

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
جامعة باجي مختار - عنابة  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA



FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE  
LABORATOIRE DE RECHERCHE EN BIOCHIMIE ET MICROBIOLOGIE  
APPLIQUEES

**THÈSE**

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle LMD  
En MICROBIOLOGIE

Option: Microbiologie Appliquée

**THEME**

**EVALUATION DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET  
BACTERIOLOGIQUE DES EAUX SOUTERRAINES : CAS DES  
PUITS DE LA REGION  
D'EL-HARROUCH (WILAYA DE SKIKDA)**

Présenté par: AYAD Wissem

Directeur de thèse: Mr. KAHOUL Mohamed      Professeur      Université d'Annaba

Membres de Jury :

Président	Mr. BRANES Zidane	Professeur	Université d'Annaba
Examineur	Mr. MEZEDJRI Lyamine	Professeur	Université de Skikda
Examineur	Mr. MERAD Tarek	MCA	Université d'Annaba

2016/2017

# Dédicaces



*Au tout puissant Allâh  
A toi la louange, Ô la lumière des cieux ; de la terre et de ce  
qu'ils renferment. Gloire à toi de nous avoir assisté de ta  
lumière et en toute circonstance matin et soir.*

*Je tiens à dédier ce modeste travail à :*

- + Mes chers parents : Rachid et Noura.*
- + Mon grand frère : Housseem et Ma petite sœur: Nana.*
- + Ma grand-mère : Noussa.*
- + Les familles AYAD et SAIFI.*
- + Mes oncles et mes tantes.*
- + Mes amies, tout particulièrement :*

*Soumia Berrouk, Wafa Siouda, Kheira et khaoula Slama,  
Khaoula Ghenaiet, Amina Malek, Kelthoum, Souraya et  
khadidja, Nadjet, Souhila ... merci pour vos conseils et vos  
encouragements, mais aussi pour les bons moments qui ont  
contribué à rendre ces années inoubliables.*

*Je tiens à remercier le personnel du laboratoire d'analyse de  
la wilaya de Skikda de m'avoir aidé dans la partie  
expérimentale de mon travail en particulier ; Nassima et  
Fathiya, et également les techniciennes du bureau  
d'hygiène : Assia et Nawel,  
Merci.*

# Remerciements

  
*Thank You* **Remerciements** *Thank You* 

*Cette thèse vient de finaliser 4 ans de travail. Elle marque un terme à cette expérience professionnelle mais aussi personnelle qui n'aurait pas été réalisée sans le savoir et le soutien de nombreuses personnes. Je tiens ainsi à remercier en quelques lignes tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué à ce travail, en espérant n'oublier personne et il faut trouver les mots justes. Je vais essayer de faire de mon mieux.*

*Je remercie en premier lieu **ALLAH** le tout puissant pour toute la volonté et le courage qu'il m'a donné pour l'achèvement de cette thèse, il a été et sera toujours à côté de moi pour réussir à terminer n'importe quel travail.*

*La réalisation de ce travail n'aurait pu être menée à terme sans le support continu de mon encadreur **Pr. KAHOUL Mohamed**. Je désire lui adresser un remerciement tout particulier pour ses précieux commentaires et ses conseils pertinents qui m'ont grandement aidé tout au long des différentes étapes menant à l'élaboration de cette thèse.*

*Mon respect et reconnaissance sont adressés à **Monsieur BRANES Zidane** ; professeur et chef de département de Biochimie, qui ma fait l'honneur de présider le jury de soutenance.*

*J'exprime mes remerciements à **Monsieur MEZEDJRIE Lyamine** ; professeur à l'université de Skikda, qui m'a fait l'honneur d'examiner cette thèse.*

*Mes remerciements vont également à **Monsieur MERAD Tarek** ; maître de conférences A, à l'université d'Annaba, qui ma fait l'honneur de faire partie du jury de cette thèse en tant qu'examineur.*

*Je voudrais également remercier **Monsieur LADJAMA Ali** ; directeur de Laboratoire de Biochimie et Microbiologie Appliquée (L.B.M.A.), et tous mes enseignants au département de Biochimie de l'Université d'Annaba.*

*J'adresse mes sincères remerciements à **Monsieur MOKHBI Fateh** de m'avoir accueilli dans son laboratoire et pour la confiance et l'aide qu'il nous a accordé, ainsi que toute l'équipe du laboratoire d'ADE de Skikda pour l'accueil cordial. Je n'aurais pas pouvoir réaliser les expérimentations sans leurs aide.*

# Résumés

## RESUME

---

L'eau est une ressource naturelle précieuse et essentielle pour de multiples usages. Son utilisation des fins alimentaires ou d'hygiène nécessite une excellente qualité physico-chimique et microbiologique. Pour apprécier la qualité des eaux de puits destinées à la consommation humaine dans la région d'El-Harrouch qui est située au Nord-est de l'Algérie, un contrôle physico-chimique et bactériologique a été réalisé et a porté sur plusieurs échantillons d'eau prélevés au niveau de 25 puits appartenant à cette localité. Afin de suivre la variation saisonnière des différents paramètres, les prélèvements ont été réalisés pendant la saison sèche et la saison humide.

Les analyses ont été effectuées sur ces échantillons en mesurant les paramètres physico-chimiques suivants : La température, le pH, la conductivité électrique (CE), la turbidité, la dureté totale, le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), l'oxygène dissous, les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), les matières en suspension (MES), et en recherchant éventuellement les germes indésirables : Germes totaux, Coliformes totaux, Coliformes fécaux, Streptocoques fécaux et *Clostridium* sulfito-réducteurs.

Les résultats des analyses effectuées ont fait ressortir que les eaux d'un grand nombre de puits sont de mauvaise qualité physico-chimique et bactériologique. Les résultats des paramètres physico-chimiques obtenus ont montré que les eaux analysées sont très dures avec une augmentation des teneurs de calcium, magnésium, chlorures, nitrites et une diminution de conductivité électrique particulièrement en période humide. Sur le plan bactériologique, l'analyse comparée des distributions en deux périodes d'étude montre que le maximum des germes pendant la saison sèche est supérieur à celui de la saison humide. Dans l'ensemble le nombre des germes diminue légèrement en saison humide. Cette pollution constitue sans doute un danger non négligeable à la santé des populations consommatrices de ces eaux.

**Mots clés** : Eau, Puits, Qualité, Physico-chimique, Bactériologique, El- Harrouch.

## ABSTRACT

---

Water is a precious and essential natural resource for multiple uses. Its use for food or hygiene requires excellent physico-chemical and microbiological quality. To assess the quality of well water for human consumption in the El - Harrouch region which is located in North-east of Algeria, a physico- chemical and bacteriological control was carried out on the basis of 25 water samples from wells in this area. In order to follow the seasonal variation of different parameters, the samples were collected during the dry season and the wet season.

The analyzes were performed on these samples by measuring the following physico-chemical parameters: Temperature, pH, electric conductivity (EC), total hardness, calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), chloride ( $\text{Cl}^-$ ), dissolved oxygen, nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), the suspended solids (SS), and possibly seeking unwanted bacteria : Total bacteria, total coliforms, fecal coliforms, fecal streptococci, *Clostridium* sulfite-reducing.

The results of analyzes have been shown that the waters of a large number of wells have a poor physico-chemical and bacteriological quality. The results of the physico-chemical parameters obtained showed that the analyzed waters are very hard with an increase in calcium, magnesium, chloride, nitrite and a decrease in electrical conductivity particularly in wet periods. Bacteriologically, comparative analysis of the distributions in two study periods shows that the maximum of germs during the dry season is higher than that of the wet season. Overall the number of germs decreases slightly in the wet season. This pollution constitutes undoubtedly a significant harm to the health of population consuming these waters.

**Key words:** Water, wells, Quality, Physico-chemical, Bacteriological, El-Harrouch.

الماء هو مورد طبيعي قيم وأساسي لإستخدامات متعددة، إستخدامه في الطعام أو النظافة يتطلب نوعية فيزيو-كيميائية و ميكروبيولوجية ممتازة. لتقييم نوعية مياه الآبار المستخدمة للاستهلاك البشري في منطقة الحروش التي تقع في الشمال الشرقي من الجزائر، أجري فحص فيزيو- كيميائي وبكتريولوجي على عدة عينات من المياه التي استخرجت من 25 بئرا ينتمون إلى هذه المنطقة. من أجل متابعة التفاوت الموسمي لمختلف المعايير، تم أخذ العينات خلال موسم الجفاف وموسم الأمطار.

أجريت التحاليل على هذه العينات عن طريق قياس المعايير الفيزيو-كيميائية التالية: درجة الحرارة، درجة الحموضة، التوصيل الكهربائي، العكارة، الكالسيوم والمغنزيوم، كلوريد ، الأوكسجين المذاب، النتريت، المواد الصلبة العالقة، الصلابة، والبحث عن الجراثيم غير المرغوب فيها : مجموع البكتيريا، ومجموع القولونيات، بكتيريا القولون البرازية، العقديات البرازية، كلوستريديوم.

وقد أظهرت نتائج التحاليل أن مياه عدد كبير من الآبار لها جودة فيزيو-كيميائية وبكتريولوجية سيئة. وأظهرت نتائج المعايير الفيزيو-كيميائية التي تم الحصول عليها أن المياه التي تم تحليلها صلبة جدا مع زيادة في الكالسيوم، المغنزيوم، الكلوريدات، النتريت وانخفاض في التوصيل الكهربائي وخاصة في الفترات الممطرة. من الناحية البكتريولوجية ، التحليل المقارن لتوزيعات المياه يبين أن الحد الأقصى للجراثيم أثناء موسم الجفاف أعلى من ذلك خلال موسم الأمطار. وعموما فإن العدد الإجمالي للجراثيم يقل في موسم الأمطار. هذا التلوث يشكل بدون شك خطرا كبيرا على صحة السكان المستهلكين لهذه المياه.

