristique est *Clostridium perfringens*. Elles font partie de la flore tellurique naturelle, aussi bien que dans les matières fécales humaines et animales.

## CHAPITRE IV : Paramètres microbiologiques de l'eau potable

---

C'est pourquoi, leur utilisation en tant qu'indicateurs de contamination fécale d'une eau n'est pas très spécifique (**Maiga, 2005**).

L'intérêt de la recherche de tels indicateurs réside dans la propriété de sporuler, ce qui les rend particulièrement résistant aux traitements de désinfection. (**Maiga, 2005**).

### 1.2. Les bactéries spécifiques

#### 1.2.1. *Salmonella*

Les salmonelles sont en général considérées comme pathogènes bien que leur virulence et leur pathogénicité varient énormément : fièvres typhoïdes, salmonelloses systémiques, gastro-entérites, toxi-infections alimentaires, ... Les hôtes naturels des salmonelles sont la population humaine, les animaux domestiques, les volailles et le bétail ainsi que les animaux sauvages, y compris les oiseaux communs. Humains et animaux peuvent éliminer dans les selles des salmonelles non seulement en cas de maladie mais aussi en tant que porteurs asymptomatiques. Les salmonelles peuvent donc être présentes dans l'eau des égouts agricoles et domestiques, les eaux douces, y compris les eaux potables et les nappes phréatiques, ainsi que l'eau de mer (**Rodier et al., 2009**).

#### 1.2.2. Les vibrions sulfato-réducteurs

Les bactéries sulfato-réductrices sont généralement rencontrées dans le sol, les eaux saumâtres et les eaux douces : eaux de puits, de rivières et lacs. Elles le sont parfois dans les eaux traitées distribuées pour l'alimentation ou pour l'industrie. Elles sont décelées dans les dépôts prélevés dans des canalisations métalliques (fer, fonte, acier, etc.) ou dans des échangeurs de chaleur (réfrigérants en circuit fermé). Leur présence est liée à une consommation de matières organiques et leur prolifération entraîne la formation de gaz malodorants comme l'hydrogène sulfuré. Leur découverte au niveau de matériaux corrodés fait penser que ces micro-organismes interviennent dans la corrosion des métaux en liaison avec les bactéries oxydantes du soufre et les bactéries ferrugineuses. (**Rodier et al., 2009**).

#### 1.2.3. *Pseudomonas aeruginosa*

Ces germes sont très répandus dans la nature : air, eau, sol, produits végétaux, ...etc .Ils sont le plus souvent saprophytes des végétaux. Mais, ils peuvent s'adapter à l'homme et sont capables d'engendrer des troubles digestifs (**Guiraud et galzy ,1980**)

## CHAPITRE IV : Paramètres microbiologiques de l'eau potable

---

### 2. Les virus

Les virus constituent l'entité biologique la plus abondante dans les écosystèmes aquatiques. Ils présentent un intérêt direct en santé humaine et capables de provoquer des infections chez l'homme (**Schwartzbrod, 2000**).

Leur présence dans l'eau est liée à une élimination humaine, par les selles, plus rarement par les urines ou les excréments nasopharyngées. On connaît plus de 100 types de virus pathogènes regroupés sous le nom de virus entériques, ils appartiennent à plusieurs familles et genres (**Bouziati, 2000**). Ces virus entériques sont retrouvés dans les eaux usées avant de contaminer le milieu naturel (**Gantzer et al., 1998**)

### 3. Les parasites

Les parasites sont généralement véhiculés dans l'eau sous forme : d'œufs, de kystes ou de vers. Ils ne sont pas détruits par la chloration et par les autres méthodes de désinfection chimique mais peuvent être éliminés mécaniquement à l'aide d'une bonne filtration de l'eau de boisson (**Bouziati, 2000**).

Il existe deux types de parasites présents dans le milieu hydrique : les helminthes et les protozoaires.

#### 3.1. Les helminthes

Les helminthes représentés par exemple par l'*Ascaris* et le *Taenia* et plus précisément les œufs d'helminthes (la forme de résistance dans l'environnement) sont retrouvés dans les eaux usées brutes et les boues résiduaires (**Capizzi et Schwartzbrod, 1998**). Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires. En effet, la persistance de ces organismes à différentes conditions environnementales ainsi que leur résistance à la désinfection permet leur reproduction, ce qui constitue leur risque potentiel (**Campos, 2008**).

#### 3.2. Les protozoaires

Les protozoaires sont des agents unicellulaires du règne animal qui vivent aux dépens de son hôte. Ils ont une origine humaine et/ou animale, et sont retrouvés sous une forme de résistance appelée kyste, oocyste, spore. Il suffit probablement la présence de 1 à 100

## CHAPITRE IV : Paramètres microbiologiques de l'eau potable

---

unités de protozoaires pour entraîner des effets pathogènes, de plus ils possèdent des propriétés de résistance aux désinfectants généralement utilisés pour le traitement de l'eau (**Baumont et al., 2005**). En Europe, parmi les principaux parasites présents dans le milieu hydrique, se trouvent les protozoaires flagellés (*Giardia*), les protozoaires sporozoaires (*Cryptosporidium* et *Toxoplasma*), les protozoaires rhizopodes ou amibes (*Naegleria* et *Acanthamoeba*) et les microsporidies (*Enterocytozoon* et *Encephalitozoon*) (**Mougeot, 2001**).

### 4. Les algues

Elles jouent un rôle positif pour l'équilibre des biotopes aquatiques en assurant la ré-oxygénation de l'eau par photosynthèse. Leur prolifération peut entraîner des nuisances pour la production d'eau potable, en perturbant les étapes de décantation en provoquant des remontés de boues, et de filtration en provoquant le colmatage des filtres. Elles contribuent aussi à enrichir l'eau en matières organiques. Parmi les algues fréquemment rencontrées (cyanophycées, diatomées, chlorophycées..) certains de ces secrètent des endotoxines ou des toxines responsables d'allergies cutanées et respiratoires, de gastro-entérites, de dysenteries et d'hémorragies (**Savary, 2010**).

## II. Les maladies à transmission hydrique

Les maladies à transmission hydrique (MTH), sont à l'origine de la mortalité élevée des populations des pays en voie de développement. L'eau contaminée par les micro-organismes est une source d'infections très importante (**Madigan et Martinko, 2007**). L'apparition des MTH est liée au type de micro-organismes, la dose infectieuse, les voies d'exposition aux agents infectieux. En général, la dose nécessaire est plus faible dans le cas des virus et des protozoaires qu'avec les bactéries. Ainsi, l'ingestion de 1 à 10 particules virales ou de quelques kystes de protozoaires peut provoquer la maladie alors qu'une concentration de  $10^3$  à  $10^6$  organismes est nécessaire dans le cas de certaines bactéries (**François, 2008**).

### 1. MTH d'origine bactérienne

Les eaux peuvent transmettre un certain nombre de maladies d'origine bactérienne. On les cite avec les différents germes en cause.

## CHAPITRE IV : Paramètres microbiologiques de l'eau potable

---

### 1.1. Le choléra

C'est une maladie infectieuse diarrhéique à caractère épidémique, d'origine bactérienne, transmise par voie digestive. L'agent pathogène de Choléra est un bacille Gram négatif : *Vibrio cholerae*. Il s'agit d'une bactérie appartenant à la famille des *Vibrionaceae* et au genre *Vibrio*. La transmission de ce germe est donc hydrique ou inter-humaine: eaux polluées, produits marins contaminés, fruits et légumes irrigués, mains sales (toilette et transport des cadavres, repas). Le syndrome «cholérique» est caractérisé par l'apparition brutale d'une diarrhée aqueuse, eau de riz, d'odeur fade, sans glaire ni sang, avec des vomissements abondants, entraînant une déshydratation rapide et sévère réalisant la triade «diarrhée aqueuse, vomissements, déshydratation». Le nombre d'émission est de l'ordre de 10 à plus de 50 par jour (4 à 20 litres de liquides) (Piar, 2002 ; Aubry, 2013).

### 1.1. La fièvre typhoïde

La fièvre typhoïde (du grec tuphos, torpeur) ou typhus abdominal est une maladie infectieuse découverte en 1818 par Pierre Bretonneau, causée par une bactérie de la famille Entérobactérie, du genre *Salmonella* dont les espèces responsables sont : *Salmonella enterica*, *Salmonella typhi* ou *Salmonella paratyphi A, B* et *C*. C'est une maladie bactérienne transmissible strictement humaine. Elle est provoquée par des salmonelles que l'on trouve dans le lait, les œufs ou l'eau contaminée. Elle est parfois grave, en particulier en raison de ses complications et du terrain sur lequel elle survient généralement la malnutrition. Son diagnostic est souvent difficile d'où l'importance d'évoquer une typhoïde devant toute fièvre qui dure, habituellement associée à des troubles digestifs ou neurologiques (Rogeaux, 1991 ; Jamai *et al.*, 2010).

### 1.3. La gastro-entérite

Appelée familièrement « gastro », est une inflammation intestinale faisant suite à une infection touchant les muqueuses présentes dans l'estomac et l'intestin. Cette pathologie est due dans la majorité des cas à un virus ou plus rarement à des bactéries. La gastro-entérite bactérienne est généralement transmise par l'eau ou par les aliments souillés et causée par des salmonelles, des staphylocoques et des shigelles. Elle se manifeste essentiellement par les symptômes suivants : des nausées, des vomissements, des crampes abdominales et de la diarrhée (Masschelein, 1996 ; Hordé, 2014).

## CHAPITRE IV : Paramètres microbiologiques de l'eau potable

---

### 1.4. La dysenterie

Terme générique qui caractérise des maladies entraînant une diarrhée douloureuse et sanglante accompagnée de coliques, de nausées et de vomissements. Il existe la dysenterie bacillaire ou shigellose (causée par diverses bactéries), seule la shigellose peut entraîner la mort, les taux de mortalité peuvent atteindre 20% (**Briere, 2000**).

### 2. MTH d'origine virale

A côté des maladies d'origine bactérienne, nous avons des maladies virales. On peut citer :

#### 2.1. L'hépatite A

L'hépatite A est l'hépatite virale la plus répandue au monde avec des zones de haute endémicité en Afrique et en Asie du Sud-est. Elle est bénigne dans près de 99% des cas. L'agent causal de cette maladie est le virus de l'hépatite A (VHA) appartenant à la famille de *Picornaviridae* et au genre *Héparnavirus*.

Le VHA se transmet en général par voie féco-orale, soit par contact direct d'une personne à l'autre, soit par ingestion d'eau ou d'aliments contaminés. La contamination peut être par l'eau de boisson ou de piscine contaminée. Les eaux usées sont également susceptibles de transmettre le VHA au personnel d'entretien des réseaux d'assainissement. Pour cette maladie virale, il n'y a pas de traitement spécifique. Il y'a des vaccins sûrs et efficaces utilisés pour la prévention de l'hépatite A (**Belataf et al., 2004 ; OMS, 2012**).

#### 2.2. La poliomyélite

La poliomyélite est une maladie infectieuse aiguë, essentiellement neurotrophe, immunisante, endémo-épidémique, causée par des poliovirus sauvages (3 sérotypes différents 1, 2 et 3). La transmission se fait par voie oro-pharyngée dans les pays développés, par voie féco-orale dans les pays en voie de développement (mains sales, eaux). L'infection est inapparente dans l'immense majorité des cas ; une forme clinique patente pour 200 formes inapparentes. Cette maladie est apparue dans les pays à mauvaise hygiène : l'endémie y est permanente avec une recrudescence saisonnière estivo-automnale, elle touche surtout les jeunes enfants entre 3 mois et 5 ans (paralyse infantile) (**OMS, 2000 ; Zoungrana, 2009 ; Aubry et Gaüzere, 2012**).

## CHAPITRE IV : Paramètres microbiologiques de l'eau potable

---

### 3. MTH d'origine parasitaire

En plus des maladies d'origine bactérienne et virale, on trouve les épidémies d'origine hydrique dues à des parasites par exemple : l'ankylostomose, la dracunculose, le téniasis...etc. La bilharziose aussi, maladie parasitaire transmise par la douve *Schistosoma mansoni* qui vit dans les veines abdominales de l'homme et expulse ses œufs dans l'urine et les fèces. La maladie est répandue dans les régions tropicales et 2 millions de personnes seraient touchées. La victime succombe généralement après des années d'affaiblissement mental (**Masschelein, 1996**).

L'onchocercose est une maladie parasitaire que l'on trouve particulièrement en Afrique et qui engendre la cécité. Le parasite responsable est un ver véhicule par une mouche c'est la simulie, dont les larves vivent dans les eaux courantes. Pour tuer cette larve et éradiquer la maladie, les eaux des rivières doivent être traitées aux insecticides pendant parfois plusieurs années (**Boussinesq, 1997**).

Enfin le plasmodium est l'agent responsable du paludisme, est un protiste qui ne vit pas dans l'eau. Il parasite un moustique qui lui en a besoin et qui se satisfait de la moindre eau stagnante. Cette maladie transmise à l'homme par la simple pique d'un moustique infecté, se traduit par des accès intermittents de fortes fièvres (**OMS, 2006 ; ANOFEL, 2014**).

Il est à noter que le risque microbien et parasitaire est fortement lié à la sensibilité immunologique des individus, donc à leur statut vaccinal (dans certains cas) ou physiopathologique dans le cas des sujets immunodéprimés, avec l'exemple du syndrome d'immunodéficience acquise (SIDA) pour les microsporidies ou cryptosporidies. Ajoutons que le risque microbiologique s'enrichit progressivement au fil des connaissances: c'est notamment le cas pour certaines bactéries non fécales, pour des virus, pour les protozoaires mais aussi pour des micro-algues et leurs toxines, les plaçant à la frontière des aspects microbiologiques et toxicologiques (**Hartemann, 2004**).

# *MATERIELS ET METHODES*

### 1. Echantillonnage

Les prélèvements d'eau ont été réalisés durant les mois de Mars et Avril 2018 à partir de dix puits de la région de Khenchela. Au total, 20 échantillons ont été collectés. 10 prélèvements pour l'analyse physico-chimique et 10 prélèvements pour l'analyse bactériologique.

Les échantillons d'eau utilisés pour l'analyse physico-chimique ont été prélevés dans des flacons en plastique, selon la méthode décrite par **Rodier et al.,(2009)**. Des flacons en verre, stérilisés au four Pasteur à 180 °C pendant 2 heures, ont été utilisés pour les échantillons d'eau destinés à l'analyse bactériologique. Les prélèvements ont été réalisés dans les meilleures conditions d'asepsie, en suivant les étapes suivantes :

- Se laver très soigneusement les mains ;
- Flamber le robinet pendant au moins une minute en utilisant un brique ;
- Ouvrir le robinet et laisser couler l'eau dix minutes ;
- Remplir complètement le flacon.

#### 1.1. Transport des échantillons

Afin d'éviter que la teneur initiale en germes des eaux ne risque de subir des modifications dans le flacon, toutes les analyses sont effectuées le plus rapidement possible. L'évolution est difficile à prévoir et dépend de nombreux facteurs : Température, concurrence bactérienne des espèces présentes, composition chimique de l'eau. A cet effet, la circulaire du 21 janvier 1960, relative aux méthodes d'analyses bactériologiques des eaux d'alimentation spécifie que « 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 de telles conditions, l'analyse bactériologique doit débiter dans un délai maximal de 8 heures, après le recueil de l'échantillon (**Rodier et al., 2005**).

### 2. Analyses physico-chimiques

#### 2.1. Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH est mesuré directement à l'aide d'une électrode de pH combinée à un afficheur (**photo 01**). Il consiste à tremper l'électrode dans le bêcher de l'échantillon, laisser stabiliser un moment, puis noter la valeur du pH (**Rodier et al., 2005**).

### 2.2. La conductivité électrique (CE)

La conductivité a été mesurée à l'aide d'un conductimètre (**photo 01**) après plusieurs rinçage de l'électrode, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner ; et enfin la lecture de la mesure en prenant soin que l'électrode soit complètement immergée. Le résultat de la CE est donné directement en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (**Rodier et al., 2005**).



**Photographie 01** : Le multi-paramètre utilisé pour la mesure du pH et de la CE.

### 2.3. La dureté totale (DT)

Dureté totale ou titre hydrotimétrique a été mesurée par la détermination de la concentration en calcium et en magnésium dissous. Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe de type chélate par le sel di-sodique de l'acide éthylène diamine tétra-acétique (EDTA) (**photo 02**) (**Rodier et al., 2009**).



**Photographie 02** : Le dosage de la dureté totale.

L'estimation du titre hydrométrique a été faite par l'expression suivante :

$$DT = 5000 \times [(C \times V1) / V2]$$

DT : C'est le titre hydrométrique en °F.