**كلمات البحث:** الماء ، البئر ، الجودة، الفيزيو- كيميائية ، البكتريولوجية ، الحروش.

## LISTE DES FIGURES

---

<b>Figure 1</b> : Présentation des eaux souterraines.....	5
<b>Figure 2</b> : Les différentes nappes d'eau souterraine.....	7
<b>Figure 3</b> : Cycle de l'eau.....	9
<b>Figure 4</b> : Etapes de traitement des eaux brutes.....	41
<b>Figure 5</b> : Situation géographique de la région d'El-Harrouch.....	48
<b>Figure 6</b> : Variation moyenne mensuelle de la température de station de Skikda (Période 1990-2012).....	52
<b>Figure 7</b> : Variation moyenne mensuelle de la température de station de Zérdazas (Période 1970-2006).....	53
<b>Figure 8</b> : Répartition mensuelle des précipitations au niveau de station de Skikda.....	54
<b>Figure 9</b> : Répartition mensuelle des précipitations au niveau de station d'El-Harrouch...	54
<b>Figure 10</b> : Répartition mensuelle des précipitations au niveau de station de Ramdane Djamel.....	55
<b>Figure 11</b> : Répartition mensuelle des précipitations au niveau de station de Zérdazas.....	55
<b>Figure 12</b> : Courbe pluviométrique de la station de Skikda.....	56
<b>Figure 13</b> : Courbe pluviométrique de la station de Zérdazas.....	57
<b>Figure 14</b> : Répartition mensuelle de l'humidité de l'air dans la station de Skikda.....	58
<b>Figure 15</b> : Répartition mensuelle de la force du vent dans la station de Skikda.....	58
<b>Figure 16</b> : Localisation des sites d'échantillonnage (puits) au niveau de la région d'étude .....	61
<b>Figure 17</b> : Protocole expérimental de recherche et de dénombrement des Germes totaux.....	71
<b>Figure 18</b> : Protocole expérimental de recherche et de dénombrement des Coliformes totaux avec identification d' <i>E. coli</i> .....	73
<b>Figure 19</b> : Protocole expérimental de recherche et de dénombrement des Streptocoques fécaux.....	75
<b>Figure 20</b> : Protocole expérimental de recherche et de dénombrement des <i>Clostridium</i> sulfito-réducteurs.....	77
<b>Figure 21</b> : Variation saisonnière de la température dans les eaux de puits étudiés.....	79
<b>Figure 22</b> : Variation saisonnière du pH dans les eaux de puits étudiés.....	79
<b>Figure 23</b> : Variation saisonnière de la turbidité dans les eaux de puits étudiés.....	80

## LISTE DES FIGURES

---

<b>Figure 24:</b> Variation saisonnière de la conductivité électrique dans les eaux de puits étudiés.....	81
<b>Figure 25:</b> Variation saisonnière de l’oxygène dissous dans les eaux de puits étudiés.....	82
<b>Figure 26:</b> Variation saisonnière de la dureté totale dans les eaux de puits étudiés.....	83
<b>Figure 27 :</b> Variation saisonnière de la teneur en calcium dans les eaux de puits étudiés..	84
<b>Figure 28:</b> Variation saisonnière de la teneur en magnésium dans les eaux de puits étudiés.....	85
<b>Figure 29:</b> Variation saisonnière de la teneur en chlorures dans les eaux de puits étudiés.	86
<b>Figure 30 :</b> Variation saisonnière de la teneur en nitrites dans les eaux de puits étudiés...	87
<b>Figure 31:</b> Variation saisonnière des matières en suspension dans les eaux de puits étudiés.....	88
<b>Figure 32 :</b> Variation saisonnière des Germes totaux dans les eaux de puits étudiés.....	89
<b>Figure 33 :</b> Variation saisonnière des Coliformes totaux dans les eaux de puits étudiés..	90
<b>Figure 34 :</b> Variation saisonnière des Coliformes fécaux dans les eaux de puits étudiés..	91
<b>Figure 35 :</b> Variation saisonnière des Streptocoques fécaux dans les eaux de puits étudiés.....	92
<b>Figure 36 :</b> Variation saisonnière des <i>Clostridium</i> sulfito-réducteurs dans les eaux de puits étudiés. ....	93

## LISTE DES TABLEAUX

---

<b>Tableau 1 :</b> Comparaison entre les eaux de surface et les eaux souterraines.....	8
<b>Tableau 2 :</b> Normes bactériologiques des eaux souterraines.....	22
<b>Tableau 3 :</b> Normes physico-chimiques des eaux souterraines.....	23
<b>Tableau 4:</b> Origines et natures de différentes sources de pollution de l'eau.....	24
<b>Tableau 5:</b> Virus pathogènes pour l'homme se rencontrent dans l'eau.....	27
<b>Tableau 6:</b> Principales infections humaines transmissibles par l'eau.....	34
<b>Tableau 7:</b> Localisation des zones d'activités (ZAC) dans la commune d'El Harrouche..	50
<b>Tableau 8:</b> Les coordonnées Lambert des stations étudiées.....	52
<b>Tableau 9 :</b> Indice d'aridité annuelle pour les stations de Skikda et Zérdazas.....	59
<b>Tableau 10:</b> l'évolution de la population de la ville d'El Harrouch.....	110
<b>Tableau 11:</b> Variations des températures moyennes mensuelles et annuelles des stations de Skikda et Zérdazas.....	110
<b>Tableau 12 :</b> Précipitations moyennes mensuelles en (mm) Aux quatre stations : Skikda (2000-2012), El-Harrouch (1970-2009), Ramdane Djamel (1970-2009) Zérdazas (1970-2008).....	110
<b>Tableau 13 :</b> Répartition mensuelle de l'humidité de l'air dans la station de Skikda.....	111
<b>Tableau 14 :</b> Répartition mensuelle de la force du vent dans la station de Skikda.....	111
<b>Tableau 15 :</b> Présentation des puits sélectionnés au niveau de la région d'El-Harrouch (W.Skikda).....	115
<b>Tableau 16:</b> Table de Mac Grady.....	116

## LISTE DES ABREVIATIONS

---

**ADE** : Algérie des eaux.

**AgNO<sub>3</sub>** : Le nitrate d'argent.

**Al** : l'Aluminium.

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

**As** : l'arsenic.

**Cd** : Le cadmium.

**COT** : Carbone organique total.

**Cs** : Caesium.

**D/C** : Double Concentration.

**EB** : Eau de boisson.

**H<sub>2</sub>S** : Le sulfure d'hydrogène.

**HTH** : L'hypochlorite de calcium.

**I** : Iodine.

**K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>** : Le chromate de potassium.

**MES** : Matières en suspension.

**mg.L<sup>-1</sup>** : Milligramme par litre.

**µs/cm** : Micro-siémens par centimètre.

**Mn** : Manganèse.

**NH<sub>4</sub>** : Ammonium.

**NPP** : Nombre Plus Probable.

**NTU** : Unité de Turbidité Néphélométrique.

**OCP** : Organisation de Contrôle des Pollutions.

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.

**ONM** : Office National de la Météorologie.

**Pb** : Le plomb.

**PCB** : Le polychlorobiphényle.

**Ra** : Radium.

**S/C** : Simple Concentration.

**Sr** : Strontium.

**TGEA** : La gélose glucosée tryptonée à l'extrait de levure.

**U** : Uranium.

**UFC** : Unité Formant Colonie.

**ZAC** : Zones d'activités.

# Sommaire

# SOMMAIRE

---

**RESUMES**

**LISTE DES FIGURES**

**LISTE DES TABLEAUX**

**LISTE DES ABREVIATIONS**

**INTRODUCTION GENERALE..... 1**

## **PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

### **Chapitre I : Les ressources en eau**

<b>I-1-Généralités.....</b>	<b>3</b>
<b>I-2-Les sources naturelles de l'eau.....</b>	<b>3</b>
I-2-1- Les eaux de pluie.....	3
I-2-2- Les eaux de mer.....	4
I-2-3-Les eaux de surface.....	4
I-2-4-Les eaux souterraines.....	4
I-2-4-1-Les nappes de l'eau.....	5
I-2-4-2-Les différents types de nappes.....	5
I-2-4-2-1-La nappe profonde.....	5
I-2-4-2-2-La nappe phréatique.....	6
I-2-4-2-3-La nappe alluviale.....	6
I-2-4-2-4-La nappe karstique.....	6
<b>I-3-Principales différence entre les eaux souterraines et les eaux de surface.....</b>	<b>7</b>
<b>I-4- Cycle de l'eau.....</b>	<b>9</b>
<b>I-5- Critère de choix pour l'implantation d'un point d'eau souterraine.....</b>	<b>10</b>
I-5-1-le puits.....	10
I-5-2- Types de puits.....	11
I-5-2-1- Puits ordinaire.....	11
I-5-2-2-Puits de surface.....	11
I-5-2-3-Puits foncés ou puits tubulaire.....	11
I-5-2-4- Puits artésien.....	11
I-5-2-5-Puits d'infiltration.....	12
I-5-3-Nettoyage et désinfection de puits.....	12
I-5-3-1-Nettoyage de puits.....	12
I-5-3-2-Désinfection de puits.....	13

# SOMMAIRE

---

## **Chapitre II : La pollution de l'eau**

<b>II-1- La qualité de l'eau de consommation</b> .....	14
II-1-1-La qualité des eaux souterraines.....	14
II-1-1-Qualité bactériologique.....	14
II-1-2-Qualité physico-chimique.....	17
<b>II-2- Normes de la qualité de l'eau</b> .....	21
<b>II-3- La pollution de l'eau</b> .....	23
<b>II-4-Sources de pollution</b> .....	24
II-4-1-Les rejets domestiques.....	25
II-4-2-Les rejets agricoles.....	25
II-4-3-Les rejets industriels.....	25
<b>II-5-Les principaux polluants</b> .....	26
<b>II-5-1-Les polluants biologiques</b> .....	26
II-5-1-1-La pollution bactérienne.....	26
II-5-1-2-La pollution virale.....	27
II-5-1-3-La pollution parasitaire.....	28
II-5-1-3-1-Les helminthes.....	28
II-5-1-3-2-Les protozoaires.....	28
II-5-1-4-Les algues de l'eau.....	29
<b>II-5-2-Les polluants chimiques</b> .....	29
II-5-2-1-Les éléments chimiques minéraux.....	29
II-5-2-2-Les métaux lourds.....	30
<b>II-5-3-Les polluants organiques toxiques</b> .....	30
II-5-3-1-Les pesticides.....	30
II-5-3-2-Les détergents.....	31
II-5-3-3-Les hydrocarbures.....	31
<b>II-5-4-Les polluants radioactifs</b> .....	32

## **Chapitre III : Risques liés à l'eau et son traitement**

<b>III-1-Introduction</b> .....	33
<b>III-2-Les maladies à transmission hydrique</b> .....	33
III-2-1-Les maladies d'origine bactérienne.....	35
III-2-1-1-Le choléra.....	35
III-2-1-2-La fièvre typhoïde.....	35

## SOMMAIRE

---

III-2-1-3-La gastro-entérite.....	36
III-2-1-4-La dysenterie.....	36
III-2-2-les maladies d'origine virale.....	36
III-2-2-1-L'hépatite A.....	36
III-2-2-2-La poliomyélite.....	37
III-2-3-Les maladies d'origine parasitaire.....	37
<b>III-3- Les risques liés à la présence des substances chimiques dans l'eau.....</b>	<b>38</b>
<b>III-4- Les risques liés au manque d'eau .....</b>	<b>39</b>
<b>III-5-Gestion des risques hydriques .....</b>	<b>39</b>
<b>III-6-Evaluation des risques hydriques.....</b>	<b>40</b>
III-6-1-Evaluation des risques chimiques.....	40
III-6-2-Evaluation des risques microbiologiques.....	40
<b>III-7- Traitement de l'eau.....</b>	<b>41</b>
<b>III-7-1-Traitement des eaux de surface.....</b>	<b>41</b>
III-7-1-1-Prétraitement.....	42
III-7-1-2-Pré-oxydation.....	42
III-7-1-3- La clarification.....	43
III-7-1-3-1-La coagulation.....	43
III-7-1-3-2-La floculation.....	44
III-7-1-3-3-La décantation.....	44
III-7-1-3-4-La filtration.....	44
III-7-1-4- La désinfection.....	45
III-7-1-5-L'affinage.....	45
<b>III-7-2-Traitement des eaux souterraines.....</b>	<b>46</b>

## DEUXIEME PARTIE: MATERIEL ET METHODES

<b>1- Cadre de l'étude.....</b>	<b>47</b>
<b>2- Présentation de la région d'étude.....</b>	<b>47</b>
2-1-Situation géographique.....	47
2-2-Contexte démographique.....	48
2-3-La géologie.....	49
2-4-L'hydrographie.....	49
2-5-Les ressources économiques.....	50
2-6-L'occupation du sol.....	51

## SOMMAIRE

---

<b>2-7- L'étude climatologique</b> .....	51
2-7-1- Les températures.....	52
2-7-2- Les précipitations.....	53
2-7-3- La pluviométrie.....	56
2-7-3-1-Courbe pluviométrique de la station de Skikda.....	56
2-7-3-2-Courbe pluviométrique de la station de Zérdazas.....	58
2-7-4-L'humidité relative.....	57
2-7-5-Les vents.....	58
2-7-6-Détermination du type du climat.....	59
<b>3-Type et période de l'étude</b> .....	60
<b>4-Echantillonnage</b> .....	60
4-1-Choix des sites.....	60
4-2-Prélèvement des échantillons d'eau.....	61
4-2-1- Techniques de prélèvement.....	61
4-2-2- Transport des échantillons.....	62
<b>5-Méthodes d'analyses</b> .....	62
<b>5-1- Analyses physico-chimiques</b> .....	63
5-1-1-Mesure de la température.....	63
5-1-2-Mesure du potentiel d'hydrogène (pH).....	63
5-1-3-Mesure de la conductivité électrique (CE).....	63
5-1-4-Mesure de la turbidité.....	64
5-1-5-Dosage de l'oxygène dissous.....	65
5-1-6- Dosage de la dureté totale.....	65
5-1-7-Détermination de la dureté calcique (TH <sub>Ca</sub> ).....	66
5-1-8-Détermination de la dureté magnésienne (TH <sub>Mg</sub> ).....	67
5-1-9-Dosage des chlorures.....	67
5-1-10-Dosage des nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).....	68
5-1-11-Détermination des matières en suspension.....	69
<b>5-2- Analyses bactériologiques</b> .....	70
5-2-1-Dénombrement des Germes totaux.....	70
5-2-2-Dénombrement des Coliformes totaux et des Coliformes fécaux.....	72
5-2-3-Dénombrement des Streptocoques fécaux.....	74
5-2-4-Dénombrement des <i>Clostridium</i> sulfito-réducteurs.....	76

# SOMMAIRE

---

## TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSION

<b>1-Introduction</b> .....	78
<b>2-Paramètres physico-chimiques</b> .....	78
2-1-La température.....	78
2-2-Le potentiel d'hydrogène (pH).....	79
2-3-La turbidité.....	80
2-4-La conductivité électrique (CE).....	81
2-5-L'oxygène dissous.....	82
2-6-La dureté totale.....	83
2-7-Le calcium.....	84
2-8-Le magnésium.....	85
2-9-Les chlorures.....	85
2-10-Les nitrites.....	86
2-11-Les matières en suspensions (MES).....	87
<b>3-Paramètres bactériologiques</b> .....	88
3-1-Les Germes totaux.....	89
3-2-Les Coliformes totaux.....	90
3-3-Les Coliformes fécaux ( <i>E. coli</i> ).....	91
3-4-Les Streptocoques fécaux.....	92
3-5-Les <i>Clostridium</i> sulfito-réducteurs.....	93
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</b> .....	94
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	95
<b>ANNEXE</b> .....	110
<b>ARTICLE</b>	

# Introduction Générale

## INTRODUCTION GENERALE

---

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 donc c'est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures (Henri, 2012).

Une eau destinée à la consommation humaine est potable lorsqu'elle est exemptée d'éléments chimiques et biologiques susceptibles à plus ou moins long terme à la santé des individus (John et Donald, 2010). Selon l'OMS (2005), chaque année 1,8 millions de personnes dont 90% d'enfants de moins de cinq ans, vivant pour la plupart dans les pays en développement meurent de maladies diarrhéiques (y compris du choléra); 88% des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau, à un assainissement insuffisant et à une hygiène défectueuse.

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. Certains travaux de recherches ont été réalisés sur la qualité des eaux souterraines concluent que les pollutions de ces eaux souterraines proviendraient d'une origine géologique et anthropique, notamment d'infiltration des eaux usées et l'utilisation des engrais chimiques en agriculture (Nouayti et al., 2015 ; Aka et al., 2013 ; Ahoussi et al., 2013 ; Lagnika et al., 2014 ; Amadou et al., 2014). D'autres études ont révélées que la pollution des eaux souterraines est liée à la présence des fosses septiques, à l'absence du traitement, au manque du réseau d'assainissement et au non-respect des conditions d'hygiène publique (Guessoum et al., 2014 ; Fakih et al., 2014 ; Degbey et al., 2010).

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).

## INTRODUCTION GENERALE

---

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 bactériologique des eaux de puits utilisées comme eau de boisson au niveau de la région d'El-Harrouch (W.Skikda) durant la saison sèche et la saison humide, de dégager éventuellement les causes de la pollution de ces eaux et de faire des propositions aux consommateurs 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 trois chapitres. Le premier chapitre est un rappelle sur l'eau d'une façon générale. Le deuxième chapitre montre les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau et les diverses pollutions qui l'affectent. Le troisième chapitre présente les différents risques liés à l'eau et les méthodes de traitement des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine.
- **La seconde partie** intitulé matériel et méthodes, est essentiellement consacrée à la présentation des caractéristiques générales de la région d'étude et représente la démarche pour analyser la qualité de différents échantillons d'eau.
- La présentation et la discussion des résultats obtenus, ont fait l'objet de **la dernière partie** de ce manuscrit.

Enfin, nous tirons une **conclusion** et nous proposons quelques perspectives.

PREMIERE PARTIE :  
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

# CHAPITRE I :

## Les ressources en eau

**I-1-Généralités**

L'eau est très présente sur notre planète, ainsi vue de l'espace, la terre apparaît bleue car les océans recouvrant près des trois quarts de la surface terrestre (70%). La totalité de l'eau sur terre représente un volume de 1,4 milliard de km<sup>3</sup> sous forme liquide, solide ou gazeuse. Cependant, la majeure partie de l'eau (97 %) est contenue dans les océans et est salée, ce qui la rend inutilisable pour l'homme (CIE, 2013).

L'eau douce n'en représente que 2,6 % et concerne :

- pour la majeure partie, les glaciers de montagne, les inlandsis du Groenland et de l'Antarctique (près de 2 %) ;
- les eaux douces souterraines (moins de 1 %, la majorité des eaux souterraines est salée, donc ne sont pas douces) ;
- les eaux de surface (cours d'eau, sols gelés, marécages et lacs d'eau douce : 0,03%) ;
- l'atmosphère (0,001%) ;
- les êtres vivants (0,0001%).

La moitié de cette eau douce représente l'eau disponible pour l'usage humain avec seulement 0,3% du volume d'eau de la planète, soit 4 millions de km<sup>3</sup> (RPDE, 2007).

**I-2-Les sources naturelles de l'eau**

On trouve quatre sources principales d'eaux brutes : les eaux de pluie, les eaux de mer, les eaux de surface et les eaux souterraines. Les caractéristiques générales de chacune de ces sources reflètent l'interaction de l'eau et du milieu environnant.

**I-2-1- Les eaux de pluie**

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour la consommation humaine. Elles sont très douces par la présence d'oxygène et d'azote et l'absence des sels dissous, comme les sels de magnésium et de calcium. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être souillées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités utilisent cette source d'eau (Desjardins, 1997 ; OFEFP, 2003).

**I-2-2- Les eaux de mer**

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Ces eaux sont caractérisées par une grande salinité (varie de 33000 à 37000 mg.L<sup>-1</sup>), elles sont dénommées aussi "eaux saumâtres". Ce qui rend l'utilisation de ces eaux difficile, notamment leur coût très élevé pour leur traitement (Boeglin, 2009).

**I-2-3- Les eaux de surface**

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles proviennent soit par des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit par les eaux de ruissellement (fleuves, rivières, barrages, mares, marigots).

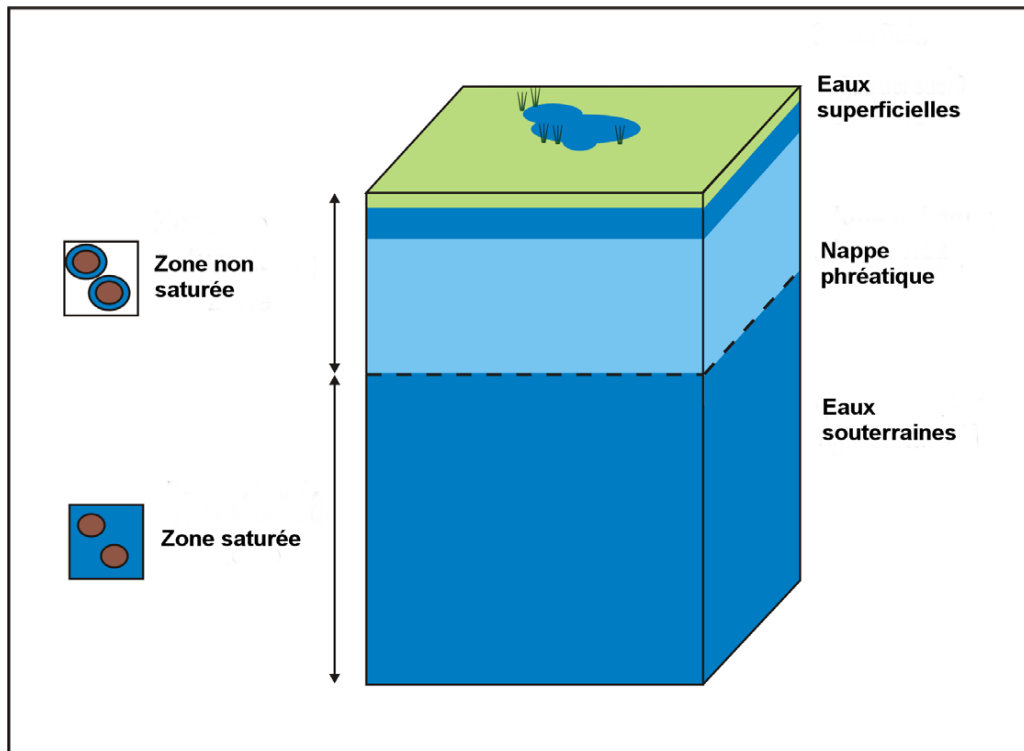
Elles sont caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable (Degremont, 2005).