C : Concentration en milliéquivalent par litre d'EDTA

V 1 : Volume ml de solution d'EDTA utilisé pour le titrage

V2 : Volume d'échantillon

### 2.4. Dosage des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

En présence de salicylate de sodium, les  $\text{NO}_3^-$  donnent le paranitrosylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique (**Annexe 01**) (**photo 03**). La lecture se fait à une longueur d'onde de 420 nm (**ISO7890/3, 1994**).



**Photographie 03** : Le dosage des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).

### 2.5. Détermination des sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

Les ions Sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfates de baryum en présence de chlorure de baryum ( $\text{BaCl}_2$ ) (**Annexe 01**) (**photo 04**). La lecture se fait à une longueur d'onde de 420 nm. (**Ladjel, 2009**).



**Photographie 04** : dosage des sulfates par spectrophotomètre.

## 2.6. Détermination des chlorures

Les Chlorures sont dosés en milieu neutre, par une solution titrée de nitrate d'argent en présence du chromate de potassium (**photo 05**), en suivant la méthode de « MOHR ». La fin de réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du Chromate d'Argent (**Annexe 01**) (**Ladjel, 2009**).



**Photographie 05** : Le titrage des chlorures.

## 2.7. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)

Le TAC correspond à la teneur de l'eau en Alcalis libres, Carbonates et Bicarbonates (**Ladjel, 2009**). La détermination de ce paramètre est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral (HCl), dilué en présence de méthyle orange (**Annexe 01**). Le but est de déterminer la teneur en hydrogencarbonates dans l'eau (**Rodieret al., 2009**).

L'estimation du titre Alcalimétrique complet a été faite par l'expression suivante :

$$\text{TAC} = (\text{N HCl} \times \text{V HCl} \times 1000) / 2$$

**TAC** : Titre Alcalimétrique en °F.

**V HCl** : Volume en ml de la solution d'HCl utilisée pour le titrage

**N HCl** : Concentration en milliéquivalent par litre d'HCl



**Photographie 06** : Le titrage du titre alcalimétrique complet.

## 2.8. Détermination du $\text{Ca}^{2+}$ et du $\text{Mg}^{2+}$

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel di-sodique de l'EDTA à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage de deux indicateurs sur un même échantillon s'effectue le dosage successif du calcium et du magnésium (**photo 07**) (**Annexe 01**) (**Rodier et al., 2005**).



**Photographie 07** : Le titrage de calcium et du magnésium.

## 2.9. Détermination de la minéralisation :

La minéralisation est exprimée en mg/l, et obtenue par la formule suivante :

**Minéralisation (mg/l) = 0.759 X conductivité ( $\mu\text{s/cm}$ ) à 20°C (Rodier et al., 2005).**

## 2.10. Détermination du résidu sec (RS)

Le RS a été déterminé par l'évaporation progressive de 500 mL d'eau filtrée, au bain marie, dans une capsule tarée (**photo 08**). Une fois toute l'eau est évaporée, on porte la capsule à l'étuve à 180 °C pendant 4 heures. Après un refroidissement, on pèse immédiatement la capsule, le résidu étant en général hygroscopique. La valeur obtenue est multipliée par 2 pour donner la masse du résidu sec par 1 litre d'eau (**Rodier et al., 2009**).



**Photographie 08** : Le dosage du résidu sec.

### 3. Analyses bactériologiques

#### 3.1. Dénombrement des germes totaux à 20 et 37°C

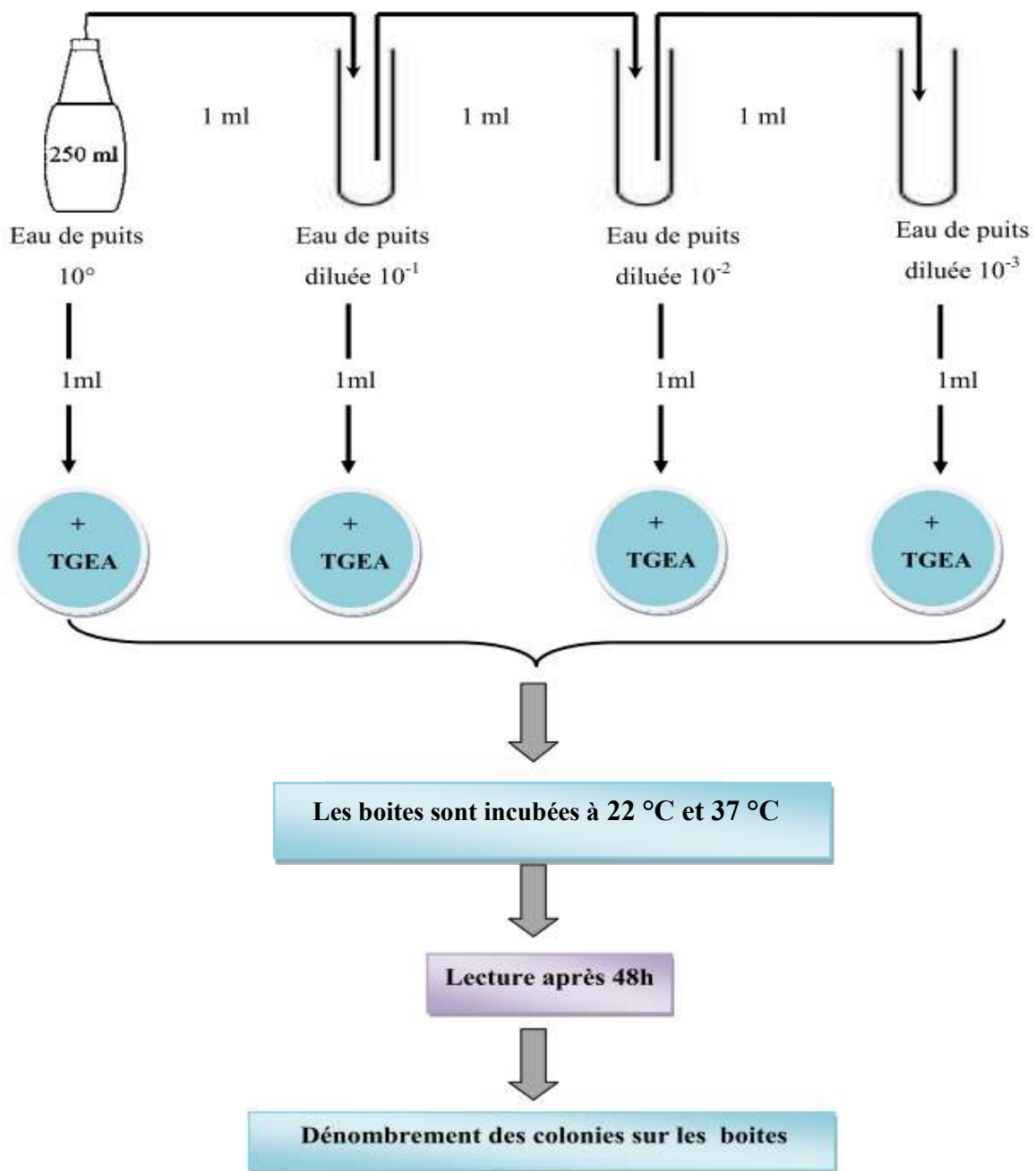
La technique d'ensemencement en masse, des différentes dilutions des échantillons, sur Gélose Tryptone Glucose Extract (TGEA) (**Photo 09**) a été utilisée pour dénombrer les germes totaux à 22 et à 37 °C.

Des volumes de 1 mL des échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide de pipettes graduées stériles, puis déposés goutte par goutte sur les boîtes de Pétri vides. 10 mL de milieu gélosé, maintenu en surfusion mais légèrement refroidie, ont été coulés aseptiquement dans chaque boîte. Homogénéiser en gardant à la boîte de Pétri fermée des mouvements circulaires (en dessinant des 8 sur la paillasse). Laisser refroidir la gélose sans la bouger (**figure 05**).

Un comptage de colonies a été effectué après 48h d'incubation, le nombre est multiplié par l'inverse du rapport de dilution. Les résultats sont exprimés en nombre d'unité formant colonie (UFC) par 1 ml de l'échantillon (**Rodier et al., 2009**).



**Photographie 09** : Boîtes ensemencées pour le dénombrement des germes totaux.



**Figure 05 :** Protocole de dénombrement des germes totaux.

### 3.2. Dénombrement des Coliformes

La recherche et le dénombrement des bactéries coliformes dans les eaux, en milieu liquide par la technique du nombre le plus probable (NPP), se fait en deux étapes consécutives : un test présomptif réservé à la recherche des coliformes totaux (CT) et un test confirmatif réservé à la recherche des coliformes fécaux (CF) thermo-tolérants et l'*Escherichia coli*.

### 3.2.1. Dénombrement des CT

Trois séries de 3 tubes (avec cloche de Durham) du bouillon lactose au pourpre de bromocrésol (BCPL) double concentration (D/C) et simple concentration (S/C) (**Annexe 02**) ont étéensemencées avec l'échantillon (**photo 10**). Après avoir chassé l'air éventuellement présent dans les cloches, on mélange bien le milieu et l'inoculum et puis on incube tous les tubes à 37°C pendant 24 à 48 heures.

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois :Un dégagement de gaz (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche) et un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (la fermentation du lactose se manifeste par la production d'acide entraînent le virage du bromocrésol pourpre au jaune).Le nombre de tubes positifs dans chaque série sera noté et reporté à la table de Mac Grady (**Annexe 03**) pour obtenir le nombre de CT présents dans 100 ml de l'échantillon d'eau (**Rodier et al.,2005**)



**Photographie 10** : Dénombrement des CT sur BCPL.

### 3.2.2. Dénombrement des coliformes fécaux

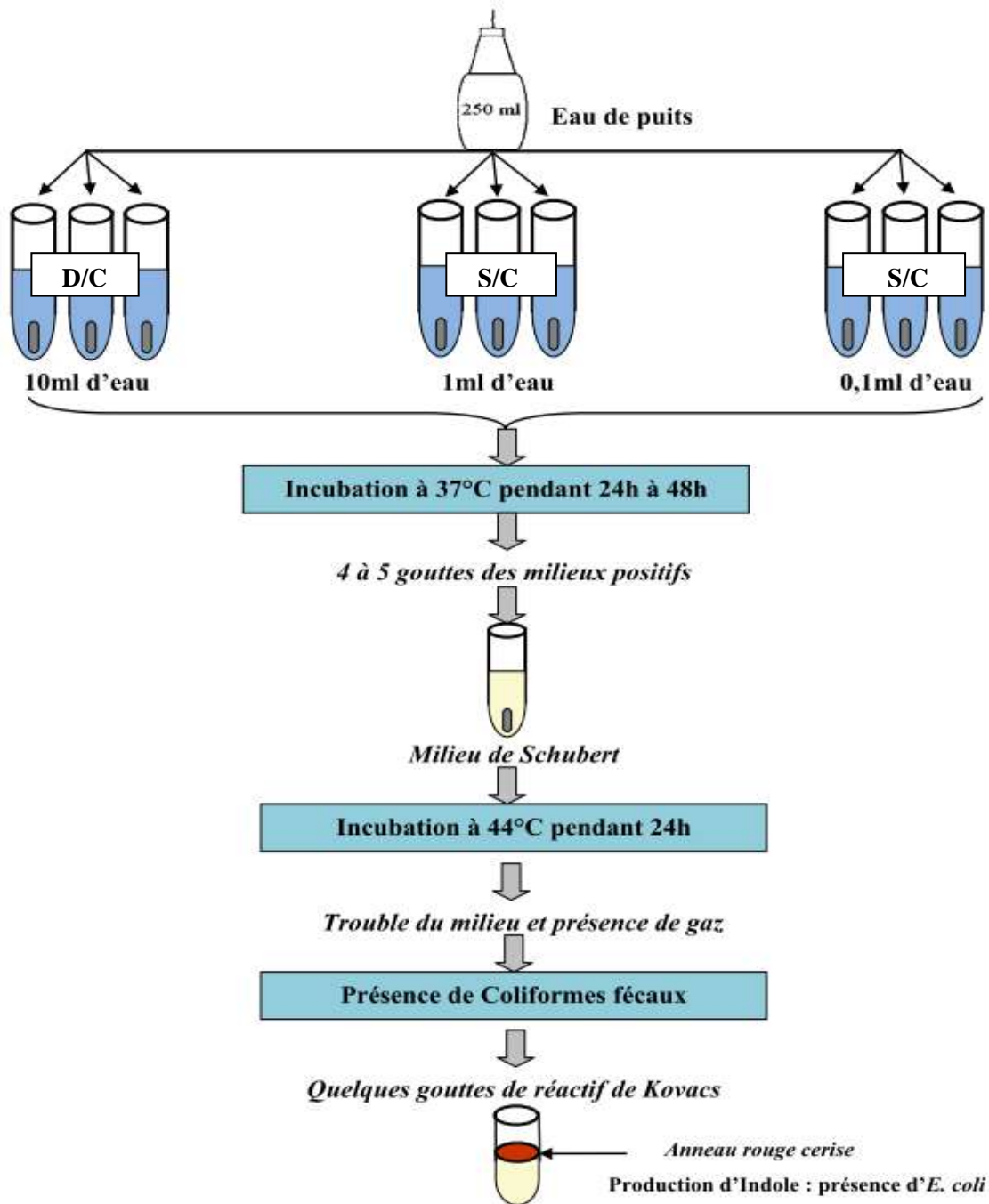
A partir de chaque tube positif de milieu BCPL, nous avonsensemencé 4 à 5 gouttes dans un tube contenant le milieu Schubert muni d'une cloche de Durham (**photo 11**).Les tubes qui présentent un trouble bactérien et un dégagement de gaz, après 48 h d'incubation à 44°C ± 0,5°C, confirment la présence des CF.



**Photographie 11** : Recherche d'*E.coli* sur bouillon Schubert.

L'apparition d'un anneau rouge cerise, après l'ajout de quelques gouttes de Kovacs (Annexe 04), témoin la présence d'*Escherichia coli*.

Nous notons le nombre de tubes positifs dans chaque série et nous nous reportons à la table de Mac Grady pour obtenir le nombre de CF présents dans 100ml de l'échantillon d'eau (Rodier *et al.*, 2005).



**Figure 06 :** Protocole expérimental de recherche et de dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux.

### 3.3. Dénombrement des Streptocoques fécaux

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux se fait par deux tests consécutifs : un test présomptif sur le milieu de Rothe et un test confirmatif sur le milieu Eva Litsky. L'incubation se fait à 37° C pendant 24h à 48h. La présence des streptocoques fécaux se manifeste par l'apparition d'un trouble microbien dans tout le milieu de Rothe et éventuellement par la formation d'une pastille violette dans le fond du tube du milieu Eva Litsky.

Trois séries de 3 tubes du bouillon Rothe double concentration (D/C) et simple concentration (S/C) (**Annexe 02**) ont étéensemencées avec l'échantillon (**Figure 07**). On mélange bien le milieu et l'inoculum et puis on incube tous les tubes à 37°C pendant 24 à 48 heures.