En plus, ces eaux superficielles doivent subir un traitement en plusieurs étapes pour être utilisées pour la boisson et les usages domestiques. Elles ne peuvent être utilisées sans traitement. De plus, pour envisager d'alimenter des populations à partir d'eaux de surface, il faut éviter les conditions favorisant l'érosion des sols, les conditions non hygiéniques et les pollutions accidentelles et chroniques (Molinie, 2009).

**I-2-4- Les eaux souterraines**

On entend par « eau souterraine » l'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels que les sables et les graviers. Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas rassemblée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain (Myrand, 2008).

Le niveau de l'eau souterraine, au-dessous duquel les roches ou sédiments sont saturés, est appelé nappe phréatique. On trouve aussi de l'eau au-dessus de la nappe phréatique, dans la zone non saturée, par exemple sous forme d'eau du sol, mais cette eau n'est normalement pas exploitée par l'homme et on ne la considère pas comme une eau souterraine (Fig.1).



**Figure 1** : Présentation des eaux souterraines (RAMSAR, 2010).

#### I-2-4-1-Les nappes de l'eau

Le mot « aquifère » ou encore « nappe » désigne simplement une couche de sol contenant de l'eau. C'est un gisement d'eau souterraine utilisable comme source d'eau (Kettab, 1992 ; 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).

#### I-2-4-2-Les différents types de nappes

La porosité et la structure du sol déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine (OMS, 2000) (Fig.2).

##### I-2-4-2-1-La nappe profonde

Se repose sur une couche imperméable plus profonde, elle peut être :

**Une nappe libre** : Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement. Les eaux de cette nappe ne sont pas maintenues sous pression par un toit moins perméable que la formation qui la contient (Arjen, 2010).

Ou **une nappe captive** : Elle est alors séparée de la surface du sol par une couche imperméable. Elle n'est donc pas alimentée directement par le sol et elle se situe à des grandes profondeurs et par conséquent est peu sensible aux pollutions (Degremont, 2005; Cardot, 1999).

#### **I-2-4-2-2-La nappe phréatique**

Les nappes phréatiques 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 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).

#### **I-2-4-2-3-La nappe alluviale**

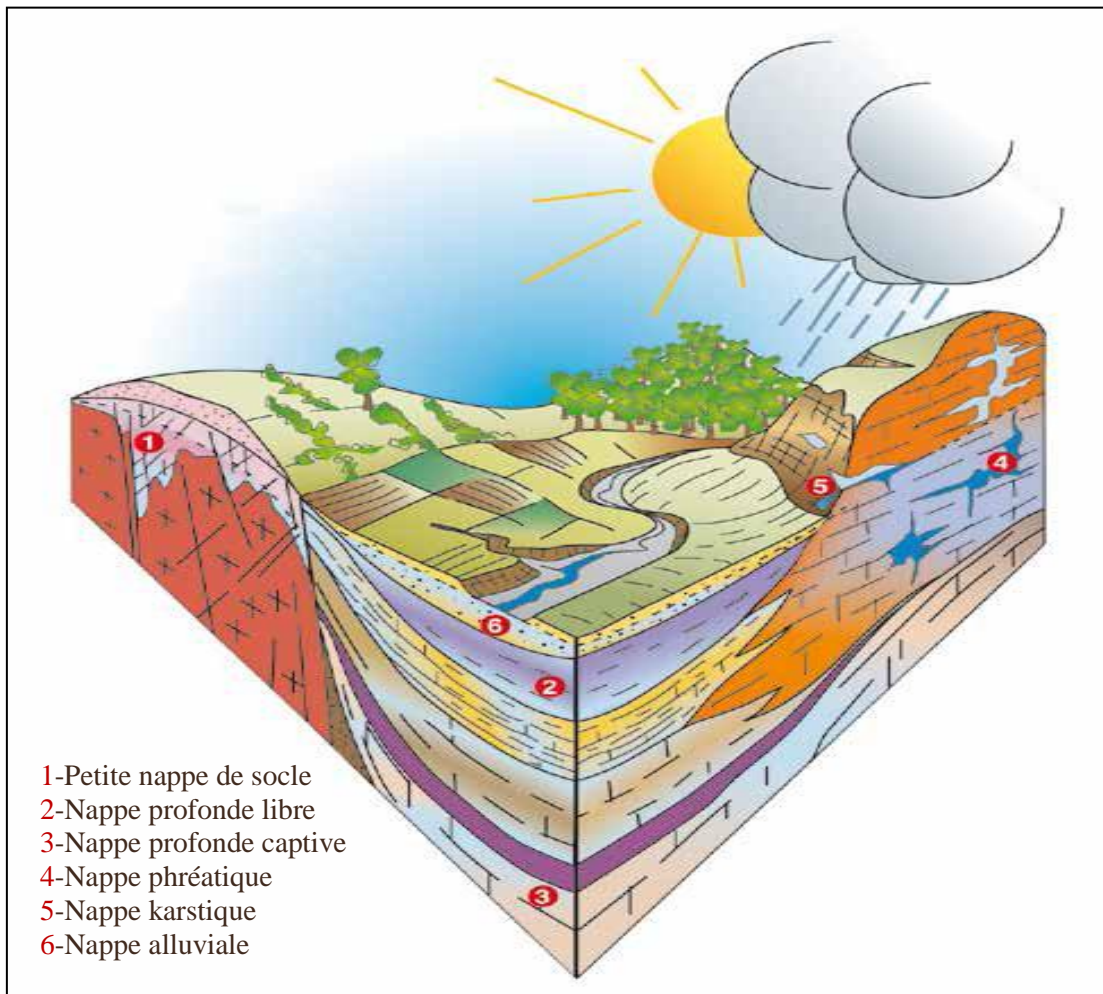
Elle contenue dans les grands épandages de sables, graviers et galets des fleuves et des rivières, la nappe alluviale est le lieu privilégié des échanges avec les cours d'eau et les zones humides. Ce type de nappe peut être réalimenté par les crues et restituer à l'inverse de l'eau dans les cours d'eau en période de sécheresse.

Ces nappes fournissent 60% des eaux souterraines captées en France, en particulier grâce à leur facilité d'accès et leur bonne productivité (OFEFP, 2003).

#### **I-2-4-2-4-La nappe karstique**

La nappe karstique se rencontre dans les formations calcaires. Les eaux en dissolvant le calcaire à la faveur des fissures préexistantes constituent des vides dans lesquels peuvent s'écouler les eaux. Ces vides peuvent atteindre de grandes dimensions (gouffres, cavernes). Dans ces conduits les eaux peuvent cheminer rapidement et constituer des cours d'eau souterrains.

Aux points de sortie, les sources présentent des débits souvent variables dans le temps (leur valeur varie parfois de 1 à 100 au cours de l'année) (Mourey et Vernoux, 2000).



**Figure 2 :** Les différentes nappes d'eau souterraine (AEAG, 2012).

### **I-3-Principales différence entre les eaux souterraines et les eaux de surface**

Les eaux de surface sont plus chargées de matières en suspension que les eaux souterraines, ainsi que de matières colloïdales, plancton animal et végétal. Les eaux souterraines sont souvent considérées comme des eaux naturellement pure ce qui est une erreur, car souvent elles contiennent du fer, manganèse, ammoniacque et matières organiques sans parler de la teneur excessive en fluor et nitrates (Kettab, 1992) (Tab.1).

**Tableau 1** : Comparaison entre les eaux de surface et les eaux souterraines (Bourrier et Selmi, 2011).

<b>Caractéristiques</b>	<b>Eaux de surface</b>	<b>Eaux souterraines</b>
Température	Variable suivant les saisons	Relativement constante
Turbidité, MES	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle
Couleur	Liée surtout aux MES (argiles, algues)	Liée surtout aux matières en solution (acide humique par exemple)
Fe et Mn divalent (à l'état dissous)	Généralement absents sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation.	Généralement présents  Sensiblement
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets.	Constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
CO <sub>2</sub> agressif	Généralement absent	Souvent présent en grande quantité.
Oxygène dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation. Absent dans le cas d'eaux très polluées.	Absent dans la plupart du temps.
H <sub>2</sub> S	Généralement absent.	Souvent présent
NH <sub>4</sub>	Présent seulement dans les eaux polluées.	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Peu abondant en général	Teneur parfois élevée.
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps.
Eléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogénies), virus, plancton.	Ferro bactéries fréquentes.

### I-4-Cycle de l'eau

La connaissance de l'origine de l'eau, de son cycle, de sa dynamique dans la nature et sa répartition dans l'espace et dans le temps est une donnée fondamentale. L'eau fait partie d'un cycle naturel en perpétuel mouvement entre la terre et l'atmosphère.

L'eau s'évapore constamment au-dessus des océans, des lacs et des forêts, elle est condensée sous forme de nuages et ensuite transportée dans le ciel par vents. Dans le ciel, les nuages se condensent sous forme de vapeur d'eau autour des particules de poussières, puis tombent en précipitations sous forme de pluie ou de neige, sous l'action de phénomènes météorologiques complexes où interviennent surtout les vents et les différences de températures.

L'eau qui ruisselle pénètre dans le sol où elle s'infiltrate et va remplir les nappes souterraines. Elle traverse des couches de plus en plus profondes du sol et va abandonner dans son cheminement la quasi-totalité des impuretés dont elle s'était chargée (Bouziani, 2000). Les eaux souterraines circulent elles aussi, une partie se jetant directement dans la mer et le reste venant alimenter les rivières à leur source ou par le biais d'un affluent.

Enfin, l'eau peut revenir directement à sa phase liquide dans l'atmosphère par la transpiration des végétaux qui éliminent ainsi une partie de l'eau contenue dans le sol et conservent une partie de l'eau de pluie dans leur feuillage (Valverde, 2008) (Fig.3).