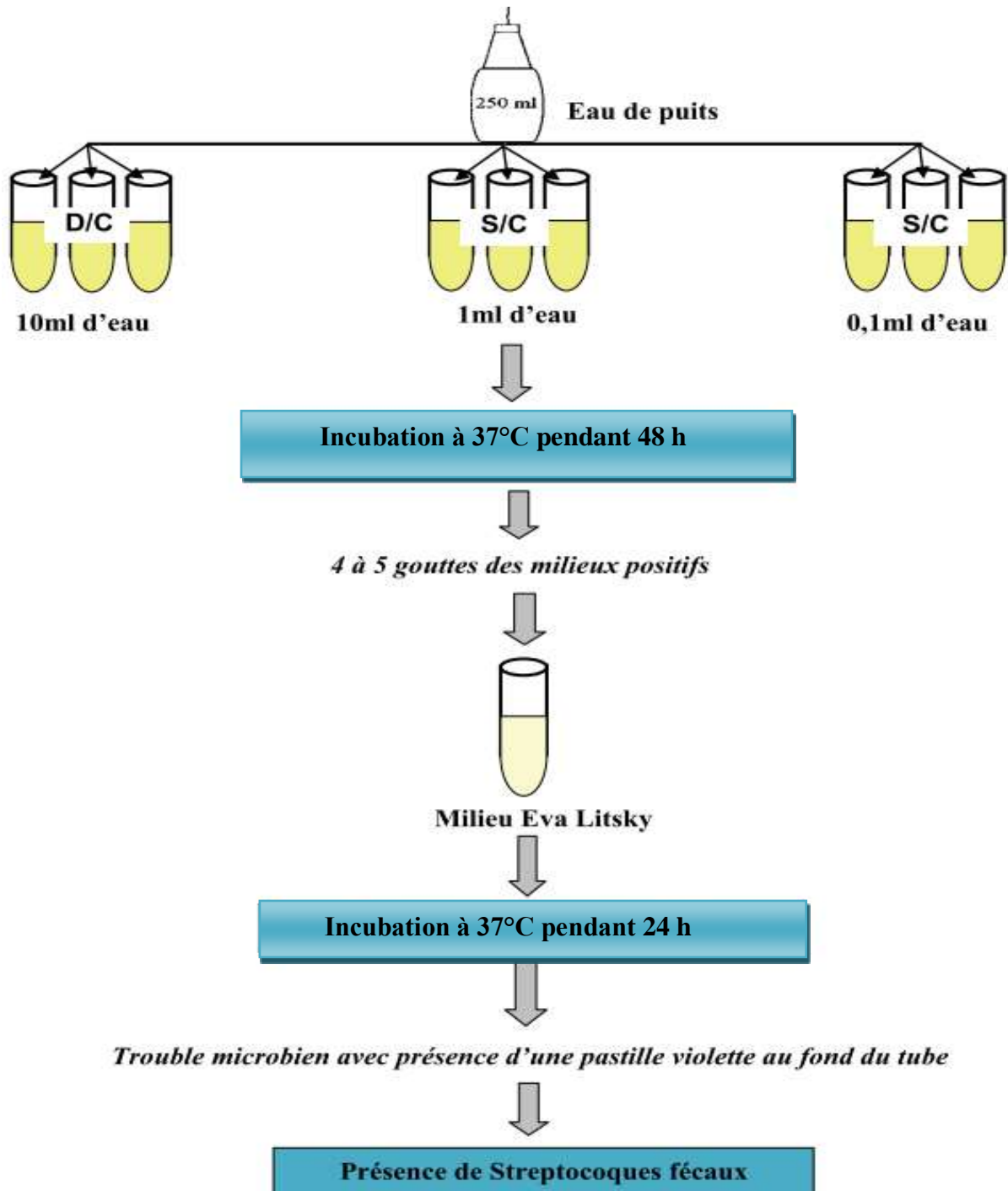
Les tubes présentant un trouble microbien sont présumés contenir un streptocoque fécal et sont soumis au test confirmatif ( **pohoto 12** ) .



**Photographie 12** : Dénombrement des Streptocoques fécaux sur bouillon Rothe.

Après agitation des tubes positifs, on prélève quelques gouttes avec une pipette Pasteur stérile, et on les dépose dans les tubes du milieu Eva Litsky à l'éthyl violet et azide de sodium. Après 24 h d'incubation à 37°C, tous les tubes présentant une culture et un jaunissement ont été considérés comme positifs. Parfois, la culture s'agglomère au fond du tube en fixant le colorant et en formant une pastille violette de signification identique à celle du trouble.

Nous notons le nombre de tubes positifs dans chaque série puis on s'est reporté à la table de Mac Grady pour connaître le nombre de streptocoques fécaux présents dans 100mL de l'échantillon (Rodier *et al.*, 2009).



**Figure 07 :** Protocole expérimental de recherche et de dénombrement des Streptocoques fécaux.

### 3.4. Dénombrement des *Clostridium* sulfito-réducteurs

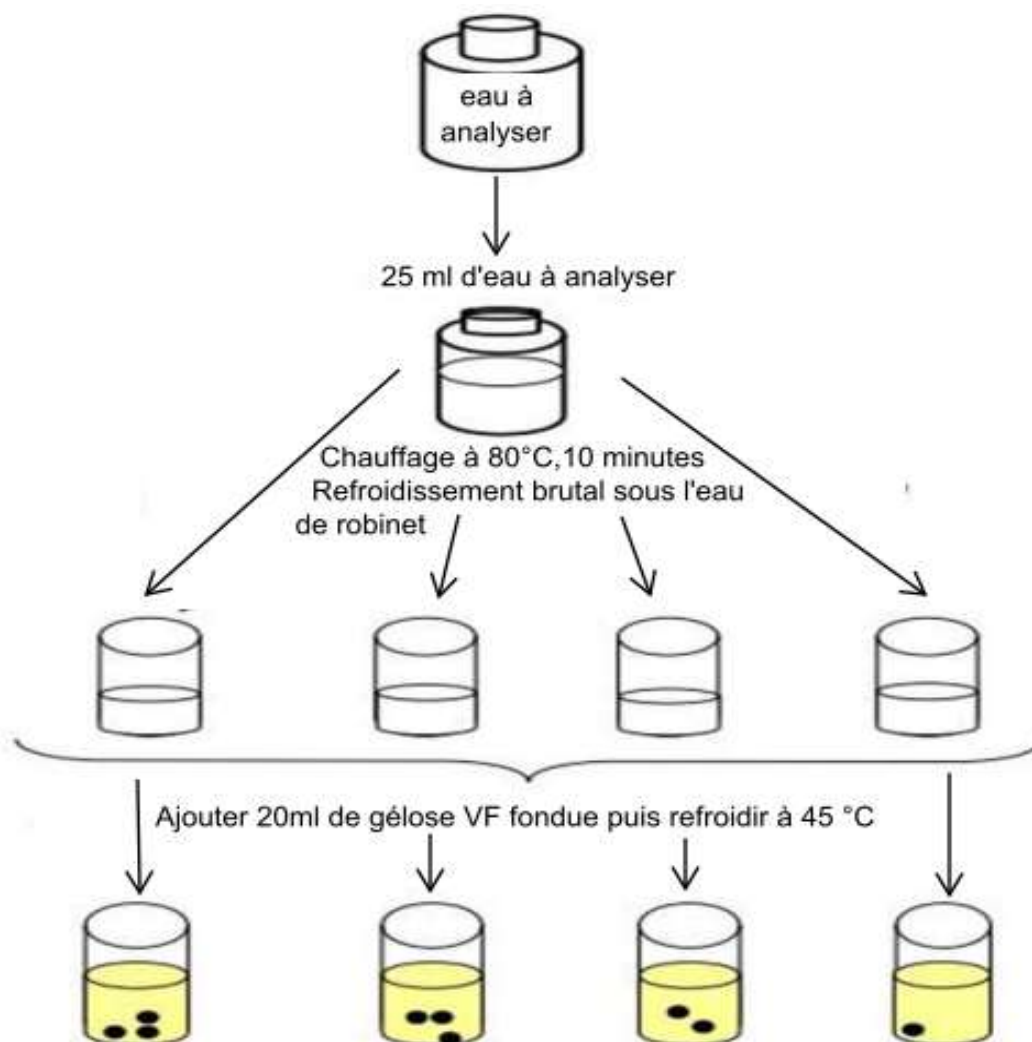
Dans un bain marie à 80°C, on introduit 5 tubes contenant chacun 5 ml de l'eau à analyser. On les laisse environ 10 minutes pour détruire les formes végétatives des bactéries sulfito-réductrices présentes. Après chauffage, on refroidit immédiatement les tubes sous l'eau de robinet jusqu'à une température de 45°C. 940

Dans chacun des tubes, on ajoute environ 20 mL de la gélose viande-foie (VF) (**Annexe 01**), déjà fondue, refroidie à 45°C et additionnée de ses additifs (alun de fer et sulfite de sodium). On mélange tous doucement le milieu et l'inoculum en évitant la formation des bulles d'air. On laisse solidifier la gélose sur pailleasse environ 30 minutes avant l'incubation à 37°C pendant 48 heures (**figure 08**).

Un résultat positif se traduit par la formation d'une colonie noire entourée d'un halo noir. Une lecture après 16 à 24 heures (**photo 13**) d'incubation est indispensable pour éviter une coloration noire uniforme du tube, ce qui rend le dénombrement impossible à la 48ème heure. Les résultats sont exprimés en nombre de spores des sulfito-réducteurs présents dans 20 mL d'eau (**Rodier et al., 2009**).



**Photographie 13 :** Recherche des CSR sur milieu viande foie

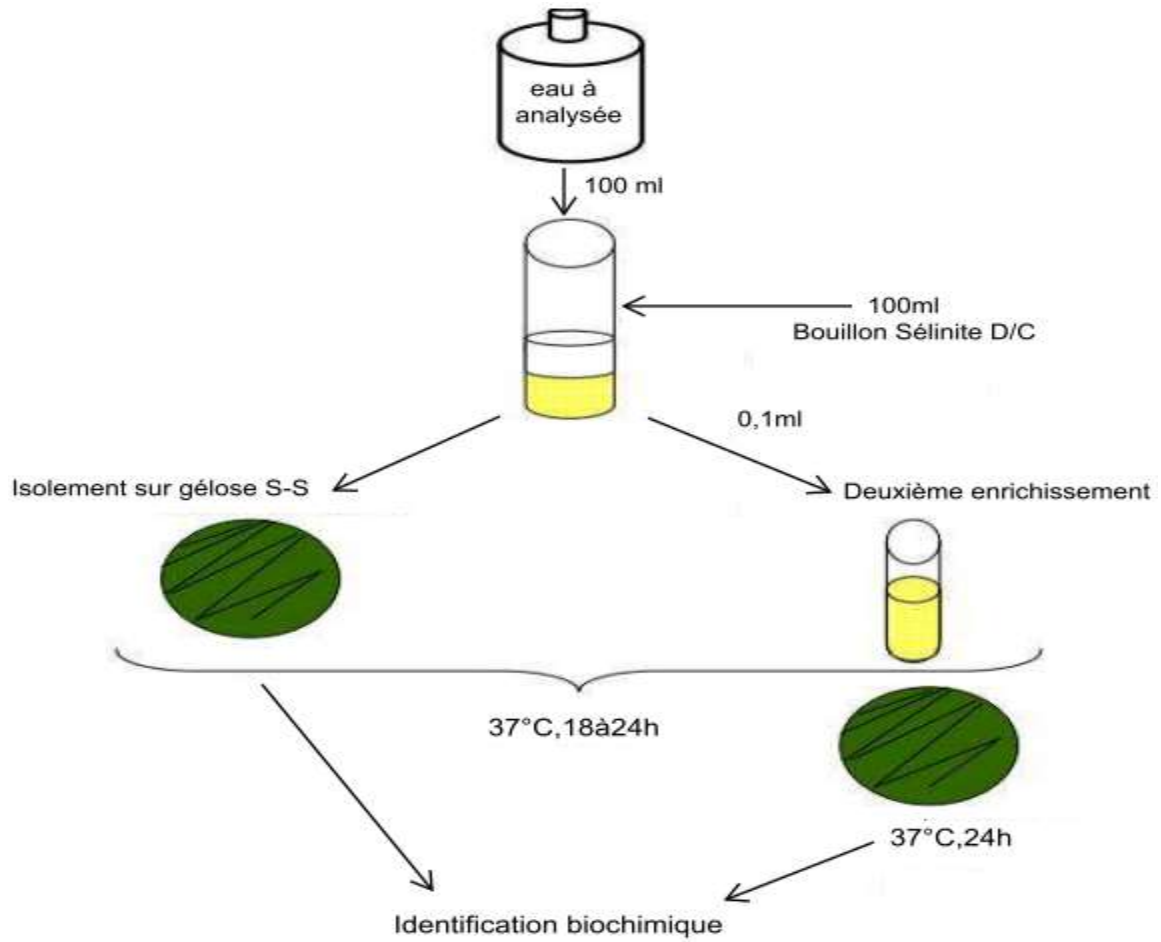


**Figure 08** : Recherche et dénombrement des CSR.

### 3.5. Recherche des Salmonelles

L'isolement des *Salmonelles* se réalise en passant par deux étapes d'enrichissement. Le premier s'effectue sur le milieu de Sélénite-Cystéine (D/C) réparti à raison de 100 ml par flacon. Ce dernier sera doncensemencé par 100 ml de l'eau à analyser, puis incubé à 37°C pendant 18 à 24 heures.

Ce flacon fera l'objet d'une part, d'un deuxième enrichissement sur milieu Sélénite entubes à raison de 0,1 ml et d'autre part, d'un isolement sur gélose *Salmonella-Shigella* (**figure 09**). Les colonies obtenues feront l'objet d'une identification biochimique (**Ladjel, 2009**).



**Figure 09 :** Recherche et dénombrement des Salmonelles.

## *RESULTATS ET DISCUSSION*

L'étude physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de puits joue un rôle important dans la détermination de sa qualité et de sa potabilité (**Rodier et al., 2009**).

### 1. Echantillonnage

10 échantillons d'eaux de puits ont fait l'objet de notre étude. Les échantillons en question ont été collectés à partir de quatre différentes communes de la région de Khenchela durant les mois de Mars et Avril 2018. Les prélèvements ont été réalisés à partir des robinets des cuisines des propriétaires des puits.

En outre de leurs localisations, les puits sélectionnés diffèrent entre eux par leur âge (entre 5 et 20 ans) et leurs profondeurs qui varient entre 10 et 63 mètres. Les eaux de ces puits sont principalement utilisées pour la boisson, les différentes activités ménagères et l'irrigation.

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques des dix échantillons ont été réalisés au niveau du laboratoire de contrôle de l'Algérienne Des Eau (ADE) de la wilaya de Khenchela, ainsi que dans le laboratoire d'analyse de la qualité microbiologique et physicochimique des eaux, des produits agro-alimentaires, cosmétiques et détergents (EURL SID, Khenchela).

### 2. Paramètres physico-chimiques

Il s'agit des paramètres facilement mesurables et utiles pour voir l'évolution des éléments chimiques les plus dominants dans les eaux de puits de la région d'étude, leurs concentrations et leurs origines.

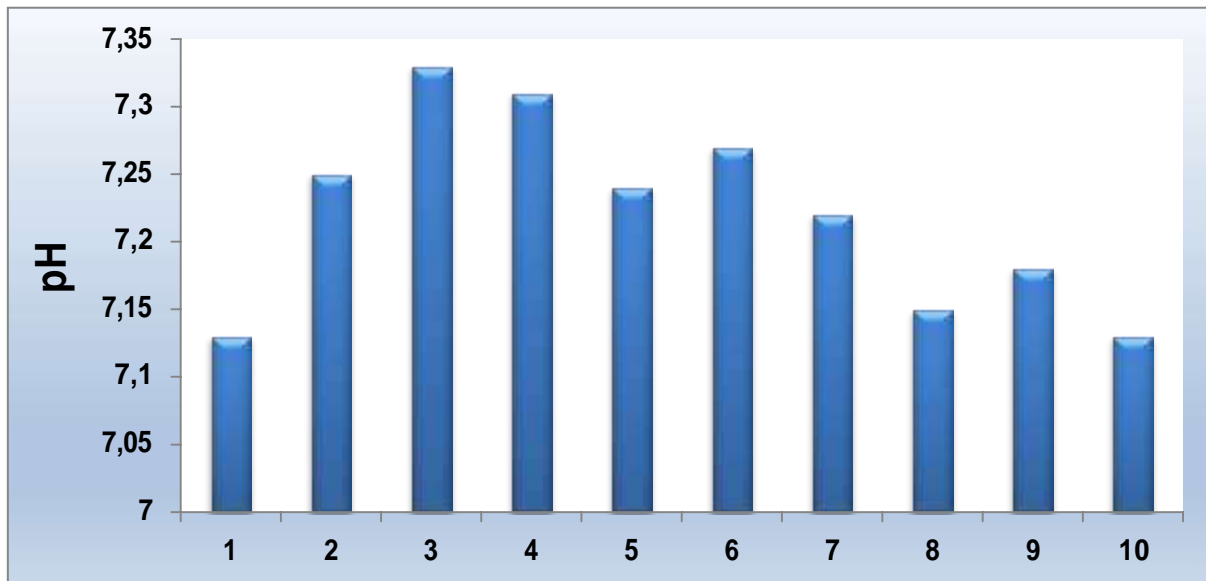
#### Le potentiel hydrogène

Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés (**Saadali, 2007; Gouaidia, 2008**). Les valeurs de pH enregistrées dans notre étude sont situées dans la fourchette des normes de potabilité ( $6,5 < \text{pH} < 9$ ) (**JORA, 2011; Rodier et al., 2009**). Elles varient entre 7,13 et 7,33 (**figure 10**). Ces valeurs sont proches de la neutralité par contre à l'étude menée par **Ossey (2010)**, sur des puits à usage domestique dans les quartiers de la commune d'Abidjan (Côte d'Ivoire), qui signale des valeurs de pH à tendance acide en dessous de 6,5.

## RESULTATS ET DISCUSSION

**Tableau 04:** Les caractéristiques des dix puits étudiés.

| N°         | Commune   | Date de    | Age    | Profondeur | Couverture | Contrôle | Exploitation | Usage                                      |
|------------|-----------|------------|--------|------------|------------|----------|--------------|--|
| <b>P01</b> | Khenchela | 27-03-2018 | 13 ans | 12 m       | Oui        | Oui      | Individuel   | Activités ménagers et boissons.            |
| <b>P02</b> | El mahmel | 27-03-2018 | 5 ans  | 22 m       | Oui        | Oui      | Collectif    | Activités ménagères et boisson             |
| <b>P03</b> | Ensigna   | 27-03-2018 | 12 ans | 19 m       | Oui        | Oui      | Collectif    | Activités ménagères et boisson             |
| <b>P04</b> | El mahmel | 16-04-2018 | 15 ans | 17 m       | Oui        | Non      | Individuel   | Activités ménagères et irrigation          |
| <b>P05</b> | El mahmel | 16-04-2018 | 14 ans | 25 m       | Oui        | Oui      | Collectif    | activités ménagères et boisson             |
| <b>P06</b> | Khenchela | 16-04-2018 | 6 ans  | 15 m       | Oui        | Oui      | Collectif    | activités ménagères et boisson             |
| <b>P07</b> | El hamma  | 16-04-2018 | 20 ans | 63 m       | Oui        | Non      | Collectif    | Irrigation, activités ménagères et boisson |
| <b>P08</b> | Khenchela | 18-03-2018 | 14 ans | 13 m       | Oui        | Oui      | Individuel   | Activités ménagers et boissons             |
| <b>P09</b> | Khenchela | 18-04-2018 | 8 ans  | 20 m       | Oui        | Non      | Collectif    | Irrigation, activités ménagères et boisson |
| <b>P10</b> | Khenchela | 18-04-2018 | 11 ans | 10 m       | Oui        | Oui      | Individuel   | Activités ménagers et boissons.            |

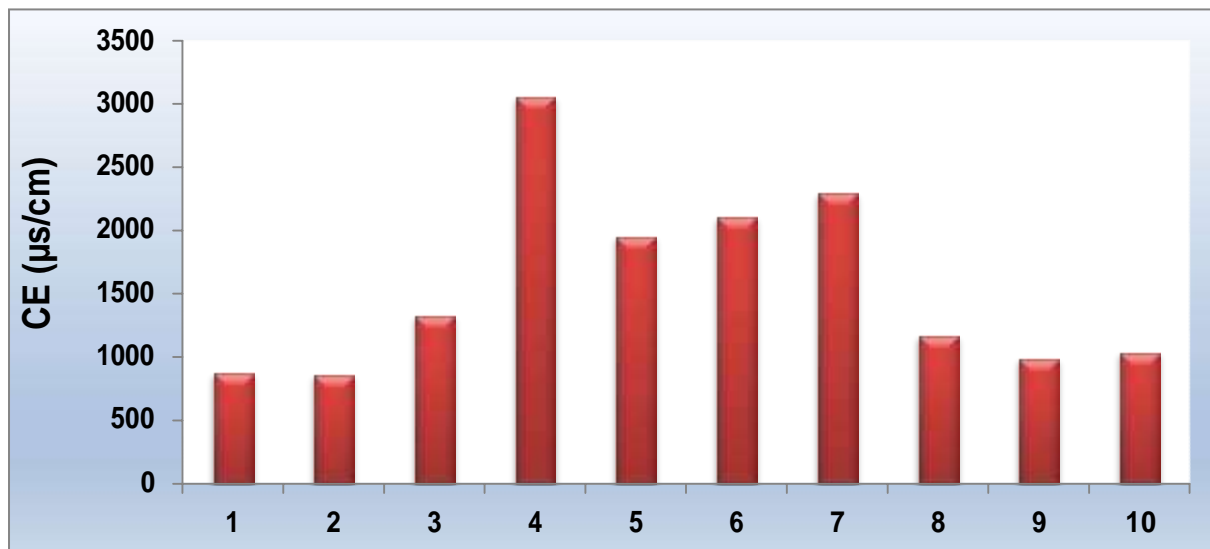


**Figure 10 :** Variation des pH dans les eaux de puits étudiés.

### La conductivité électrique

La mesure de la CE permet une évaluation rapide et approximative de la minéralisation globale ou la salinité de l'eau (Boeglin, 2000; Dib, 2009). Rodier et ses collègues (2009), signalent que la variation de conductivité électrique augmente avec la concentration des ions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , ...) en solution et la température.

Les résultats des mesures ont permis d'observer une variation de la conductivité électrique entre 859 et 3060  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (figure 11). La plupart des valeurs ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité fixée à 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (JORA, 2011), excepté l'eau du puits N°4 qui affiche une valeur élevée (3060  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Cette dernière reflète une minéralisation et une salinité élevée de ces eaux.



**Figure 11 :** Variation de la conductivité électrique dans les eaux de puits étudiés.

### La dureté totale

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). Ce paramètre présente une grande variation qui serait liée à la nature lithologique de la formation aquifère (Ghazali et Zaid, 2013). Les eaux provenant de terrains calcaires ou surtout de terrains gypseux, peuvent avoir des duretés très élevées susceptibles d'atteindre 100°F de CaCO<sub>3</sub> par litre (Figarella et Leyral, 2002; Rodier *et al.*, 2005).

Les résultats obtenus, exprimées en degré français, montrent des valeurs acceptables de dureté totale (25 à 40°F) (figure 12) pour le 50% des échantillons (1, 2, 3, 8 et 9). Ces valeurs sont acceptables et ne dépassent pas la norme algérienne fixée à 50°F (JORA, 2011). Les eaux de ces puits sont considérées comme douces.

Néanmoins, la DT a dépassé cette norme pour le reste puits (50 à 58 °F), ces eaux dites dures proviennent de la formation de l'aquifère ainsi du cheminement des eaux qui traversent successivement la nappe superficielle.

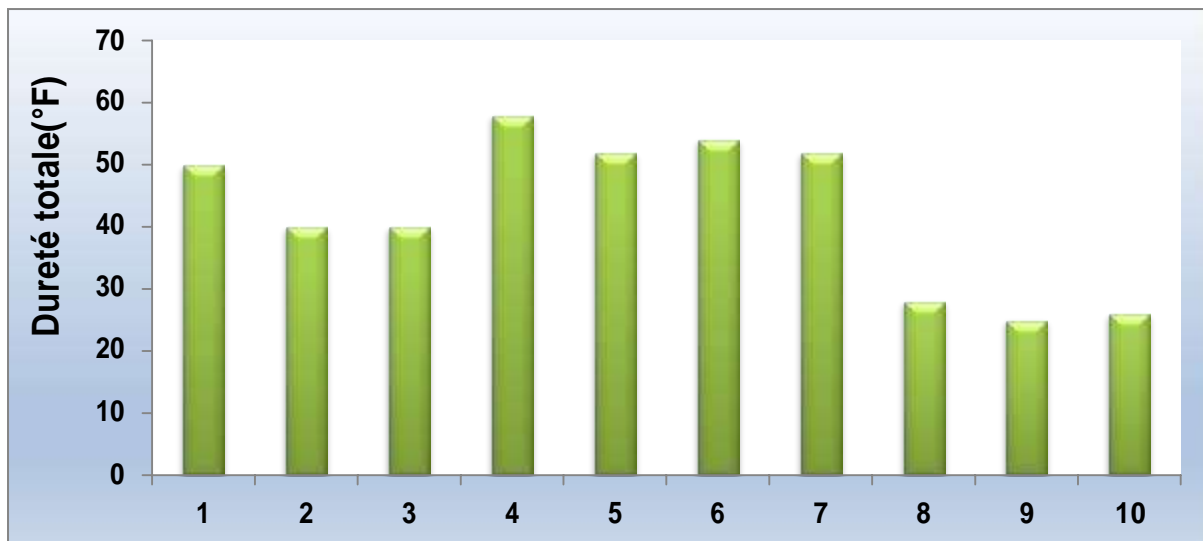


Figure 12 : Diagramme de la variation de la dureté totale dans les eaux des puits étudiés.

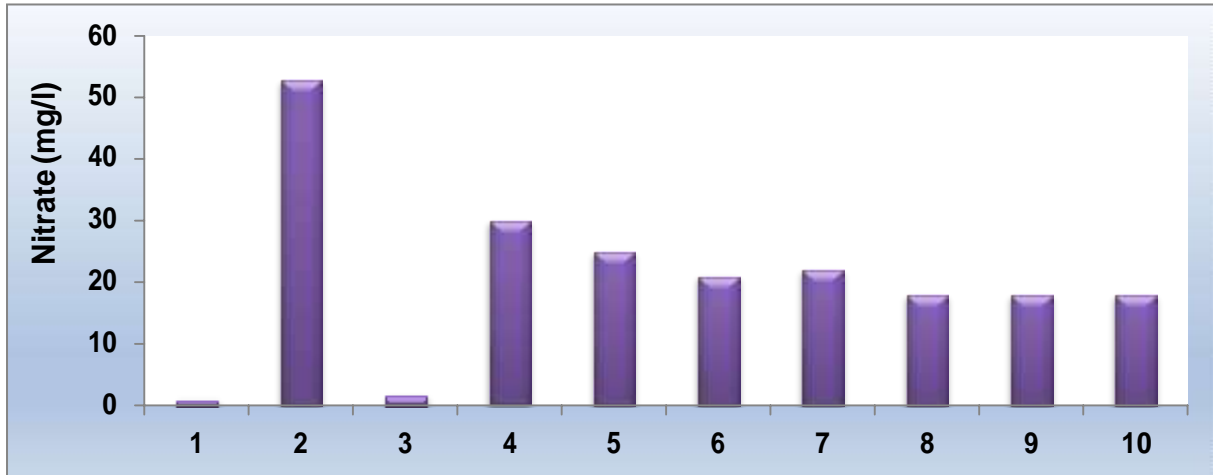
### Les nitrates

Toutes les formes d'azote sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique (Rodier *et al.*, 2005; Dib, 2009). Dans les eaux naturelles non polluées ; le taux de nitrate est très variable suivant la saison et l'origine des eaux.

La figure 13 montre une variation des teneurs en nitrates dans nos échantillons d'eaux de puits, entre 0,910 et 52.549 mg.L<sup>-1</sup>.

## RESULTATS ET DISCUSSION

Le 90 % des puits étudiés présentent des teneurs acceptables en nitrates qui ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité qui est égale à  $50 \text{ mg.L}^{-1}$  (JORA, 2011). Cependant, l'eau du puits N°2 a montré une concentration plus au moins élevée en nitrates ( $52.549 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Cette valeur particulière peut être due à une ancienne pollution, avec une transformation de l'ammonium en nitrite puis en nitrate.

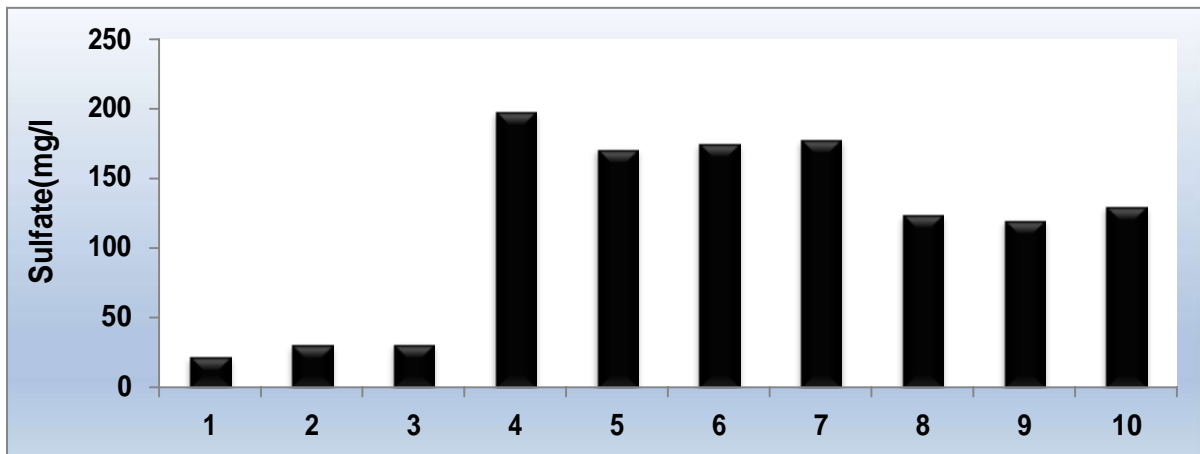


**Figure 13** : Variation de la teneur en nitrates dans les eaux de puits étudiés.

### Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

La concentration en ions sulfates des eaux naturelles est très variable. Elle peut être élevée 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).

Les résultats des mesures ont permis d'observer la variation de la concentration  $\text{SO}_4^{2-}$  entre  $21.953 \text{ mg.L}^{-1}$  et  $198 \text{ mg.L}^{-1}$  (figure 14). Toutes les valeurs ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité fixée à  $500 \text{ mg/l}$  (JORA, 2011), donc la qualité de l'eau elle est acceptable.



**Figure 14** : Variation de la teneur en sulfates dans les eaux de puits étudiés.

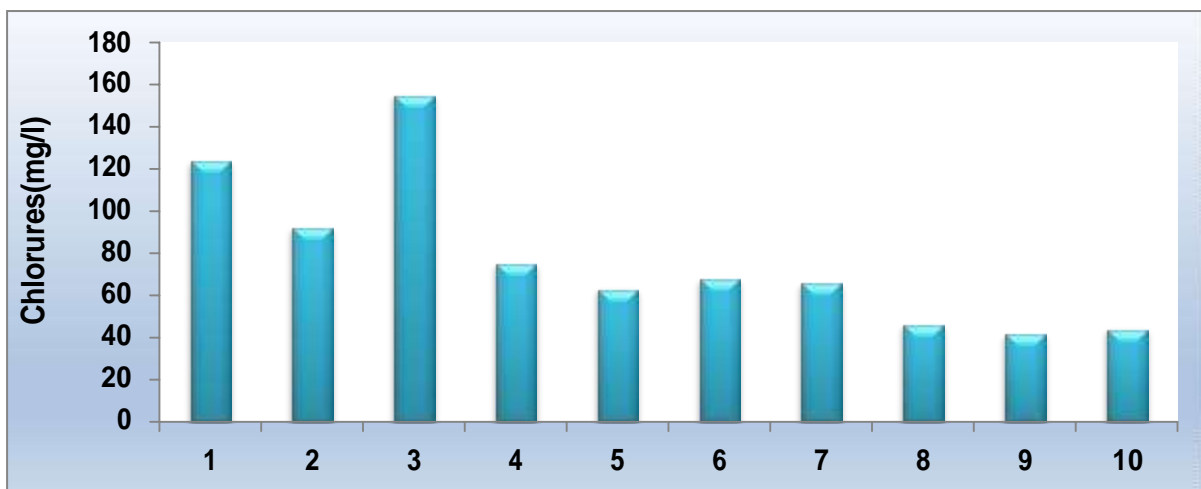
## RESULTATS ET DISCUSSION

### Les chlorures

Les chlorures sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau souterraine résulte de la dissolution des sels naturels, par la dissolution de la sylvite (KCl) et de l'halite (NaCl) (Andrews *et al.*, 2009).

Des concentrations modérées en chlorures ont été enregistrées dans les eaux analysées. Elles varient entre 42 mg.L<sup>-1</sup> (puits 9) et 155 mg.L<sup>-1</sup> (puits 3) (figure 15). Ces valeurs de chlorures sont considérées comme acceptables étant donné que les normes algériennes de l'eau potable pour cet élément sont fixées à 500 mg.L<sup>-1</sup> (JORA, 2011). D'autre part, Andrews et ses collègues (2009) ont mentionné que les ions chlorures, à une concentration supérieure à 250 mg.L<sup>-1</sup> altère la saveur de l'eau.

Pour Rodier et ses collègues (2009), les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et sont principalement liées à la nature des terrains traversés. Ces teneurs sont susceptibles de subir des variations suite au lessivage superficiel en cas de fortes pluies.

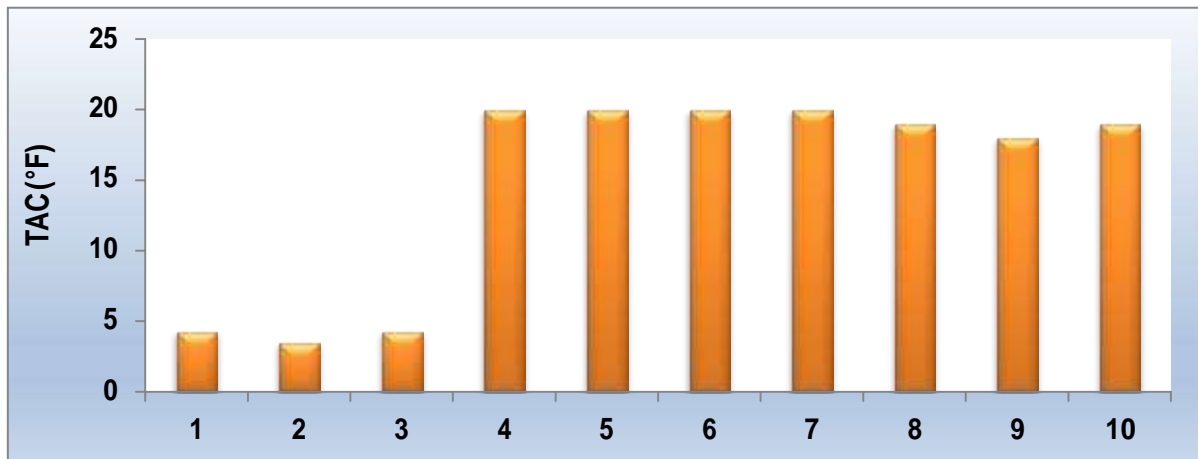


**Figure 15 :** Diagramme des concentrations de chlorure dans les eaux des puits étudiés.

### Le titre alcalimétrique complet

Le TAC correspond à la teneur de l'eau en alcalins libres, carbonates et hydrogénocarbonates. Les résultats obtenus (Figure 16) présentent des concentrations très acceptables pour tous les échantillons avec des valeurs qui varient entre 3,5 et 20°F.