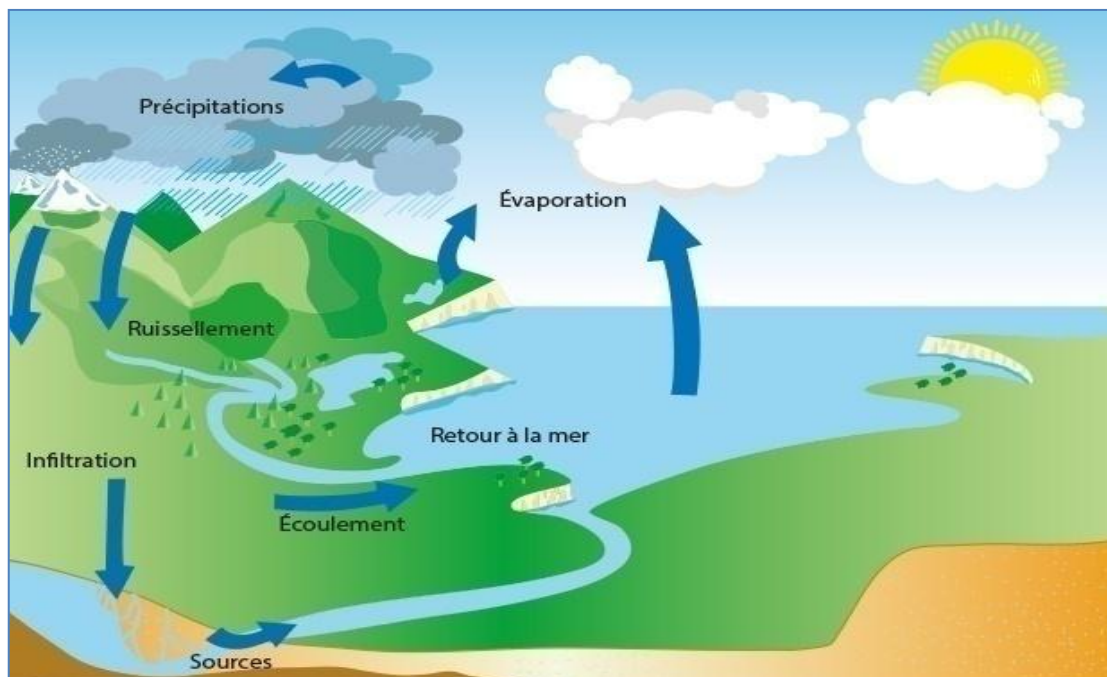


Figure 3 : Cycle de l'eau (CIE, 2013).

La durée des diverses phases de ce cycle sont souvent méconnues, elles atteignent quelques jours entre l'océan et la pluie, quelques heures à quelques mois entre la pluie et la nappe (recharge), plusieurs années ou millénaires entre la nappe et la source ou le puits (écoulement-souterrain) (Collin, 2004).

### **I-5-Critère de choix pour l'implantation d'un point d'eau souterraine**

Les Nations Unies ont inscrit en 2007 l'accès à l'eau potable et à l'assainissement au cœur des objectifs du millénaire pour le développement. Cet engagement se retrouve à travers l'objectif n° 7 : « Réduire de moitié, d'ici à 2015, le pourcentage de la population qui n'a pas accès de façon durable à un approvisionnement en eau potable ni à des services d'assainissement de base ». Au rythme actuel, l'Afrique atteindra difficilement cet objectif: 330 millions de personnes n'ont toujours pas accès à un approvisionnement en eau potable. La plupart d'entre elles vit en zones rurales et tirent principalement leur besoin en eau à partir des puits non protégés (Grosclaude, 2011).

Lorsqu'on a choisir entre les diverses sources d'approvisionnement en eau, la qualité de l'eau ne doit être l'unique considération. Il faut également tenir compte du débit de l'eau et de la pérennité du point d'eau. Compte tenu du coup élevé et de l'insuffisance des systèmes d'adduction d'eau.

En général, le choix de l'emplacement du puits doit être fait par les services chargés de l'hydraulique en tenant compte des désirs de la population et de l'hydrogéologie du terrain. Un puits ne peut fournir de l'eau que s'il rencontre une nappe. Les nappes peuvent être partout mais leur qualité, leur débit et leur profondeur sont très variables.

#### **I-5-1-Le 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 (Collin, 2004 ; Emand Barres et Roux, 1999).

**I-5-2-Types de puits**

A partir de différente manière de creusement, on distingue plusieurs types de puits :

**I-5-2-1-Puits ordinaires**

Les puits ordinaires sont des puits fréquemment réalisés 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).

**I-5-2-2-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).

**I-5-2-3-Puits foncés ou puits 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).

**I-5-2-4-Puits artésien**

Le puits artésien est obtenu en perforant une couche de sol ou de roc 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).

**I-5-2-5-Puits d'infiltration**

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

**I-5-3-Nettoyage et désinfection de puits**

Les différentes 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.

**I-5-3-1-Nettoyage de puits**

Les étapes à suivre pour le nettoyage de puits sont résumées comme suit :

**1-**Préparer une solution chlorée à 200 mg.L<sup>-1</sup> de chlore (200 mg.L<sup>-1</sup> de chlore = 3 grammes de HTH pour 1 litres d'eau).

**2-**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.

**3-**Brosser les parois du puits avec la solution chlorée à 200 mg.L<sup>-1</sup>, attendre une demi-heure et laisser le puits se remplir à nouveau.

4-Verser 10 litres de solution à 1% de chlore par mètre cube d'eau. Une solution à 1% = 10 grammes de chlore par litre = 15 grammes de HTH par litre (HTH= 70% de Cl).

5-Brasser et fermer le puits pendant 12 heures (une nuit) et avertir la population de la non potabilité de l'eau, positionner un pictogramme.

6-Vider l'eau du puits avec la motopompe et contrôler le taux de chlore en sortie : [Cl] libre < 0.5 mg.L<sup>-1</sup> (Thiria, 2005).

### **I-5-3-2-Désinfection de 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 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 doit être stocker et manipuler avec prudence et il est 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).

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

# CHAPITRE II :

## la pollution de l'eau

**II-1-La qualité de l'eau de consommation**

La qualité de l'eau potable est évaluée à partir des critères de qualité. En effet, l'utilisation d'une eau médiocre pour la production d'eau potable peut accroître les risques pour le consommateur si cette eau contient des produits nuisibles pour la santé. 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 (Defranceschi, 1996 ; MDDEFP, 2013).

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 de la qualité de l'eau est de vérifier que l'eau distribuée remplit les critères de potabilité. C'est un moyen de protéger la santé publique (Muriel, 2010).

**II-1-1-La qualité des eaux souterraines**

Étant donné que les eaux souterraines sont généralement pures sur le plan bactériologique (UNICEF, 1999) elles constituent une meilleure solution que les eaux de surface en termes de génie sanitaire (Fiambusch, 1998). Dans la réalité, la qualité naturelle de l'eau souterraine ne concerne pas seulement les aspects sanitaires et techniques de l'eau potable. Il faut se souvenir en particulier que l'eau des nappes alimente les rivières et que, par conséquent, certaines propriétés chimiques et microbiologiques des eaux souterraines peuvent avoir des incidences sur la vie aquatique (Collin, 2004). Donc les qualités requises sont d'ordre bactériologique et physico-chimique.

**II-1-1-1-Qualité bactériologique**

C'est le paramètre le plus important de la qualité de l'eau potable. Elle se mesure par la présence d'organismes indicateurs de pollution : les Germes totaux et les Coliformes qui vivent normalement dans les intestins humains et animaux. Les bactéries indicatrices de contamination fécale sont les Coliformes connus sous le nom d'*Escherichia coli* (*E.coli*), les Streptocoques fécaux et les *Clostridium* sulfite-réducteurs. Elles se multiplient très facilement et sont utilisées généralement comme germes tests de contamination fécale (Ahonon, 2011).

➤ **Les Germes totaux**

La numération des germes aérobies mésophiles ou germes totaux, vise à estimer la densité de la population bactérienne générale dans l'eau potable. Elle permet ainsi une appréciation globale de la salubrité générale d'une eau, sans toutefois déterminer les sources de contamination (Levallois, 2003). D'une manière générale, ce dénombrement est utilisé comme indicateur de pollution et également comme indicateur d'efficacité de traitement, en particulier des traitements physiques comme la filtration par le sol, qui devrait entraîner soit une très forte diminution de la concentration bactérienne, soit même une absence de bactéries (CEAEQ, 2000 ; El Haissoufi et al., 2011).

➤ **Les Coliformes totaux**

Les coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau car ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale. Les coliformes totaux sont définis comme étant des bactéries en forme de bâtonnet, aérobies ou anaérobies facultatives, possédant l'enzyme  $\beta$ -galactosidase permettant l'hydrolyse du lactose à 35°C afin de produire des colonies rouges avec reflet métallique sur un milieu gélosé approprié (Archibald, 2000; CEAEQ, 2000; Edberg et al., 2000). Ce groupe composé des principaux genres suivants: *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella* et *Serratia* (Chevalier, 2003). La plupart des espèces sont non pathogènes et ne représentent pas de risque direct pour la santé, à l'exception de certaines souches d'*Escherichia coli* (*E. coli*) ainsi que de rares bactéries pathogènes opportunistes (Edberg et al., 2000; OMS, 2000).

➤ **Les Coliformes fécaux (*Escherichia coli*)**

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermotolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux ont la capacité de fermenter le lactose à une température de 44,5°C. L'espèce la plus habituellement associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia coli* (*E. coli*) (Elmund et al., 1999; Edberg et al., 2000). *E.coli* est la seule bactérie indicatrice qui représente sans équivoque une contamination d'origine fécale animale ou humaine. Sa détection dans une eau doit être considérée comme reflétant la présence possible des germes pathogènes d'origine entérique.

*E. coli* est considérée en fait comme le meilleur indicateur de contamination fécale de l'eau (Edberg et al., 2000) qui selon son origine, comporte des risques plus ou moins importants d'infection à caractère entérique (Bopp et al., 1999). Sa détection dans un puits peut donc être indicatrice d'une source ponctuelle de contamination (Gouvernement du Québec, 2004).

➤ **Les Streptocoques fécaux**

Les entérocoques font partie d'un groupe de bactéries naturellement présentes dans la flore intestinale des animaux et des humains; certains streptocoques fécaux sont très apparentés aux entérocoques et sont encore utilisés à titre d'indicateurs de contamination fécale (Gleeson et Gray, 1997). Ils se retrouvent habituellement dans les eaux souterraines à la suite d'une pollution d'origine fécale (Gleeson et Gray, 1997 ; Edberg et al., 2000). La très grande majorité des entérocoques, surtout ceux retrouvés en milieu naturel, ne possèdent pas un pouvoir pathogène particulier envers les humains; ce sont plutôt des microorganismes pathogènes opportunistes infectant des personnes à risque comme les immunodéprimées (Edmond et al., 1995 ; Madani et al., 1999).

➤ **Les *Clostridium* sulfito-réducteurs**

Parmi les paramètres retenus pour déterminer la qualité microbiologique d'une eau d'alimentation, les *Clostridium* sulfito-réducteurs sont pris en compte aussi. Les *Clostridium* sulfito-réducteurs sont souvent utilisés comme des témoins de pollution fécale. La forme spore, beaucoup plus résistante que les formes végétatives, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux, permettrait ainsi de déceler une pollution fécale ancienne ou intermittente. Sans débattre de l'intérêt réel d'une telle indication concernant la date de la pollution, il faut cependant considérer que si les *Clostridium* sulfito-réducteurs peuvent certes être des germes fécaux, ce sont encore des germes telluriques et que, de ce fait, aucune spécificité d'origine fécale ne peut être attribuée à leur mise en évidence (Rodier et al., 2009).

**II-1-1-2-Qualité physico-chimique**

Les qualités physico-chimiques de l'eau se basent sur des paramètres qualitatifs relativement facile à déterminer. Parmi ces paramètres on distingue les suivants :

➤ **La température**

C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle ci joue un rôle important dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels et dans la détermination du pH, pour la compréhension de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques (Rodier et al., 2005).

Une température élevée favorise la croissance des micro-organismes, peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur (OMS, 1994). Par contre une température inférieure à 10°C ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements des eaux (Rodier et al., 2009).

➤ **Le potentiel d'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  $H^+$  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). Les valeurs limites du pH sont comprises entre 6,5 et 9 (JORA, 2011). Au-dessous de ce seuil l'eau est dite « agressive », elle a un effet corrosif sur les canalisations et peut mener à la dissolution de certains métaux toxiques tels que le plomb des conduites (Savary, 2010 ; Bouziani, 2000).

➤ **La turbidité**

C'est le premier paramètre perçu par le consommateur (Andriamiradis, 2005). La turbidité est la réduction de la transparence de l'eau due à la présence de matière non dissoute (débris organiques, argiles, organismes microscopiques ...) (Rodier et al., 2009). Une forte turbidité de l'eau révèle la précipitation de fer, aluminium ou manganèse due à une oxydation dans le réseau (Jean, 2002), et favorise aussi la fixation et la multiplication des micro-organismes, rendant sa qualité bactériologique suspecte (OMS, 2004). Selon Desjardins (1990); Kettab (1992); Boeglin (2000), parmi les caractéristiques générales des eaux souterraines, il faut retenir leur très faible turbidité.

➤ **La conductivité électrique**

La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique ; 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).

➤ **Les matières en suspensions (MES)**

Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc retenues par un filtre. Les matières en suspension limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, réduisent la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique (Hakmi, 2006). Pour une eau qui contient des matières en suspensions à des teneurs de quelques milligrammes par litre, ne pose pas de problèmes majeurs (Dégremont, 2005).

➤ **L'ion de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )**

Le calcium est l'élément présent dans toutes les eaux naturelles (Benamar et al., 2011). 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 est aussi fréquent dans les roches sédimentaires. Il peut provenir également des formations gypsifères ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ) qui sont facilement solubles (Sedrati, 2011).

Le calcium ne pose pas des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage (Gaujour, 1995).

➤ **L'ion de 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 (Rodier et al., 2009). 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 riche en  $\text{Mg}^{++}$  (Dib, 2009).

Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle font que les teneurs dans l'eau peuvent être importants (SEVESC, 2013).

➤ **L'ion de sodium ( $\text{Na}^+$ )**

C'est un élément dont les concentrations dans l'eau varient d'une région à une autre (Bouziani, 2000). Son origine peut être naturelle (mer, terrain salé....) ; humaine (10 à 15 g Na Cl dans les urines /jour) ou industrielle (potasse, industrie pétrolière).

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

➤ **L'ion de potassium ( $\text{K}^+$ )**

Le potassium 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. Il joue un rôle important dans l'équilibre électrolytique de l'organisme et règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules (Mercier, 2000).

Sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 5 à 10  $\text{mg.L}^{-1}$  (Rodier et al., 2009).

➤ **L'ion de fer ( $\text{Fe}$ )**

Le fer est un métal assez soluble que l'on peut retrouver dans l'eau et qui précipite par oxydation à l'air (Bouziani, 2000). Ce métal se classe en 4<sup>ème</sup> rang des éléments de la croûte terrestre. Les besoins pour l'organisme humain se situent entre 2 et 3 mg/jour mais 60 à 70% seulement de la quantité intégrée sont métabolisés (Rodier et al., 2005).

Un excès de fer dans l'eau, se précipite au contact de l'air en formant des flocons rouges qui troublent l'eau et tachent le linge (Bouziani, 2000).

➤ **Les chlorures**

Les chlorures sont très répandus dans la nature généralement sous forme de sels de sodium ( $\text{NaCl}$ ), de potassium ( $\text{KCl}$ ) et de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ) (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).

➤ **Les nitrates**

Le nitrate, sel de l'acide nitrique, a pour formule chimique  $\text{NO}_3^-$ . Pour se former, il a donc besoin d'azote (N) et d'oxygène (O).

Les nitrates sont naturellement présents dans l'eau mais selon les milieux, leur concentration varie de 0,1 à 1  $\text{mg.L}^{-1}$  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 (Demdoum, 2010).

➤ **Les nitrites**

Les nitrites sont répandus dans le sol, dans les eaux et dans les plantes, mais en quantités relativement faibles. Ils résultent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une réduction des nitrates. Ils peuvent aussi provenir de l'étape de traitement des eaux en cas de gestion inadéquate des filtres à sable, des filtres à charbon actif ou des étapes de nitrification-dénitrification biologique.

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 (Bouziani, 2000 ; Savary, 2010).

➤ **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). Selon l'intolérance des consommateurs, l'excès de sulfates dans l'eau peut entraîner des troubles intestinaux. Les concentrations admissibles sont de l'ordre de 400  $\text{mg.L}^{-1}$  (Bouziani, 2000).

➤ **Le fluor**

Le fluor, premier élément de la famille des halogènes dans le tableau périodique des atomes, est gazeux à température et pression normales. Étant fortement réactif, il se retrouve généralement dans la nature sous forme de fluorure ( $\text{F}^-$ ) lié à des matrices minérales ou dans des liaisons covalentes formant des composés organiques ou inorganiques.

Les fluorures sont également libérés dans l'environnement par des sources anthropiques de nature industrielle (Beaudoin, 2012).

La teneur en fluor dépend du temps de contact de l'eau avec les minéraux fluorés de l'aquifère. Elle est plus élevée dans les nappes captives. Dans la nappe de la craie, il est fourni principalement par les minéraux phosphatés. Sa teneur ne doit pas dépasser  $1,5\text{mg.L}^{-1}$  (Bartherlin et Cheru, 1999).

## **II-2- Normes de la qualité de l'eau**

Afin de définir régulièrement une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nuisibles et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne désigne donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur (Alouane, 2012).

Globalement, les qualités de l'eau de boisson doit obéir à des normes définies par une réglementation nationale. Il peut en résulter, pour un pays ou une région donnée, des dispositions réglementaires différentes de la qualité de l'eau, par rapport aux normes internationales (Bouziani, 2000).

En Algérie, il existe des réglementations locales pour la qualité de l'eau de boisson en citant le Journal Officiel de la République Algérienne (JORA, 2011) qui représente les différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau de consommation humaine avec des valeurs limites.

Ainsi pour notre étude, nous nous référons aux normes françaises et aussi aux normes de l'OMS présentés dans les tableaux qui suivent (Tab.2 et 3):

Tableau 2 : Normes bactériologiques des eaux souterraines (OMS, 1994).

Microorganismes	Les valeurs indicatives	Remarque
<b>A-Toutes les eaux destinées à la consommation :</b> E. Coli ou bactéries coliformes Thermotolérantes	0 0	Non détectables dans un échantillon de 100 ml
<b>B- Eaux traitées à l'entrée du réseau de distribution :</b> E.Coli ou bactéries coliformes Thermotolérantes Coliformes totaux	0 10	Non détectables dans un échantillon de 100 ml Non détectables dans un échantillon de 100 ml
<b>C-Eaux traitées dans le réseau de distribution :</b> E.coli ou bactéries coliformes Thermotolérantes Coliformes totaux	0 10	Non détectables dans un échantillon de 100 ml Non détectables dans un échantillon de 100 ml. Dans les installations importantes, lorsqu'un nombre suffisant d'échantillons sont examinés on ne doit pas trouver de coliformes dans 95% des échantillons prélevés sur une période de 12 mois.

**Tableau 3 :** Normes physico-chimiques des eaux souterraines (NA, 1992 ; OMS, 1994 ; Boeglin, 1998 ; JORA, 2011).

Paramètres physico-chimiques	Unité	Normes O.M.S	Normes Algériennes	Normes Françaises
Température	°C	/	25	25
pH	/	7-8.5	6,5 - 9	6,5-9
Conductivité électrique à 20°C (CE)	µS/cm	/	2800	/
Turbidité	NTU	5	5	2
Oxygène dissous	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	5	5	5
Chlorures	mg.L <sup>-1</sup>	/	500	200
Dureté Totale	mg.L <sup>-1</sup> en CaCO <sub>3</sub>	500	200	/
Calcium	mg.L <sup>-1</sup>	/	200	/
Magnésium	mg.L <sup>-1</sup>	/	150	50
Nitrates	mg.L <sup>-1</sup>	50-100	50	50
Nitrites	mg.L <sup>-1</sup>	/	0,1	0,1

### II-3- 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 subit donc les dégradations de ces deux milieux (Bouziani, 2000).

Une eau est dite polluée lorsque son équilibre est modifié de façon durable par l'apport en quantités très importantes des substances plus ou moins toxiques, d'origines naturelles ou issues d'activités humaines (Rodier et al., 2005).

La pollution de l'eau est peut être observée à différents niveaux dont on cite:

- Les nappes ou les sources d'eaux par suite d'infiltration d'eaux usées (Fosses septiques, latrines).
- Les eaux de surface: les fleuves, les rivières et les oueds.
- Les canalisations et les réseaux d'alimentations en eau (Bouziani, 2000).