Ces valeurs rejoignent les résultats obtenus par Heriarivony et ses collègues (2015) dans leur étude sur caractères physico-chimiques et bactériologiques des eaux de puits de la région Vakinankaratra (Madagascar) qui varie entre 0,9°F et 3,1°F.

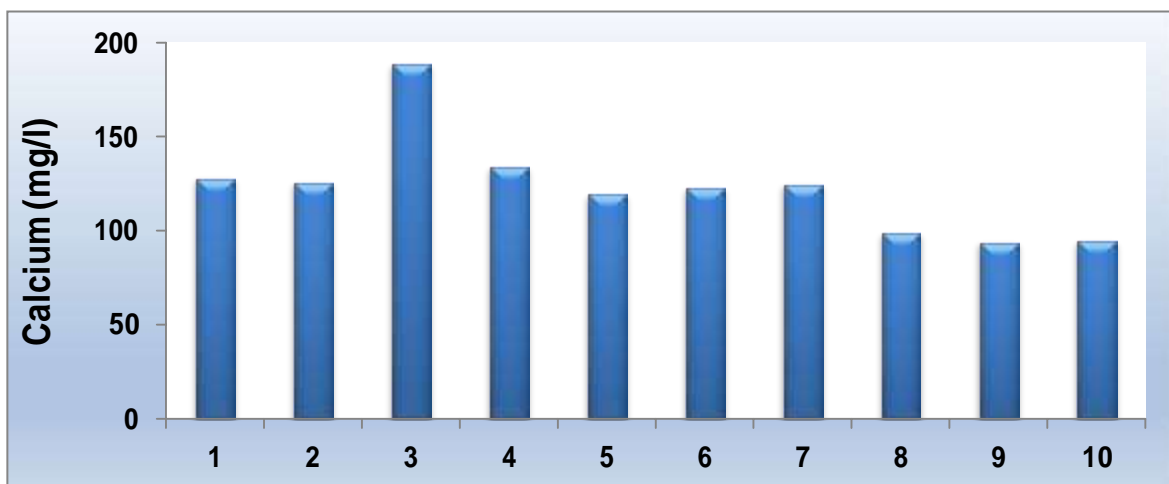


**Figure 16 :** Variation du titre alcalimétrique complet dans les eaux de puits étudiés.

### Le calcium

C'est le composant majeur de la dureté de l'eau. Il est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrain traversé (Queneau et Hubert, 2009).

Les normes algériennes de potabilité de l'eau fixent une valeur de  $200 \text{ mg.L}^{-1}$  pour le calcium (JORA, 2011), Les dix puits étudiés ont présenté des teneurs acceptables en  $\text{Ca}^{++}$  qui varient entre 94 à  $189 \text{ mg.L}^{-1}$  (figure 17). Ces valeurs sont étaient inférieurs à celle enregistrées dans l'étude menée par Ayed (2016) sur des puits de la région d'El-harrouch (Skikda) qui rappelle que la majorité des puits ont des fortes concentrations en calcium qui dépassent  $200 \text{ mg.L}^{-1}$ .



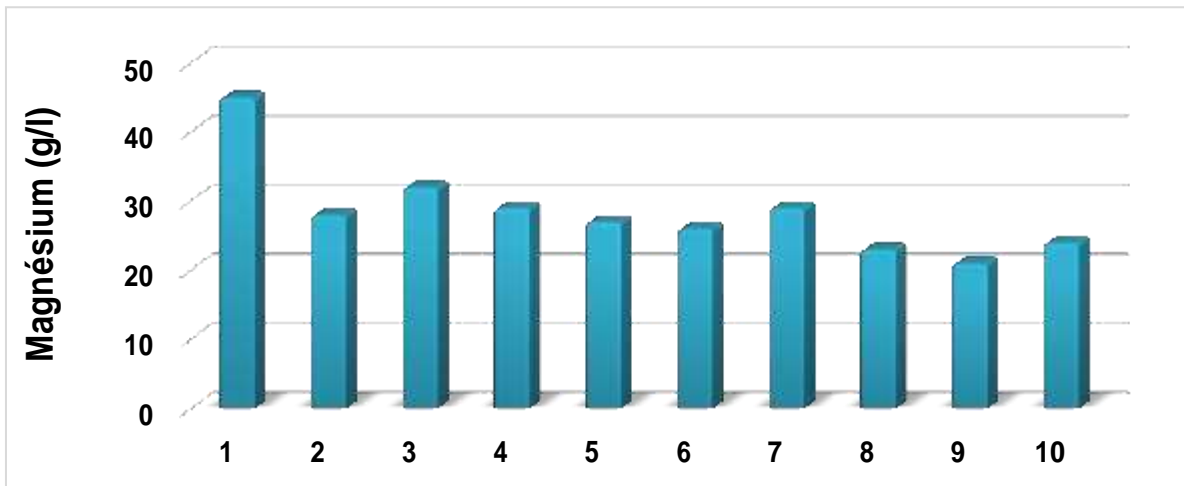
**Figure 17 :** Variation de la teneur en calcium dans les eaux de puits étudiés.

### Le magnésium

Le magnésium est un élément présent dans toutes les eaux naturelles (Benamar et al., 2011). Il constitue le deuxième élément significatif de la dureté de l'eau,

## RESULTATS ET DISCUSSION

Selon Nouayti et ses collègues (2015), La source du magnésium semble être liée au contact des eaux avec les roches calcaires et dolomitiques. D'après les résultats obtenus, les concentrations en Mg varient entre 21 et 45 mg.L<sup>-1</sup> (figure 18). Ces valeurs sont beaucoup inférieures aux normes algériennes de 500 mg.L<sup>-1</sup>.



**Figure18** : Variation de la teneur en magnésium dans les eaux de puits étudiés.

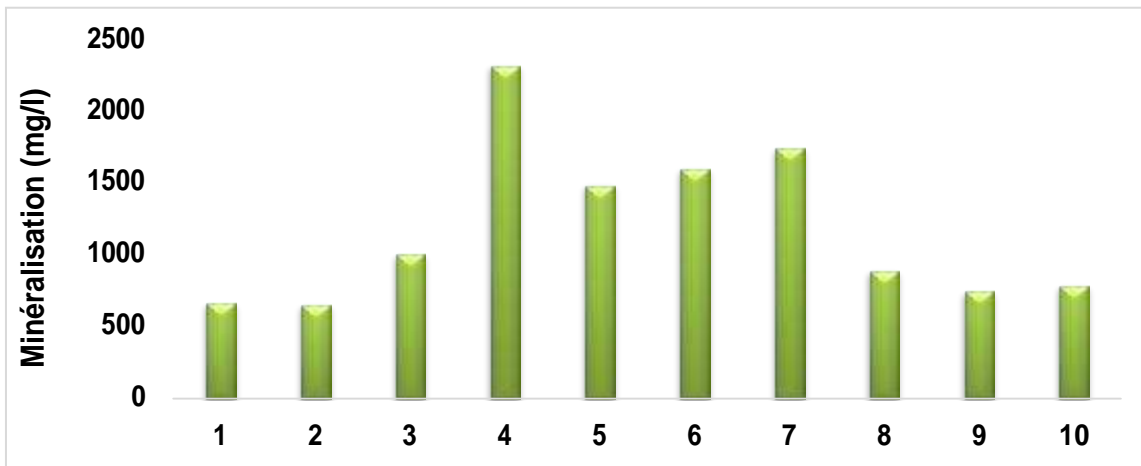
### Minéralisation

La minéralisation est fonction de la géologie des terrains traversés. D'une façon générale, elle est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles (Rodier *et al.*, 2009).

Les résultats des mesures ont permis d'observer une variation (figure 19) entre 751 et 2321 mg.L<sup>-1</sup>. Selon Rodier et ses collègues (2009) une eau dont la minéralisation est inférieure à 600 mg/L est généralement considérée comme bonne ; au-delà de 1200 mg.L<sup>-1</sup>, elle devient, sauf accoutumance, assez désagréable. À titre indicatif, les anciennes directives du conseil des communautés européennes et l'ancienne réglementation française indiquaient 1500 mg.L<sup>-1</sup> comme valeur limite de minéralisation de l'eau. Les eaux des puits N°4, 6 et 7 dépassent cette limite et sont donc considérées très minéralisées.

Les eaux très minéralisées contribuent à l'homéostasie de l'homme et surtout l'enfant. Cependant, elles peuvent poser des problèmes endocriniens très complexes (Rodier *et al.*, 2009).

## RESULTATS ET DISCUSSION

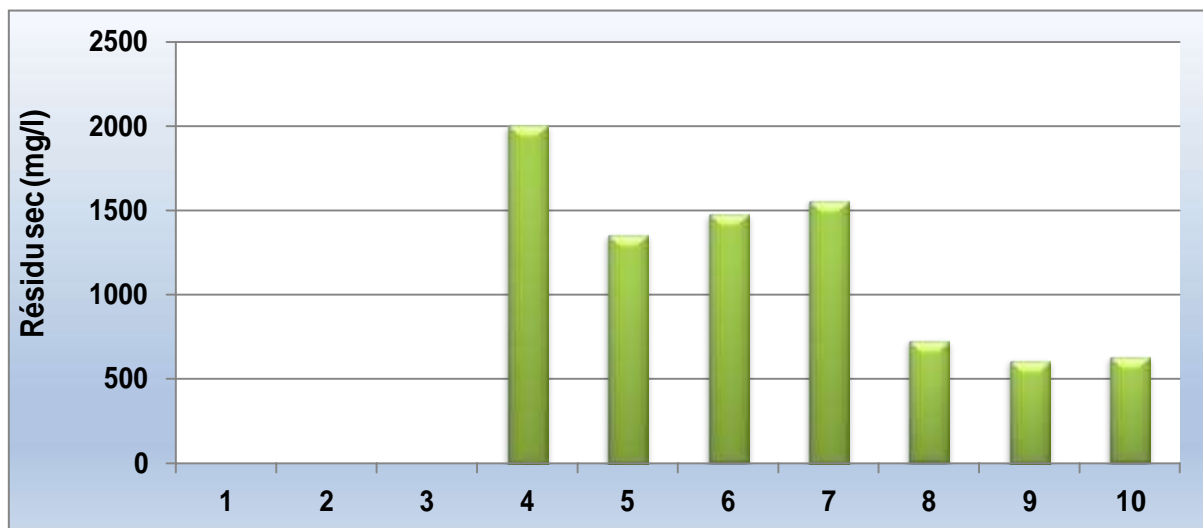


**Figure 19 :** Diagramme de minéralisation des eaux de puits étudiés.

### Les résidus secs

La détermination des RS dans l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, non volatiles, obtenues après une évaporation d'eau (Rodier *et al.*, 2009).

Par manque de matériel, les teneurs en résidus secs ont été déterminées uniquement pour sept derniers échantillons d'eau. Les résultats obtenus (figure 20) montrent des valeurs en RS qui varient entre 610 et 2010  $\text{mg.L}^{-1}$ ,



**Figure 20 :** Diagramme des résidus secs dans les eaux de puits étudiés.

En se référant au tableau 05, on peut classer nos échantillons d'eaux en deux catégories. Les eaux de puits N° 8, 9 et 10 ont une qualité passable ( $610 < \text{RS} < 730 \text{ mg/l}$ ). Cependant, le reste des échantillons (4, 5, 6 et 7) ont une qualité médiocre ( $1480 < \text{RS} < 2010 \text{ mg/l}$ ).

**Tableau 05 :** Classification des eaux potables selon leurs résidus secs (**Rodier et al., 2005**)

| Qualité           | Bonne | Passable | Médiocre  | Mauvaise  |
|-------------------|-------|----------|-----------|-----------|
| Résidu sec (mg/l) | 0-500 | 500-1000 | 1000-2000 | 2000-4000 |

### 3. Analyses bactériologiques

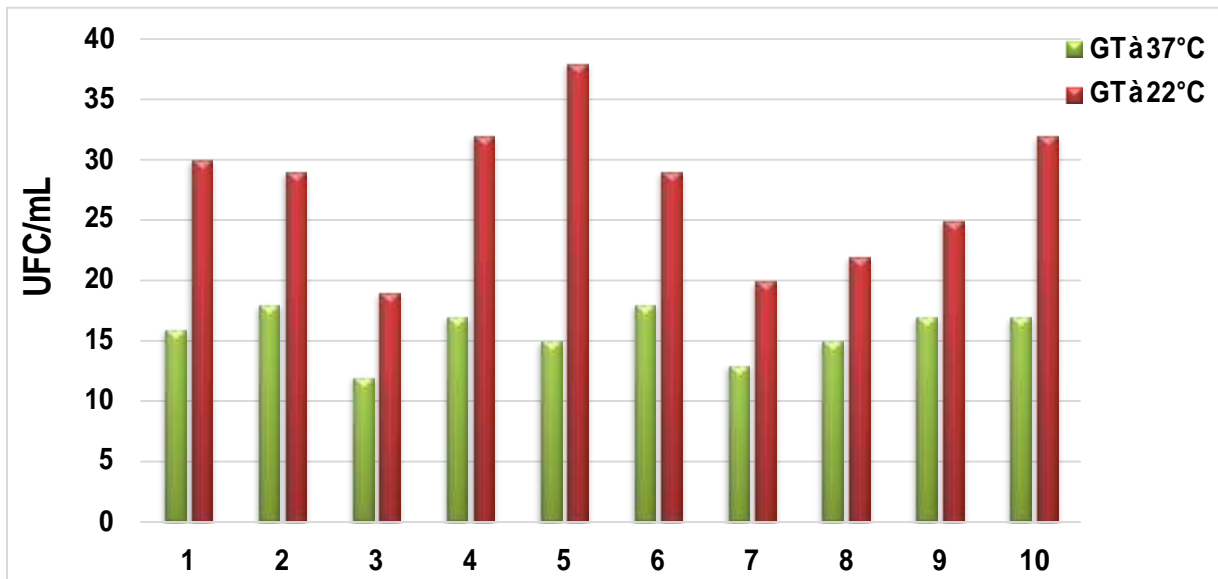
L'analyse bactériologique permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau. Les microorganismes pathogènes sont très nombreux et très variés et ne peuvent donc pas faire l'objet d'une recherche spécifique. De plus leur identification est très difficile voire impossible dans le cas des virus, car leur durée de vie peut être très courte. Pour ces différentes raisons, il est préférable de rechercher les germes qui sont généralement présents en grand nombre dans la matière fécale de l'homme et des animaux à sang chaud. Ces derniers se maintiennent facilement dans le milieu extérieur.

#### Les germes totaux

Le dénombrement des bactéries mésophiles aérobies et anaérobies facultatives, vise à estimer la densité de la population bactérienne générale dans l'eau potable. Il permet ainsi une appréciation globale de la salubrité générale d'une eau, sans toutefois préciser les sources de contamination (**Levallois, 2003**). Les microorganismes qui se développent à 20°C, sont des saprophytes présents naturellement dans l'eau. Celles qui se développent à 37°C, température du corps humain, proviennent de l'homme ou d'animaux à sang chaud (**Figarella et al., 2007**).

D'après les résultats obtenus, nous constatons que le nombre des germes totaux à 37°C, pour les échantillons étudiés, varie entre 12 et 18 UFC/ml. Ces valeurs sont proches à la norme de l'OMS qui ne tolère pas un dénombrement supérieur à 20 UFC/ml, ce qui nous laisse conclure que la qualité de nos échantillons d'eau est acceptable (**figure 21**).

L'examen des germes totaux à 22°C a montré une charge microbienne qui varie entre 19 et 38 UFC/ml (**figure 21**). Cette dernière est inférieure aux normes de l'OMS (100 UFC/ml).



**Figure 21 :** Variation des germes totaux à 22 et 37°C dans les eaux de puits étudiés.

### Les coliformes

Les coliformes 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).

Les résultats obtenus (figure 22) montrent une variation, des coliformes totaux, entre 4 et 11 germes.100 mL<sup>-1</sup>. Le 90% des valeurs ne dépassent pas les normes algériennes et celles de l'OMS (1994), qui recommandent des taux en CT inférieurs à 10 germes.100 mL<sup>-1</sup>.