**II-4-Les sources de pollution**

L'activité humaine, qu'elle soit son origine, industrielle, urbaine ou agricole, produit une quantité de substances polluantes de toute nature qui engendrent de différents types de pollution (Tab.4) qui peuvent être permanentes (rejets domestiques d'une grande ville par exemple), périodiques ou encore accidentelles ou aiguës (Rodier et al., 2009).

**Tableau 4** : Origines et natures de différentes sources de pollution de l'eau (Henaut, 2011).

<b>Type de pollution</b>	<b>nature</b>	<b>origine</b>
<b>Physique</b>	Rejet d'eau chaude	Centrales thermiques 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.

De ce fait, les trois principales sources de pollution sont :

**II-4-1-Les rejets domestiques**

Dans le cas d'un assainissement collectif ou individuel défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux vannes et les eaux ménagères peuvent contaminées la nappe (matières organiques, détergentes, solvants, antibiotiques, micro-organismes...). Le cas se manifeste avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionné, les stations d'épurations urbaines surchargées.

Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme libèrent également des lixiviats riches en polluants (Faurie et al., 2003).

**II-4-2-Les rejets agricoles**

Le régime et la qualité des eaux sont fortement influencés par les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage (Faurie et al., 2003).

L'utilisation des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures, ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie les eaux de surface et les eaux souterraines par infiltration (Djabri, 1996).

**II-4-3-Les rejets industriels**

Les activités industrielles rejettent principalement des métaux, des hydrocarbures, des acides, et augmentent la température de l'eau. En moyenne, de 2004 à 2009, le SOES (Service de l'Observation et des Statistiques du Ministère en charge du Développement Durable) en France, a montré que les secteurs de la métallurgie et de la chimie sont responsables des rejets de polluants dans l'eau les plus importants (Benmaïd, 2013).

**II-5-Les principaux polluants**

Selon leur origine, les polluants des eaux se divisent en quatre groupes : les polluants biologiques, les polluants chimiques, les polluants organiques toxiques et les polluants radioactifs.

**II-5-1-Les polluants biologiques**

Un grand nombre de micro-organismes peut proliférer dans l'eau qui sert l'habitat naturel ou comme une simple moyenne de transport pour ces microorganismes (Bennana, 2013). Ils sont peu nombreux dans les eaux de nappe du fait des conditions habituellement anaérobies et des faibles quantités de nutriments disponibles. Le transfert de matière organique dans la nappe favorise leur prolifération (Kankou, 2004).

Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites et les algues.

**II-5-1-1-La pollution bactérienne**

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).

Parmi les germes pathogènes les plus répandus dans l'eau, on distingue :

- Les germes banals : les bacilles coliformes, les protéus.
- Les bacilles dysentériques dont les *Shigella* et le bacille de flexner.
- Les salmonelles, dont le *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi* A et B et les bacilles Gartner et Morgan qui survivent peu de temps dans l'eau propre.
- Les *vibrions cholerae* qui survivent plus longtemps dans l'eau et peuvent provoquer de graves épidémies.
- Les mycobactéries (bacilles de Kokh), sont responsables de plusieurs types d'infections tuberculeuses.
- Les leptospires sont fréquemment retrouvés dans les eaux de rivières, et les eaux d'égouts.
- D'autres bactéries : Staphylocoques, le *spirobacter ictérogène*, la *pasterelle tularensis* (Bouziani, 2000).

**II-5-1-2-La pollution virale**

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 (Bouziani, 2000). Ces virus entériques sont retrouvés dans les eaux usées avant de contaminer le milieu naturel (Gantzer et al., 1998). Le tableau 5 présente les principaux virus pathogènes entérique.

**Tableau 5 :** Virus pathogènes pour l'homme se rencontrent dans l'eau (OMS, 2000).

Groupes de virus	Nombre de types	Maladies provoquées
<b>Entérovirus :</b>		
<b>Poliovirus</b>	3	Paralyse, méningite, fièvre
<b>Echovirus</b>	32	Méningite, infections respiratoires, éruptions cutanées, diarrhée, fièvre, gastro-entérite
<b>Virus coxsackie A</b>	23	Pharyngite vésiculeuse, infections respiratoires, méningite, stomatite vésiculeuse entérovirale avec exanthème (syndrome main-pied-bouche)
<b>Virus coxsackie B</b>	6	Myocardite, anomalie cardiaque congénital, éruptions cutanées, méningite, fièvre, infections respiratoires, myalgie épidémique (pleurodynie)
<b>Hépatite A</b>	1	Hépatite A
<b>Virus de la gastro-entérite (agents de type de Norwalk)</b>	2	Diarrhée et vomissements épidémiques, fièvre
<b>Rotavirus</b>	5	Diarrhée et vomissements épidémiques, principalement chez les enfants
<b>Réovirus</b>	3	Pathologie incertaine
<b>Adénovirus</b>	41	Infections respiratoires, infections oculaires
<b>Parvovirus (virus adéno-satellites)</b>	3	infection latente à la suite de l'intégration de l'ADN dans le génome cellulaire

**II-5-1-3-La pollution parasitaire**

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 (Bouziani, 2000).

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

**II-5-1-3-1-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 et 2003). 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).

**II-5-1-3-1-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 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).

**II-5-1-4-Les algues de l'eau**

Elles jouent un rôle positif pour l'équilibre des biotopes aquatiques en assurant la réoxygénation 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 des cyanophycées (cyanobactéries ou algues bleues) secrètent des endotoxines ou des toxines responsables d'allergies cutanées et respiratoires, de gastro-entérites, de dysenteries et d'hémorragies (Savary, 2010).

**II-5-2-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).

Cette pollution chimique affecte tout le cycle de l'eau, depuis la pluie jusqu'aux eaux souterraines par exemple: 7,8 % des eaux souterraines dépassent 40 mg.L<sup>-1</sup> de nitrates contre 1,6% pour les eaux de surface (Henaut, 2011).

On distingue selon la nature de la pollution chimique :

- Les éléments chimiques minéraux.
- Les métaux lourds.

**II-5-2-1-Les éléments chimiques minéraux**

Si l'on admet qu'une eau très faiblement minéralisée n'est pas recommandable du fait notamment de son propriété corrosif, les effets sur la santé humaine des eaux riches en minéraux font encore l'objet actuellement d'interrogations sur lesquelles il est nécessaire de procéder à une actualisation :

- ◆ Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sont présents naturellement dans les eaux, les apports excessifs ou mal maîtrisés d'engrais azotés engendrent une augmentation des nitrates dans les ressource (Laferriere et al., 1995).
- ◆ Le sodium a été impliqué à long terme parmi les facteurs favorisant la genèse d'une hypertension artérielle.
- ◆ Les sulfates favoriseraient à long terme un processus d'irritation gastro-intestinale surtout s'ils sont associés au sodium ou au magnésium.

- ◆ Le calcium et le magnésium facteurs de la dureté de l'eau ont des inconvénients sur l'eau puisqu'ils donnent un goût désagréable et engendrent l'entartrage rapide.
- ◆ Les chlorures, outre le goût désagréable qu'ils transmettent à l'eau, peuvent favoriser la mobilisation d'ions indésirables ou toxiques à partir des canalisations métalliques surtout si celles-ci transportent de l'eau chaude.

Ces éléments chimiques sont aujourd'hui jugées discutables et la plus grande prudence est recommandée dans l'application des traitements correctifs sur les eaux destinées à la consommation humaine (Botta et Bellon, 2004).

#### **II-5-2-2-Les métaux lourds**

Dans le milieu aquatique, les métaux lourds peuvent se présenter sous diverse formes physiques (dissoutes, particulaires) et chimiques (minérales, organiques). Afin d'évaluer la biodisponibilité du métal, il est nécessaire de connaître sa spéciation c'est-à-dire sa distribution vis-à-vis de ses différentes formes physico-chimiques.

Parmi les métaux lourds très toxiques que l'on peut trouver accidentellement dans l'eau, on distingue : le plomb, le cadmium, le cyanure, l'arsenic, le chrome, le nickel, l'antimoine, le sélénium (Vilagines, 2003).

Les principales sources émettrices de ces métaux lourds sont les industries d'extractions minières et les fonderies, les industries de transformation (métallurgie, galvanoplastie...), les usines d'incinérations et le secteur agricole (les engrais phosphatés) (Bouziani, 2000).

#### **II-5-3-Les polluants organiques toxiques**

Ce sont principalement les pesticides, les détergents et les hydrocarbures. Ces derniers ne sont pas toxiques mais ils favorisent l'assimilation des substances toxiques.

##### **II-5-3-1-Les pesticides**

Les pesticides sont des produits utilisés à la fois pendant l'épandage, pour le traitement des sols mais également pour le stockage des denrées alimentaires. Ils sont alors susceptibles, de polluer différents compartiments environnementaux mais aussi les produits de consommation, compte tenu de leurs effets toxiques pour la santé humaine (Baumont et al., 2005).

Ces produits constituent une des premières sources de contamination des eaux potables en France, suivie par les contaminations d'origine bactériologique et les nitrates. Leur présence dans les eaux de surfaces et les eaux souterraines provient d'un usage intensif en agriculture, mais aussi de leur utilisation pour le désherbage d'autres surfaces (parking, jardins...) (Ollivier, 2005).

D'après leurs usages, les pesticides sont classés de la manière suivante : les insecticides pour lutter contre les insectes, les fongicides contre les champignons, les herbicides contre les mauvaises herbes, les nématicides contre les vers, les rodenticides contre les rongeurs, les acaricides... etc (Rodier et al., 2009).

On trouve principalement dans l'eau les traces de deux herbicides, l'atrazine et la simazine, utilisés à forte dose dans les cultures de maïs (Renard, 2002).

### **II-5-3-2-Les détergents**

On désigne par détergents (du latin « detergere » : nettoyer), les produits susceptibles de permettre des opérations de nettoyage.

Les détergents sont en général biodégradés dans le sol ou adsorbés sur les argiles. Leur présence dans les eaux est due aux rejets d'effluents urbains et industriels. Certains atteignent la nappe à partir des puits ou des rivières polluées dans les nappes alluviales. Leur toxicité est faible mais en tant que produits mouillants ils peuvent favoriser la dispersion d'autres produits indésirables comme les pesticides (Ballerini et al., 1998).

Les nuisances engendrées par l'utilisation des détergents sont :

- L'apparition de goût de savon ;
- La formation de mousse qui freine le processus d'épuration naturelle ou artificielle ;
- Le ralentissement du transfert et de la dissolution de l'oxygène dans l'eau, même en l'absence de mousse, par création d'un film interfacial (Rodier et al., 2005).