L'échantillon N°2 a, cependant, marqué un nombre plus au moins élevé en CT (11 germes.100 mL<sup>-1</sup>). Il est à noter que ce même puits a également présenté une concentration élevée en nitrates.

Les résultats de la recherche des coliformes fécaux étaient négatifs pour le 100% des échantillons, excepté le puits N° 1, où nous avons enregistré la présence de 4 CF par 100ml d'eau, et avec la confirmation de la présence d'*E.coli* (apparition d'un anneau rouge, après l'ajout du réactif du kovaks (Annexe 04)). L'OMS (2004), énonce que la présence des coliformes thermo tolérants, notamment *E.coli*, apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente.

La contamination de ces puits par les CT et les CF peut résulter de leur voisinage à des sources de pollution comme les rejets domestiques, par l'infiltration d'eau de surface dans les puits ou bien par la proximité de ces derniers avec des fosses septiques.

## RESULTATS ET DISCUSSION

Le risque sanitaire relié directement à la présence de bactéries du groupe de coliformes totaux, est modéré, à l'exception de certaines souches d'*E.coli* et de certaines bactéries opportunistes qui peuvent causer de graves infections (Chevalier, 2003; El Haissoufi et al., 2011).

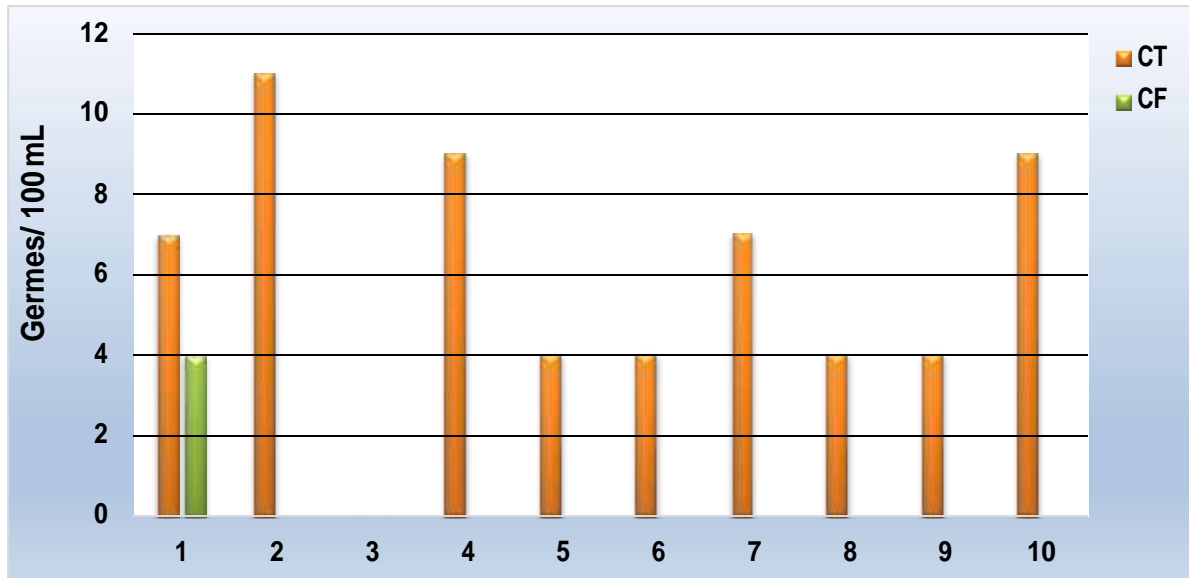


Figure 22 : Variation des coliformes totaux et fécaux dans les eaux de puits étudiés.

### Autres

Des résultats négatifs pour le 100 % des échantillons des puits ont été marqués pour la recherche des streptocoques fécaux, des *Clostridium* sulfito-réducteurs et des salmonelles. Ces résultats sont logiques vue la faible charge bactérienne des échantillons en germes totaux, et reflètent une qualité bactériologique très acceptable pour la majorité des échantillons.

### 4. Classification des échantillons

Les résultats des analyses physicochimiques et bactériologiques, nous permettent de classer nos 10 échantillons d'eaux de puits en cinq catégories (tableau 06) :

- **La catégorie 1** : qui contient une eau de qualité physicochimique et bactériologique très bonne. Il s'agit du puits N°3 qui a présenté une minéralisation moyenne avec l'absence totale des germes indicateurs d'une contamination fécale ;
- **La catégorie 2** : elle contient des eaux de qualité physicochimique et bactériologique acceptables. Il s'agit des puits N°8, 9 et 10 ;
- **La catégorie 3** : regroupe des eaux qui présentent une qualité physicochimique médiocre (eaux dures avec une minéralisation élevée et des taux en résidus secs très importants) et une qualité bactériologique acceptable. Il s'agit des puits N°4, 5, 6 et 7 ;

## RESULTATS ET DISCUSSION

---

- **La catégorie 4** : contient une eau de qualité physicochimique acceptable et de qualité bactériologique non potable (présence des coliformes fécaux et *E.coli*). Il s'agit du puits N°1 ;
- **La catégorie 5** : présente une eau de qualité physicochimique mauvaise et une qualité bactériologique non potable (teneur élevée en coliformes totaux). Il s'agit du puits N°2.

**Tableau 06** : Qualité physicochimique et bactériologique des eaux de puits étudiés.

| <b>Puits</b> | <b>Qualité physicochimique</b> | <b>Qualité bactériologique</b> |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>1</b>     | Acceptable                     | Non potable                    |
| <b>2</b>     | Mauvaise                       | Non potable                    |
| <b>3</b>     | Acceptable                     | Très bonne                     |
| <b>4</b>     | Médiocre                       | Acceptable                     |
| <b>5</b>     |                                | Acceptable                     |
| <b>6</b>     |                                | Acceptable                     |
| <b>7</b>     |                                | Acceptable                     |
| <b>8</b>     | Acceptable                     | Acceptable                     |
| <b>9</b>     | Acceptable                     | Acceptable                     |
| <b>10</b>    | Acceptable                     | Acceptable                     |

En gros, 50% des échantillons ont présenté une qualité physico-chimique médiocre à mauvaise, et 20% des échantillons ont présenté une qualité bactériologique non potable. Ces résultats sont inquiétants vu l'usage des eaux des 10 puits analysés dans les différentes activités ménagères et notamment la boisson.

*Conclusion et  
perspectives*

## CONCLUSION

---

Afin d'évaluer la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau de quelques puits, à usage domestique, dans la région de Khenchela. Un protocole de caractérisation physico-chimique et bactériologique a été adopté.

Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés par des techniques de dosage colorimétrique. Les résultats ont présenté des eaux dures (50 à 58°F) avec une minéralisation élevée (1500 à 2321 mg/l) et des taux en résidus secs très importants (1350 à 2010 mg/l), pour le 40% des échantillons.

Il faut signaler, que les eaux du puits N°2 étaient très riches en nitrates (52.54 mg/l). Néanmoins, tous les échantillons ont présenté des pH proches de la neutralité (7.13 – 7.33).

La méthode du nombre le plus probable a été utilisé pour l'étude bactériologique. Les résultats reflètent une contamination fécale pour le premier puits, avec la présence d'*E.coli*. Il faut également noter, que le taux des coliformes totaux a dépassé les normes pour le deuxième échantillon (11 germes. 100 mL<sup>-1</sup>). La qualité microbiologique du reste des puits était cependant acceptable, voire très bonne pour le puits N°3.

Une absence totale des streptocoques fécaux, des *Clostridium* sulfito-réducteurs et des salmonelles a été enregistrée pour tous les échantillons.

En général, 50% des échantillons ont présenté une qualité physico-chimique médiocre à mauvaise, et 20% des échantillons ont présenté une qualité bactériologique non potable. Ces résultats sont inquiétants vu l'usage des eaux des 90% des puits analysés pour la boisson.

Une surveillance et une désinfection régulière doivent t'être réalisées par les propriétaires des puits à usage domestique. Un contrôle semestriel ou au moins annuel des eaux puits est très recommandé afin de pallier ces problèmes.

Dans l'intérêt d'apporter un apport complémentaire à cette étude, il serait intéressant :

- D'élargir la zone d'échantillonnage, en augmentant le nombre de prélèvements ;
- Réaliser des prélèvements durant plusieurs saisons ;
- Utiliser d'autres techniques microbiologiques de dénombrement et de culture ;

## *Références bibliographiques*

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

### A

**AFNOR (Association Française de Normalisation).** ,(1999) .Qualité physique et chimique de l'eau., Tome 4 ; 656p

**AEAG (Agence de l'Eau Adour-Garonne).**, (2012). Les eaux souterraines, Toulouse, Cedex 4, 5p.

**Ahonon A.S.**, (2011). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique deseaux de surface dans les zones montagneuses du sud-ouest du TOGO : cas du Canton de lavie, Master international, environnement eau et santé, Université de Lome, TOGO, 53p

**Andrews B.F., Campbell D.R., Thomas P.**, (2009). Effects of hypertonic magnesium-sulphate enemas on newborn and younglambs, Lancet 2, PP: 64-79.

**Andriamiradis L.**, (2005). Mémento technique de l'eau, 2ème édition, Degremont. P: 8.

**Arjen V.D.W.**, (2010). Connaissances des méthodes de captage des eaux souterraines: Souterraines aux forages manuels, Un manuel d'instruction pour les équipes de forage manuel sur l'hydrogéologie appliquée, l'équipement et le développement des forages, Fondation PRACTICA, Oosteind, P10.

**ANOFEL (Association Française des Enseignants de Parasitologie et Mycologie).** ,(2014). Paludisme, 9p.

**Aubry P.**, (2013). Choléra, Mise à jour le 03/10/2013, médecine tropicale, PP: 1-4.

**Aubry P., Gaüzere B.A.**, (2012). Les maladies liées à l'eau, Mise à jour le 20/04/2012, médecine tropicale, P 05.

**Ayad W. , Kahoul M.**, (2016). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits dans la région d'El-Harrouch (N.E -Algérie) [Assessment of physico-chemical and bacteriological quality of Well water in the region of El- Harrouch (N.E- Algeria)],10 p

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

### B

**Banton O, bangoy L.M., (1997).** Hydrogéologie, multi science environnementale des eaux souterraines, Sainte-Foy: PUQ/AUPELF. Ed. Québec 460p.

**Barrette É., (2006).** Pesticides et eau souterraine : Prévenir la contamination en milieu agricole, Direction des politiques en milieu terrestre, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 24p.

**Baumont S., Camard J.P., Lefranc A., Franconi A., (2005).** Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France, Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France, PP : 17-22.

**Belataf M., Boukrine F., Zellagui A., (2004).** Les maladies à transmission hydrique : Choléra, Fièvre typhoïde, Shigellose, Amibiase, Hépatites virales à transmission féco-orale, Edit, PP : 148-150.

**Benamar N., mouadiah 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.

**Benmaïd A., (2013).** La sécurité liée à l'eau : gestion des risques et arbitrages, Commissariat général au développement durable, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, études & documents, N° 100, 40p

**Bennana M., (2013).** Étude de la pollution de l'eau et du littoral du lac de Hassi ben Abdallah, Master académique, Université KasdiMarbah, Ouargla, 46p

**Bitton G., (1999).** Wastewater Microbiology. John Wiley & Sons, 578 p.

**Boeglin J.C., (2000).** Contrôle des eaux douces et de consommation humaine. Ed. Techniques de l'ingénieur, 24 p.

**Boeglin J.C., (2009).** Propriétés des eaux naturelles, Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1, 110p.

**Bosca C., (2002).** Groundwater law and administration of sustainable development, Mediterranean Magazine, Science Training and Technology, N° 2, PP : 13-17.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Boussinesq M., (1997).** L'onchocercose humaine en Afrique, Médecine Tropicale 1997, Vol 57, N°4, PP : 389

**Bouziati M., (2000).** L'eau de la pénurie aux maladies, Edition ibn khaldoun, 247p.

**Bremaude C., Claisse J.R., Leulier F., Thibault J., Ulrich E., (2006).** Alimentation, santé, qualité de l'environnement et du cadre de vie en milieu rurale, Edition Educagri, Dijon, France, PP : 220-221

**Briere F.G., (2000).** Distribution et collecte des eaux, 2ème édition : École Polytechnique de Montréal, PP : 299-300

### C

**Campos C., (2008).** New perspectives on microbiological water control for wastewaterreuse, Desalination, N° 218, PP : 34-42.

**Capizzi S., Schwartzbrod J., (1998).** Helminth eggs concentration in wastewater: Influence of rainwater, Water Sciences and Technology, N°38, PP : 77-82.

**Chaker H. K., Slimani A., (2014).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux d'abreuvements des ruminants dans la zone semi aride d'Oum El Bouaghi : Nord-est de l'Algérie, Institut des sciences agronomiques, université d'El Tarf, Algérie, 10p.

**Chekroud H., (2007).** Etude de la pollution des eaux de la plaine Telezza due aux activités agricoles et commerciales, Mémoire de Magister, Université du 22 Aout 1955, Skikda, Algérie, 56p.

**Chevalier P., (2002).** Entérocoques et streptocoques fécaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 5 p.

**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, 4p

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**CEAEQ (Centre D'expertise En Analyse Environnementale Du Québec), (2000)** Recherche et dénombrement des coliformes fécaux; méthode par filtration sur membrane. Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec, 24 p.

**CEAEQ ( Centre D'expertise En Analyse Environnementale Du Québec), (2011).** Recherche et dénombrement des bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives: méthode par incorporation à la gélose, MA.700-BHA35 1.0, Rév.3, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 15 p.

**Chippaux J.P., Houssier S, Gross P, Bouvier C, Brissaud F.,(2002).** Etude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger. Bull. Soc. Pathol. Exot, 95(2): 119-223.

**Collin J.J., (2004).** Les eaux souterraines : Connaissance et gestion, HERMANN, Editeurs des sciences et des arts, paris, PP: 27-49.

### D

**Defranceschi M., (1996).** L'eau dans tous ses états. Edition: Ellipses. P: 61.

**Dégbey C., Makoutodé M., Ouendo E.M., Brouwer C.,(2010).** Pollution physico-chimique et microbiologique de l'eau des puits dans la Commune d'Abomey-Calavi au Bénin en 2009. Int. J. Biol. Chem. Sci.,4(6): 2257-2271.

**Demdoug A., (2010).** Etude hydrogéochimique et impact de la pollution sur les eaux de la région d'el Eulmat, Thèse de Doctorat.Faculté des Sciences de la Terre, Université MentouriConstantine, 205p

**Desjardins R., (1997).** Le traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de  
Differentiation between Streptococcus gallolyticus strains of human clinical and veterinary origins and Streptococcus bovis from the intestinal tracts of ruminants. Journal of ClinicalMicrobiology, 38: 3520-3523.

**Devriese., (1998)** Differentiation between Streptococcus gallolyticus strains of human clinical and veterinary origins and Streptococcus bovis from the intestinal tracts of ruminants. Journal of ClinicalMicrobiology, 38: 3520-3523

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Dib I., (2009).** 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 enhydraulique, construction hydro-technique et environnement, faculté des sciences del'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, 127 p

**Djuikom E., Temgoua E., Jugnia L., Nola M., Baane M.,(2009).** Pollution bactériologique des puits d'eau utilisés par les populations dans la Communauté Urbaine de Douala Cameroun. Int. J. Biol. Chem. Sci., 3(5):967-978.

**Dovonou F.E.,(2012).** Diagnostic qualitatif et environnemental de l'aquifère superficiel du champ de captage intensif de Godomey au Bénin (Afrique de l'Ouest) : éléments pour un plan d'actions stratégiques de protection des ressources en eau souterraineexploitees .Thèse de Doctorat. Université d'Abomey, Bénin, p.143.

### E

**Edberg S.C, E.W Rice, R.J Karlin et M.J Allen., (2000),** Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection. Journal of AppliedMicrobiology, 88: 106S-116S.

**Ekodeck G.E., Dupre B.,( 2009).** Etude des facteurs de pollution des ressources en eau en milieu urbain : cas de Bafoussam (Ouest-Cameroun). Actes du colloque international sur le thème « changements climatiques et évaluation environnementale », Niamey (Niger) du 26 au 29 Mai 2009, p. 27.

**El Haissoufi H., Berrada S., Merzouki M., Aabouch M., Bennani L., Benlemlih M .,(2011).** Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès, Maroc, Rev. Microbiol. Ind. San et Environn, Vol 5,N°1, PP: 37-68.

**Emand Barres A.L., Roux J.C., (1999).** Périmètre de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine ; Guide méthodologique et réglementaire, Edition BRGM, manuels et méthodes n°33, 2ème édition, P19.

**Er-Raioui H., Bouzid S., Khannous S., Zouag M.A. ,(2011).** Contamination des eaux souterraines par le lixiviat des décharges publiques: Cas de la nappe phréatique

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

R'Mel (Province de Larache - Maroc Nord-Occidental). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*,5(3): 1118-1134.

### F

**Farrow, J.A.E. ., (1984)** Taxonomic studies of *S. bovis* and *S. equinus*: description of *S. alactolyticus* sp. no. and *S. saccharolyticus* sp. nov. *Systematic and Applied Microbiology*, 5: 467-482.

**Faurie C, Medori P, Ferra C., (2003).** *Ecologie: Approche scientifique et pratique*, 5<sup>ème</sup> Edition, Lavoisier doc et tec, Paris, 312p.

**Festy B., Hartemann P., Ledrans M., Levallois P., Payment P., Tricard D., (2003).** *Qualité de l'eau*, In : *Environnement et santé publique, fondements et pratiques*, Tec & Doc, Paris, PP : 333-368.

**Figarella J., Leyral G., (2002).** *Analyse des eaux: Aspects réglementaires et techniques*. Ed. Scérén CRDP d'Aquitaine, Paris, 360 p.

**François A., (2008).** *L'eau et ses enjeux*, Edition de Boeck, P134.

### G

**Gantzer C., Lucena F., Schwartzbrod L., Jofre J., (1998).** Indicateurs de contamination virale du milieu hydrique: mythe ou réalité, *Virologie 2*, PP : 117-120.

**Gaujour D., (1995).** *La pollution des milieux aquatiques : Aide mémoire*. 2<sup>ème</sup> édition, Lavoisier, P49.

**Ghazali D.1., Zaid A., (2013).** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source AIN SALAMA-JERRI (région de MEKNES –MAROC), *Larhyss Journal*, N° 12, Janvier 2013, PP : 25-36.

**Godfrey S., Reed B., (2013).** *Nettoyage et réhabilitation des puits, fiches techniques : eau, hygiène, et assainissement en situation d'urgence*, Organisation mondiale de la santé OMS, Genève, Suisse, 15p.

**Gouaidia L., (2008).** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

de Meskiana nord-est Algérien, Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 131p

**Gouvernement du Québec., (2004).** Etude du risque de gastro-entérite chez les familles utilisant l'eau d'un puits domestique, Direction risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Institut national de santé publique, Québec, p 08

**Gleeson C ., N. Gray., (1997)** The coliform index and waterborne disease. E & FN Spon, 194 p.

**Guiraud J .,Galzy P., (1980).** Les Bactéries (63-92). In : L'analyse microbiologique dans les industries alimentaires.-Paris : Les éditions de l'Usine nouvelle.-240p.

## H

**Hachemaoui B., (2014)** Qualité physico-chimique de l'eau dessaléeettraitee par la station de dessalementde l'eau de mer de Souk Tlata.Mémoire de master.Universite Abou BekrBelkaid Tlemcen.91pages

**Hade A., (2007).** Nos lacs : Les connaitre pour mieux les protéger, Edition Fides, Bibliothèque national du Québec, Canada, 27p.

**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.

**Hamed M., Guettache A., bouamer L.,(2012)** :Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du Barrage Djorf-Torba Bechar. Université de Bechar.

**Hancock L.E et M.S Gilmore., (2000)** .Pathogenicity of entorococci. Dans: Fischetti, VA, RP Novick, JJ Ferretti, DA Portnoy et JI Rood, édit., Gram positive pathogens. American Society for Microbiology, pp.:251-258.

**Hartemann P., (2004).** Contamination des eaux en milieu professionnel, EMC-Toxicologie Pathologie, Elsevier, PP : 63–78.

**Haslay, C. et H. Leclerc .,(1993)** Microbiologie des eaux d'alimentation. Lavoisier Tec & Doc, Paris, 495 p.

**Henaut A., (2011).** Pollution de l'air et de l'eau, Les dossiers de science etpolitiques publiques, université Pierre et Marie Curie, Paris, P 02

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Henri L., (2012).** L'eau Potable, Édition réimprimée, 190 p.

**Heriarivony S.C, razanamparany B, rakotomalala J.E .,(2015).** caractère physico-chimique et bactériologique de l'eau de consommation ( puits de la commune rurale d'antanisotsy ,région vocainankaratra , Madagascar ,07-17 p.

**Hordé P., (2014).** Gastro-entérite aiguë : Symptômes et traitement, santé médecine, P19.

**Houillier P., blanchard A., pailard M., (2004).** Métabolisme du potassium.

*Elsevier SAS.* 1 : 138–157

### I

**ISO ( International Organization for Standardization), (1994).** Qualité de l'eau. Dosage des nitrates. Méthode spectrométrique avec l'acide sulfosalicylique. NA 1656, ISO 7890/3, Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 4 p.

### J

**Jamai N., Kouider A. F., Halilem F., (2010).** La fièvre typhoïde, mémoire de fin d'étude, Université Abou Bar Belkaïed, Faculté de médecine, Département de Pharmacie, Tlemcen, 23p.

**Jourdan B., Piantone P., Lerouge C., Guyonnet D.,( 2005).** Atténuation des métaux à l'aval de sites de stockage de déchets BRGM/RP 54417, p. 110.

**JORA (Journal Officiel de la République Algérienne) ,(2011).** Décret exécutif n° 11-125 du 17 RabieEthani 1432 correspondant au 22 Mars 2011 relatif, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers: Bir-Mourad Raïs, Alger, Algérie, PP: 7-25.

**Julien B., (2007)** Changement global et cycle hydrologique : Une étude de régionalisation sur la France. Thèse de doctorat. Ecole doctorale « Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace ». Université Paul Sabatier - Toulouse Iii. Pages 278.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

### K

**Kettab A., (1992).** Traitement des eaux, Les eaux potables, Edition: Office des Publications Universitaires, Alger, PP : 111-123.

**Kirkpatrick k., Fleming E ., (2008).** La qualité de l'eau, ROSS TECH 07/47, 12p

**Kouamé K.V., Houéno P.,( 2010).** Evaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés quatre communes d'Abidjan (Côte d'Ivoire) : Koumassi, Marcory, Port-bouet et Treichville. Int. J. Biol. Chem. Sci., 4(2): 289-307

### L

**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, TiziOuzou, 101 p.

**Lagnika M., Ibikounle M., Montcho J.P.C., Wotto V.D., Sakiti N.G., (2014),** Caractéristiques physico-chimique de l'eau de puits dans la commune de Pobè, Bénin. Journal of Applied Biosciences, 79: 6887-6897.

### M

**Madigan M., Martinko J., (2007).** Biologie des microorganismes, 11 ème édition, Pearson. éducation, Paris, PP : 918-932.

**Maiga A., (2005)** .Thèse de Doctorat Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière, Bamako (Mali), p: 77

**Masschelein W.J., (1996).** Processus unitaire du traitement de l'eau potable, Edition CEBE, DOC spilliége, PP : 181-345.

**Mbawala A. Abdou., Ngassoum M.B.,( 2010).**Evaluation de la pollution physico-chimique et microbienne des eaux de puits de Dang-Ngaoundéré (Cameroun). Int. J. Biol. Chem. Sci., 4(6): 1962-1975.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**M.D.D.E.F.P. (2013).** Ministère du Développement Durable, De l'Environnement de la faune et des Parcs Critères de qualité de l'eau de surface, 3<sup>ème</sup> Edition, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 510p

**Menan T. G. Oria, M raffin J. ,(1984).** Anatomie, physiologie, hygiène, 3<sup>ème</sup> élément de Médecine Tropicale, Janvier 1984.

**Mercier J., (2000).** Le grand livre de l'eau, Edition: La reconnaissance du livre, Collecte art de vivre, P 91.

**Merzoug D., Khiari A ., Aït Boughrous A., Boutin C., (2010).** Faune aquatique et qualité de l'eau des puits et sources de la région d'Oum-El-Bouaghi (Nord-Est algérien), Hydroécol Applied, PP: 77–97.

**Miquel G., (2003).** Office Parlementaire d'évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques. Rapport sur la qualité de l'eau et l'assainissement en France. . Rapport N°215.Tome I. Sénat.

**Molinie L.,( 2009).** Dispositifs rustiques d'alimentation et de traitement de l'eau potable pour des services de petites tailles en régions défavorisées. Synthèse Technique. Agro Paris Tech – Engref, p. 28.

**Montiel A .,(2004).** Contrôle et préservation de la qualité microbiologique traitement de désinfection. Revue Française des Laboratoires, juin 2004, N ° 364

**Mougeot G., (2001).** Infections à des protozoaires et environnement, Revue Française des Laboratoires, 336, PP : 25-31.

**Mourey V., Vernoux J.F., (2000).** Les risques pesant sur les nappes d'eau souterraine d'Ile-de-France, Annales des mines, PP : 32-40.

**Mpakam H.G., Kouam K.G.R., Tamo T., Maire E., Boeglin J.L., Ekodeck G.E., Dupre B.,( 2009).** Etude des facteurs de pollution des ressources en eau en milieu urbain : cas de Bafoussam (Ouest-Cameroun). Actes du colloque international sur le thème « changements climatiques et évaluation environnementale », Niamey (Niger) du 26 au 29 Mai 2009, p. 27.

**Muriel H., (2010).** Suivi de la qualité de l'eau produite et distribuée : Elaborer et mettre en œuvre un plan des sécurités sanitaire des eaux, Direction des affaires sanitaires et sociales de la nouvelle Calédonie, Santé et environnement, NOUMEA cedex, P 02.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

### N

**Ndounla J., (2007).** Caractéristiques biologiques et physico-chimiques de l'eau de consommation et influence du mode d'approvisionnement sur la santé des populations à Dschang. Thèse de Master. Dpt de Biologie Animale, Univ de Dschang-Cameroun. 122p.

**Nebel J.B., wright T.R., (1996).** Environmental Science: The Way the World Works. Prentice Hall.

**Nouayti N., Khattach D., Hilali M., (2015).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc), Journal de Matériel et Science de l'Environnement, Vol 6, N° 4, PP : 1068-1081

### O

**Olivaux Y., (2007).** La nature de l'eau. Ed. Marco Pietteur. France. 563 p.

**Olivieri V .P., (1982)** Bacterial indicators of pollution. Dans: Pipes, WO, edit., Bacterial indicators of pollution, CRC Press, pp.:21-41.

**OMS., (1994).** Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 1, recommandations, Organisation mondiale de la Santé, 2e édition, 202 p.

**OMS., (2000),** Directives de la qualité pour l'eau de boisson, 2ème édition. Critères d'hygiène et documentation à l'appui. 1050p.

**OMS., (2003).** Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva. World Health Organisation

**OMS., (2004).** Directives de qualité pour l'eau de boisson. 3ème édition, Vol 1. Directives, Ed. Organisation mondiale de la sante, Genève, 110 p

**OMS., (2006).** Guidelines for Drinking-water Quality, first addendum to third edition, Volume 1 Recommendations. Geneva. *World Health Organisation*

**OMS., (2012).** Prévention et lutte contre l'hépatite virale, Organisation mondiale de la Santé, Genève, P04

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**OMS.,(2013).** Mesurer les niveaux de chlore dans les systèmes d'approvisionnement en eau, fiches techniques eau, hygiène, et assainissement en situation d'urgence, Genève, P11.

**Ossey B. Y., véronique M ., arsène S .,Marie J. A .,ohou ., félix., valérie G, abiba S .T., kouamé V .K et pascal H .,(2010) ;** Evaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés de quatre communes d'Abidjan (Côte d'Ivoire) :Koumassi, Marcory, Port-Bouet et Treichville ,p19

**Ouandaogo., (2008).** Ressources en eau souterraine du centre urbain de Ouagadougou au Burkina Faso, qualité et vulnérabilité.

### P

**Pourcher A .M ., L.A Devriese, J.F Hernandez et J.M Delattre., (1991)** Enumeration by a miniaturized method of Escherichia coli, Streptococcus bovis and enterococci as indicators of the origin of faecal pollution of waters. Journal of Applied Bacteriology, 70: 525-530.

**Piar Roux R., (2002).** Le choléra : épidémiologie et transmission, Expérience tirée de plusieurs interventions humanitaires réalisées en Afrique, dans l'Océan Indien et en Amérique Centrale, Bull Soc PatholExot, Vol 95, N°5, PP : 345-350.

### Q

**Queneau P., Hubert J., (2009).** Place des eaux minérales dans l'alimentation, Rapport de l'académie national de médecine, Société française de l'hydrologie et climatologie médicale, France, PP : 175-220.

### R

**Ramsar., (2010).** Gestion des eaux souterraines ; Lignes directrices pour la gestion des eaux souterraines en vue de maintenir les caractéristiques écologiques des zones humides,4ème édition, Switzerland, PP : 12-13

**Renald M., (2003).** Le puits, Révision de la numérotation des règlements, développement durable, environnement et parcs, Québec, 52p.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Robertson, W., (1995).** Utilités et limites des indicateurs microbiologiques de la qualité de l'eau potable. Dans Air intérieur et Eau potable, Pierre Lajoie et Patrick Levallois (dir.), Presses de l'Université Laval (p. 179-193).

**Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., (2005).** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.

**Rodier J., Legube B., Merlet N., (2009).** L'analyse de l'eau, 9<sup>ème</sup> édition, Ed. Dunod, 1579p.

**Remini B., (2010).** La problématique de l'eau en Algérie, Larhyss Journal, N° 08, PP : 27-46.

### S

**Saadali B., (2007).** Etude de la qualité des eaux de sources issues du massif dunaire de Bouteldja (Algérie extrême Nord oriental), Mémoire de magister en géologie, Géosciences, faculté des sciences de la terre, département de géologie, Université Badji Mokhtar-Annaba, 110p.

**Saint-laurent V., (2000).**VOLET SANTÉ. L'eau potable une histoire de goût. Supplément du magazine Envirotech« Reflets du Saint- Laurent - La parole aux riverains. Ministère des Approvisionnements et Services Canada », numéro de catalogue H21-132/1996F, 1996

**Samake H., (2002).** Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S. des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001. Thèse de Doctorat d'état en pharmacie. Université de Bamako, Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontologie Bamako, 73 p.

**Santé Canada ,(2006)** Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs. Les bactéries pathogènes d'origine hydrique : Micro-organismes préoccupants courants et émergents.

**Savary P. ,(2010).** Guide des analyses de la qualité de l'eau. Ed. Territorial Voiron. 261 p.

**Schwartzbrod L., (2000).** virus humains et sante publique : conséquences de l'utilisation des eaux usées et des boues en agriculture, centre collaborateur OMS pour les microorganismes dans les eaux usées, Faculté de Pharmacie, Nancy, France, 292p.

**Servais P. Passerat J.,( 2009 )**Antimicrobial resistance of fecal bacteria in waters of the Seine river basin (France). Science of the Total Environment. 2009. 408: 365-372.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Spellman., frank R., (2008).**The Science of water: concepts and applications. 2nd Ed. CRC Press Taylor & Francis Group. USA. 417p

**Stämpfli N., (2007).** Fiche technique ; Puits d'infiltration, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Services régionaux, région du Québec, 4p

### T

**Thiria J., (2005).** Gestion, nettoyage et sanitation des puits en situation de catastrophe, Direction des Opérations Internationales (PIROI), 5p

**Trenberth K. E., Smith L., Qian T., Dai A., Fasullo J., (2006)** .Estimates of the global water budget and its annual cycle using observational and model data, J. Hydrometeor., GEWEX issue

### U

**US EPA ( United States Environmental Protection Agency), (2000)** National primary drinking water regulations: ground water rule; proposed rules. Federal Register (National Archives and Records Administration), May 10, 2000, pp.: 30 194- 30 274

### V

**Vandermeersch S. , (2006)** Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes. Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire -Université Libre de Bruxelles

**Verhille S .,(2013).** Les indicateurs microbiens dans l'évaluation de l'eau potable :interpréter les résultats de laboratoire et comprendre leur signification pour la santé publique.Centre de collaboration nationale en santé environnementale Janvier 2013

### Y

**Yapo O.B., Mambo V., Seka A., Ohou M. J. A., Konan F., Gouzile V., Tidou A.S., Yélognissè C.L.,( 2007).** Amélioration des conditions d'accès à une eau potable pour l'eau de boisson dans les milieux ruraux du Bénin: étude des pratiques locales. Maîtrise en sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal, p. 117

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

### Z

**Zerhouni J., Rhazi F., Aboukacem A.,( 2015).** Qualité et facteurs de risque de pollution des eaux souterraines périurbaines de la ville de SebaaAyouné (Meknes, Maroc). Larhyss Journal, 22: 91-107.

**Zougrana E.I., (2009).** La poliomyélite, 12 Mai 2009, 9p.

**Zunino C., (2007),** Mobilisation des eaux souterraines en zone de socle. Communication présentée au stage intensif de recyclage sur la « Problématique de la qualité des eaux souterraines et de surface » organisé par le CREPA, l'ULG et le Ministère de la Santé ; Parakou du 05 au 17 Février 2007.

# ANNEXES

## Annexe 01 : Modes opératoires des dosages des ions

### • Dosage des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %
- Ajouter 1 ml de Salicylate de Sodium.
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve à une température de 75-88 °C.  
(Ne pas surchauffer ni surcharger très longtemps) laisser refroidir.
- Reprendre le résidu avec 2 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pur laissé reposer 10 mn.
- Ajouter 15 ml d'eau distillée
- Ajouter 15 ml de Tartrate double de Sodium et de Potassium. **(ISO7890/3, 1994).**

### • Dosage des sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.
- Ajouter 5 ml de la Solution Stabilisante.
- Ajouter 2 ml de Chlorure de Baryum.
- Agiter énergiquement pendant 1 mn.
- Lire au spectrophotomètre.

Expression des résultats :

$[\text{SO}_4^{2-}] \text{ mg/l} = \text{la valeur lue au spectrophotomètre} * \text{la dilution. (Ladjel, 2009)}$

### • Dosage des chlorures

Le blanc :

Prendre 100 ml d'eau distillée + 1 ml de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ . Puis titrer avec le l' $\text{AgNO}_3$  à 0.02 mole/l.

Le titre :

Prendre 10 ml de NaCl à 0.02 mole/l +90 ml d'eau distillée + 1 ml de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ . Puis titrer avec le l' $\text{AgNO}_3$  à 0.02 mole/l.

L'échantillon :

Prendre 100 ml d'échantillon + 1 ml de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ . Puis titrer avec le l' $\text{AgNO}_3$  à 0.02 mole/l.

Le tirage se fait jusqu'au virage rouge brique

Calcul :  $[\text{Cl}^-] = (\text{V}_E - \text{V}_B) * \text{C} * \text{F} / \text{PE}$

VE : Volume de l' $\text{AgNO}_3$  utilisé pour l'échantillon.

## ANNEXES

---

VB : Volume de l'AgNO<sub>3</sub> utilisé pour le blanc.

PE : la prise d'essai 100 ml

C : La concentration réelle de l'AgNO<sub>3</sub> en mole/l ( $C = 0.02 * \text{Titre} / \text{Titre} = 10 / V_T$ )

F : La masse molaire du Chlore  $M = 35.5$  g/mole. (**Ladjel, 2009**)

### • Dosage du Ca<sup>2+</sup> et du Mg<sup>2+</sup>

Prendre 50 ml d'eau à analyser. Ajouter 3 ml de NaOH puis 3 gouttes de Bleu d'Eriochrome. Verser la quantité nécessaire de solution d'EDTA pour obtenir le virage au violet. Noter V<sub>1</sub>. Ajouter à la même solution 3.2 ml d'HCl 1 N et agiter durant 1 mn jusqu'à parfaite dissolution du précipité magnésien. Verser 5 ml de la solution tampon et 1 goutte de solution de Noir d'Eriochrome. Bien mélanger. Introduire la quantité de solution d'EDTA nécessaire au virage au bleu. Noter V<sub>2</sub>. (pour les réactifs voir annexe 6)

Expression des résultats : Pour une prise d'essai de 50 ml

\*La teneur en Calcium est égale à

$$\text{Ca (mg/l)} = (V_1 * 0.4008 * 1000) / 50$$

\*La teneur en Magnésium est égale à

$$\text{Mg (mg/l)} = (V_2 * 0.243 * 1000) / 50$$

\*La dureté totale est égale à

$$\text{CaCO}_3(\text{mg/l}) = [(V_1 + V_2) * 1000] / 50. \text{ (Rodier et al., 2005).}$$

### Dosage du titrage alcalimétrique complet (TAC)

Le blanc :

Prendre 100 ml d'eau distillée + 3 gts de Méthyle orange. Puis titrer avec le H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (N/50).

Le titre :

Prendre 10 ml de NaOH (N/50) + 90 ml d'eau distillée + 3 gts de Méthyle orange. Puis titrer avec le H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (N/50)

L'échantillon :

Prendre 100 ml de l'échantillon + 3 gts de Méthyle orange. Puis titrer avec le H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (N/50).

**Le tirage se fait jusqu'au virage jaune**

$$\text{TAC} = (V_e - V_B) * 10 / V_t * f$$

V<sub>e</sub> : volume échantillon

V<sub>b</sub> : volume blanc

V<sub>t</sub> : volume titre

F : facteur de dilution. (**Ladjel, 2009**)

## ANNEXES

---

### **Annexe 02 : Composition des milieux de culture utilisés**

- **TGEA ( GELOSE TRYPTONE GLUCOSE EXTRACT)**

|  |         |
|--|---------|
| Gélose à l'extrait de levure tryptone..... | 6,00 g  |
| Extrait de levure déshydraté.....          | 3,00 g  |
| Agar.....                                  | 15,00 g |
| Eau distillée.....                         | 1000 ml |

- **Gélose *Salmonella-Shigella***

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| Peptone:.....               | 5,0 g  |
| Extrait de viande:.....     | 5,0 g  |
| Lactose:.....               | 10,0 g |
| Citrate de sodium:.....     | 10,0 g |
| Citrate de fer iii:.....    | 1,0 g  |
| Sels biliaires:.....        | 8,5 g  |
| Vert brillant:.....         | 3,3 mg |
| Rouge neutre:.....          | 25 mg  |
| Thiosulfate de sodium:..... | 8,5 g  |
| Agar:.....                  | 12,0 g |

- **BCPL (bouillon lactosé au BCP )**

**a) Double concentration (D/C)**

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| Peptone.....                   | 10 g    |
| Lactose.....                   | 10 g    |
| Extrait de viande de bœuf..... | 06 g    |
| Pourpre de bromocrésol.....    | 0,06 g  |
| Eau distillée.....             | 1000 ml |

## ANNEXES

---

### b) Simple concentration (S/C)

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| Peptone.....                   | 05 g    |
| Lactose.....                   | 05 g    |
| Extrait de viande de bœuf..... | 03 g    |
| Pourpre de bromocrésol.....    | 0,03 g  |
| Eau distillée.....             | 1000 ml |

#### • Bouillon Schubert

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| Tryptophane.....          | 0,2 g  |
| Acide glutamique.....     | 0,2 g  |
| Sulfate de magnésium..... | 0,7 g  |
| Sulfate d'ammonium.....   | 0,4 g  |
| Citrate de sodium.....    | 0,5 g  |
| Chlorure de sodium.....   | 0, 2 g |
| Tryptone Oxoid.....       | 10 g   |

#### • Bouillon Rothe

##### a) Double concentration (S/C)

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| Tryptone.....                  | 40 g    |
| Glucose.....                   | 10 g    |
| Chlorure de sodium.....        | 10 g    |
| Phosphate mono potassique..... | 5,4 g   |
| Phosphate bi potassique.....   | 5,4 g   |
| Azide de sodium.....           | 0,4 g   |
| Eau distillée.....             | 1000 ml |

##### b) Simple concentration (S/C)

|               |      |
|---------------|------|
| Tryptone..... | 20 g |
| Glucose.....  | 05 g |

## ANNEXES

---

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| Chlorure de sodium.....        | 05 g    |
| Phosphate mono potassique..... | 2,7 g   |
| Phosphate bi potassique.....   | 2,7 g   |
| Azide de sodium.....           | 0,2 g   |
| Eau distillée.....             | 1000 ml |

- **Bouillon Eva Litsky**

Ingrédients en grammes pour un litre d'eau distillée ou déminéralisée.

|   |        |
|---|--------|
| Peptone .....                           | 20,0 g |
| Glucose .....                           | 5,0 g  |
| Azide .....                             | 0,2 g  |
| Ethyl-violet .....                      | 0,5 g  |
| Nacl .....                              | 5,0 g  |
| Hydrogénophosphate de potassium .....   | 2,7 g  |
| Dihydrogénophosphate de potassium ..... | 2,7 g. |

- **Bouillon Sélénite-Cystéiné**

|                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| Tryptone.....                    | 5,0 g   |
| Lactose .....                    | 4,0 g   |
| Phosphate disodique .....        | 10,0 g  |
| Hydrogénosélénite de sodium..... | 4,0 g   |
| L-cystine.....                   | 10,0 mg |
| Eau distillée.....               | 1000 ml |

## ANNEXES

### Annexe 03 : La table de Mac Grady

| Nombre de tubes donnant une réaction positive |                   |                    | N,P,P dans 100 ml | Limite de confiance à 95 % |                   |
|---|-------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| 03 tubes de 10 ml                             | 03 tubes de 01 ml | 03 tubes de 0,1 ml |                   | Limite inférieure          | Limite supérieure |
| 0   | 0                 | 1                  | 3                 | < 0,5                      | 9                 |
| 0   | 1                 | 0                  | 3                 | < 0,5                      | 13                |
| 1   | 0                 | 0                  | 4                 | < 0,5                      | 20                |
| 1   | 0                 | 1                  | 7                 | 1                          | 21                |
| 1   | 1                 | 0                  | 7                 | 3                          | 23                |
| 1   | 1                 | 1                  | 11                | 3                          | 36                |
| 1   | 2                 | 0                  | 11                | 3                          | 36                |
| 2   | 0                 | 0                  | 9                 | 1                          | 36                |
| 2   | 0                 | 1                  | 14                | 3                          | 37                |
| 2   | 1                 | 0                  | 15                | 3                          | 44                |
| 2   | 1                 | 1                  | 20                | 7                          | 89                |
| 2   | 2                 | 0                  | 21                | 4                          | 47                |
| 2   | 2                 | 1                  | 28                | 10                         | 149               |
| 3   | 0                 | 0                  | 23                | 4                          | 120               |
| 3   | 0                 | 1                  | 39                | 7                          | 130               |
| 3   | 0                 | 2                  | 64                | 15                         | 379               |
| 3   | 1                 | 0                  | 43                | 7                          | 210               |
| 3   | 1                 | 1                  | 75                | 14                         | 230               |
| 3   | 1                 | 2                  | 120               | 30                         | 380               |
| 3   | 2                 | 0                  | 93                | 15                         | 380               |
| 3   | 2                 | 1                  | 150               | 30                         | 440               |
| 3   | 2                 | 2                  | 210               | 35                         | 470               |
| 3   | 3                 | 0                  | 240               | 36                         | 1300              |
| 3   | 3                 | 1                  | 460               | 71                         | 2400              |
| 3   | 3                 | 2                  | 1100              | 150                        | 4800              |
| 3   | 3                 | 3                  | 1400              | /                          | /                 |

## ANNEXES

---

### **Annexe 04 : Réactifs**

#### **Solution d'EDTA 0.02 N**

Dissoudre 3.721 g d'EDTA di sodique (cristallisé 2 H<sub>2</sub>O) dans 1000 ml d'Eau distillée.

1 ml d'EDTA 0.02N correspond à 0.4008 mg de Calcium, 1 mg de Carbonate de Calcium et 0.243 mg de Magnésium.

#### **Solution de Bleu d'Eriochrome :**

Bleu d'Eriochrome.....100 mg  
Eau distillée.....100 ml  
Chlorhydrate de d'hydroxylamine.....0.25 g

#### **Solution de Methyl Orange**

Methyl Orange.....0.5 g  
Eau distillée.....100 ml

#### **Solution tampon**

Mettre dans 400 ml d'Eau distillée + 55 ml d'HCl concentré. Ajouter 310 ml de 2-Aminoéthanol, 100 mg d'EDTA magnésien. Compléter à 1000 ml d'Eau distillée.

#### **Réactif de Kovacs**

Paradiméthylaminobenzaldehyde.....5 g  
Alcool iso-amylque.....75 ml  
Acide chlorhydrique.....25 ml

## RESUMES

---

### **Résumé :**

L'objectif de notre étude était d'évaluer la qualité des eaux de dix puits, à usage domestique, de la région de Khenchela. La caractérisation physico-chimique a montré des eaux dures (50 à 58°F) avec une minéralisation élevée (1500 à 2321 mg/l) pour le 40% des échantillons. Les eaux du deuxième puits étaient riches en nitrates (52.54 mg/l). Les tests bactériologiques reflètent une contamination fécale pour le premier échantillon, avec la présence d'*E.coli*. Le taux des coliformes totaux a dépassé les normes pour le deuxième puits (11 germes/100ml). Une absence totale des streptocoques fécaux, des *Clostridium* sulfite-réducteurs et des salmonelles a été enregistrée pour les dix échantillons. Ces résultats sont inquiétants vu l'usage des eaux de ces puits pour la boisson.

**Mots clés :** eau potable, puits, qualité, physico-chimique, microbiologique, Khenchela.

## RESUMES

---

### **Abstract :**

The objective of our study was to evaluate the water quality of ten wells, for domestic use, in the region of Khenchela. Physico-chemical characterization showed hard water (50 to 58 °F) with high mineralization (1500 to 2321 mg/l) for 40% of the samples. The waters of the second well were rich in nitrates (52.54 mg/l). The bacteriological tests reflect a faecal contamination for the first sample, with the presence of *E.coli*. Total coliform levels exceeded the standards for the second well (11 germs/100ml). Total absence of faecal streptococci, *Clostridium* sulphito-reducers and *Salmonella* was recorded for the ten samples. These results are worrying given the use of water from these wells for drinking.

**Key words:** drinking water, wells, quality, physico-chemical, microbiological, Khenchela.

## RESUMES

### مخلص :

كان هدف دراستنا هو تقييم جودة مياه عشرة آبار للاستخدام المنزلي في منطقة خنشلة. أظهر التوصيف الفيزيائي الكيميائي مياه صلبة (50 إلى 58 درجة فرنسية) مع تمعدن مرتفع (1500 إلى 2321 ملغ / لتر) لـ 40% من العينات. كانت مياه البئر الثاني غنية بالنترات (52.54 ملغم / لتر). وتعكس الاختبارات البكتريولوجية تلوثاً بالفضلات للعيونة الأولى ، مع وجود اشيريشيا كولي. تجاوزت مستويات الكوليفورم الكلي المعايير في البئر الثاني (11 جرثومة / 100 ميلي لتر). تم تسجيل الغياب الكلي للمكورات العقدية ، الكلوستريديوم المرجع للسلفات والسالمونيلا في العينات العشرة. هذه النتائج مثيرة للقلق نظرا لاستخدام مياه هذه الآبار للشرب.

الكلمات المفتاحية : مياه الشرب ، الآبار ، الجودة ، الفيزيائية الكيميائية ، الميكروبيولوجية ، خنشلة.

**M<sup>me</sup> LAGHA Imane et M<sup>me</sup> ARROUF Ouissem**

*Diplôme: Master*

**Thème : Évaluation de la qualité microbiologique et physico-chimique des eaux de puits à usage domestique de la région de Khenchela**

### ***Résumé***

L'objectif de notre étude était d'évaluer la qualité des eaux de dix puits, à usage domestique, de la région de Khenchela. La caractérisation physico-chimique a montré des eaux dures (50 à 58°F) avec une minéralisation élevée (1500 à 2321 mg/l) pour le 40% des échantillons. Les eaux du deuxième puits étaient riches en nitrates (52.54 mg/l). Les tests bactériologiques reflètent une contamination fécale pour le premier échantillon, avec la présence d'*E.coli*. Le taux des coliformes totaux a dépassé les normes pour le deuxième puits (11 germes/100ml). Une absence totale des streptocoques fécaux, des *Clostridium* sulfito-réducteurs et des salmonelles a été enregistrée pour les dix échantillons. Ces résultats sont inquiétants vu l'usage des eaux de ces puits pour la boisson.

**Mots clés** : eau potable, puits, qualité, physico-chimique, microbiologique, Khenchela.

### ***Abstract :***

The objective of our study was to evaluate the water quality of ten wells, for domestic use, in the region of Khenchela. Physico-chemical characterization showed hard water (50 to 58 °F) with high mineralization (1500 to 2321 mg/l) for 40% of the samples. The waters of the second well were rich in nitrates (52.54 mg/l). The bacteriological tests reflect a faecal contamination for the first sample, with the presence of *E.coli*. Total coliform levels exceeded the standards for the second well (11 germs/100ml). Total absence of faecal streptococci, *Clostridium* sulphito-reducers and *Salmonella* was recorded for the ten samples. These results are worrying given the use of water from these wells for drinking

**Key words**: drinking water, wells, quality, physico-chemical, microbiological, Khenchela.

### **Devant le jury:**

Présidente : **M<sup>me</sup> KRIM Meriem** (MCB) Univ. Abbès Laghrour - Khenchela

Promotrice : **M<sup>me</sup> YAKHLEF Wahiba** (MAA) Univ. Abbès Laghrour - Khenchela

Examinatrice : **M<sup>me</sup> NAILI Oumaima** (MCB) Univ. Abbès Laghrour - Khenchela