### **II-5-3-3-Les hydrocarbures**

Les hydrocarbures sont des composés organiques contenant exclusivement des atomes de carbones (C) et d'hydrogène (H) (Bouderhem, 2011).

Les hydrocarbures sont divisés en deux groupes de substances : les composés organiques volatils (les COV) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques.

- Les composés organiques volatils sont représentés surtout par les alcanes, les alcènes, le benzène et le toluène. Ce sont des produits qui peuvent être déversés accidentellement dans le milieu naturel (par exemple par les fissures des réservoirs de stockage, enfouis en sous-sol) (Bouziani, 2000).

-Les hydrocarbures aromatiques polycycliques : Plusieurs familles d'hydrocarbures aromatiques dont le nombre de noyaux varie de 2 à 6 sont présentes dans les pétroles bruts. Ces composés sont dominés par des composés mono-, di- et tri-aromatiques. Généralement, les hydrocarbures aromatiques sont moins abondants que les alcanes, et ne représentent que 10 à 30 % des hydrocarbures totaux d'un brut pétrolier (Bouderhem, 2011).

La contamination de la nappe par ces hydrocarbures est généralement accidentelle (fuite de cuve d'essence, de mazout, rupture de canalisation...), ils confèrent à l'eau un goût caractéristique même à très faible teneur qui la rend imbuvable. Le traitement de la nappe se fait par pompage du polluant (Ballerini et al., 1998).

#### **II-5-4-Les polluants radioactifs**

La pollution radioactive de l'eau n'a été reconnue que tout récemment. La radioactivité actuelle provient de l'utilisation de l'énergie nucléaire et des essais de bombes atomiques aériens effectués pendant les années 1960 (Zerluth et Gienger, 2006).

Les émetteurs de rayonnement alpha ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ , ...) sont généralement d'origine naturelle et susceptible d'être présents dans les eaux souterraines de zones géologiques déterminées, granitiques pour le Radon. Les émetteurs bêta sont en général associés à des activités humaines ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ , ...) ; la radiocontamination provient de déversements hydriques volontaires ou accidentels et de retombées atmosphériques.

La majorité des radionucléides s'adsorbent facilement sur des particules (sédiments des eaux, boues d'épuration). En plus, des organismes vivants (poissons, mollusques, crustacés...) sont capables d'accumuler certains radioéléments, créant une contamination de la chaîne alimentaire. Toutefois, ce danger ne semble pas pouvoir conduire à un risque significatif compte tenu des faibles doses, sauf dans les industries utilisant la radioactivité et faisant alors l'objet d'une surveillance particulière (Hartemann, 2004).

# CHAPITRE III :

## Risques liés à l'eau et son traitement

### **III-1-Introduction**

Les risques induits par l'eau de boisson peuvent être divisés en trois catégories : les risques à court terme, moyen terme et long terme. Le risque à court terme correspond au risque pris en ne buvant qu'un seul verre d'eau : il est exclusivement microbiologique.

Les risques à moyen et long terme sont liés à la consommation régulière et continue durant des semaines, des mois, même des années d'une eau contaminée chimiquement (Montiel, 2004).

De ce fait, l'eau est le vecteur privilégié de nombreuses pathologies à transmission hydrique (Vincent, 2014). Ces principales pathologies peuvent être d'origine bactérienne, virale, parasitaire, liées à la présence de substance chimique dans l'eau et liées au manque d'eau.

### **III-2-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 Martink, 2007).

Selon le type de micro-organismes, la dose infectieuse, les voies d'exposition aux agents infectieux, nécessaires pour provoquer la maladie, est très variable. 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).

Le tableau 6 montre les principales pathologies humaines transmissibles par l'eau, les germes responsables et les différentes origines de ces pathologies.

Tableau 6: Principales infections humaines transmissibles par l'eau (Hartemann, 2004).

Pathologies	Agent responsable	Origine la plus fréquente
<p><b><u>Pathologie digestive</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fièvres typhoïde</li> <li>• Gastro-entérites</li> <li>• Choléra</li> <li>• Hépatites A, E</li> </ul>	<p><i>Salmonella typhi</i> (PARA A – B)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>E. coli</i></li> <li><i>Salmonella sp.</i></li> <li><i>Shigella sp.</i></li> <li><i>Yersinia</i></li> <li><i>Campylobacter</i></li> <li>• <i>Giardia</i></li> <li><i>Cryptosporidium</i></li> <li>• Rotavirus</li> <li><i>Vibrio cholerae</i></li> <li>Virus</li> </ul>	<p>Aliments Eau de boisson (EB) EB</p> <p>Aliments crus</p> <p>Baignades</p> <p>EB, Aliments</p>
<p><b><u>Pathologie respiratoire-ORL</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Légionellose</li> <li>• Mycoses pulmonaires</li> <li>• Affections ORL</li> <li>• Méningo-encéphalites Amibiennes</li> </ul>	<p><i>Legionella sp.</i> <i>Aspergillus sp</i> <i>Actinomyces</i> Thermophiles Adénovirus Reovirus</p>	<p>Eaux aérosolisées Compostage</p> <p>Piscines Baignades Baignades (eau douce)</p>
<p><b><u>Pathologie cutanéomuqueuse</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dermatomycoses</li> <li>• Candidoses</li> <li>• Leptospirose</li> <li>• Suppurations Bactériennes</li> <li>• Dermatitis</li> </ul>	<p>Dermatophytes</p> <p><i>Candida albicans</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Leptospires</i></li> <li>• Streptocoque hémolytique du groupe A</li> <li>• <i>Staphylococcus</i></li> <li>• <i>Pseudomonas</i></li> <li>Furcocercaires</li> </ul>	<p>Métiers au contact de l'eau : piscines, baignades, eaux usées, terrassment</p>

### III-2-1-Les maladies d'origine bactérienne

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

#### III-2-1-1-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<sup>-</sup>: *Vibrio cholerae*. Il s'agit d'une bactérie appartenant à la famille des Vibrionaceae et au genre du cholerae. 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 Roux, 2002; Aubry, 2013).

#### III-2-1-2-La fièvre typhoïde

La fièvre typhoïde (du grec tymphos, torpeur) ou typhus abdominal est une maladie infectieuse découverte en 1818 par Pierre Bretonneau, causée par une bactérie de la famille Entérobactérie, du genre des salmonelles 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, la nourriture 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).

### **III-2-1-3-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).

### **III-2-1-4-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), dysenterie amibienne ou amibiase (causée par des amibes). Seule la shigellose peut entraîner la mort, les taux de mortalité peuvent atteindre 20% (Briere, 2000).

### **III-2-2-les maladies d'origine virale**

Aux cotés des maladies d'origine bactérienne, nous avons des maladies virales. On peut citer :

#### **III-2-2-1-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 genre Héparnavirus.

Le virus de l'hépatite A (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).

### III-2-2-2-La poliomyélite

La poliomyélite est une maladie infectieuse aiguë, essentiellement neurotrope, 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 (paralysie infantile) (OMS, 2000 ; Zoungrana, 2009 ; Aubry et Gaüzere, 2012).

### III-2-3-Les maladies 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 véhiculé 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).

### **III-3-Les risques liés à la présence des substances chimiques dans l'eau**

L'être humain trouve une grande part de ses besoins en substances minérales dans l'eau de boisson. C'est en général la présence d'un excès de certains éléments qui peut induire soit directement, soit indirectement, des effets néfastes pour la santé.

Les effets ne se manifestent généralement qu'à moyen ou long terme et peuvent prendre des formes très diverses telles que cancérogénicité, mutagénicité, troubles métaboliques (Savary, 2010).

A moyen terme, des pathologies ont été identifiées, induites par le fluor c'est la fluorose dentaire qui peut être apparaitre à partir de  $4\text{mg.L}^{-1}$  de fluor, ou les nitrates qui se transforment en nitrites dans l'estomac. Ces nitrites peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine du sang en méthémoglobine, impropre à fixer l'oxygène. Ce phénomène est à l'origine de cyanoses, surtout chez les nourrissons (Laferriere et al., 1995).

A long terme, le rôle néfaste de macroconstituants des eaux (sodium, dureté, etc.) n'a pas été confirmé. En revanche, certains microconstituants sont réellement impliqués dans un risque hydrique, tels des métaux lourds (plomb, cadmium) ; Le plomb par exemple passe dans le sang et va perturber de nombreux mécanismes biochimiques, touchant principalement le système nerveux mais ainsi d'autres fonctions, comme la reproduction. Les enfants exposés de manière prolongée à de faibles doses de plomb peuvent aussi développer un saturnisme : Une maladie caractérisée par divers troubles pouvant être irréversibles (Laurence, 2003 ; Douard et Lebental, 2013).

D'autres interrogations subsistent pour certaines molécules organiques comme les pesticides et d'une manière plus générale, pour les sous-produits minéraux ou organiques de la désinfection (chloration surtout) des eaux, en termes de risque cancérogène (Morris, 1995 ; Cantor, 1997).

Donc d'une façon générale, le risque chimique peut être lié, soit à la contamination de l'eau brute, soit durant le traitement de l'eau (dérivés de coagulants, sous-produits de désinfection), soit au transport de l'eau par des contaminants présents dans les tuyaux tels que le plomb, l'amiante et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (Hartemann, 2004).

### **III-4-Les risques liés au manque d'eau**

Le manque d'eau pourrait avoir, si rien ne change, une importante conséquence. En Afrique, 150 millions de résidents urbains, soit la moitié de la population urbaine n'ont pas d'accès adéquat à la distribution d'eau et 180 millions, quelque 60% de la population urbaine n'ont pas de système sanitaire adéquat. Quatre millions de personnes meurent chaque année de maladies liés au manque d'eau (Barhoumi-Andreani et al., 2004).

Pour ceux qui recueillent et transportent l'eau (communément les femmes et les enfants), la rareté de l'eau peut signifier des déplacements sur de longues distances pour aller la chercher. Pour les cultivateurs, cette rareté de l'eau signifie la famine quand la sécheresse décime les cultures. Dans les hôpitaux, les dispensaires et autres endroits où l'on soigne les malades, le manque d'eau pour laver peut permettre aux infections de se propager d'une personne à une autre (Conant, 2005).

L'Algérie est un pays au climat semi-aride et est touché par la pénurie. Ses grandes agglomérations subissent une pression démographique telle qu'il devient impossible de satisfaire la demande (Fouatih et al., 2007).

### **III-5-Gestion des risques hydriques**

Pour assurer une protection du personnel vis-à-vis des risques hydriques, la gestion technique et hygiénique doit être la plus préventive possible et, à ce titre, s'appliquer dès le choix de la ressource puis lors de la conception et de la réalisation des installations (Hartemann, 2004).

La gestion des ressources en eau fait partie intégrante de la gestion préventive de la qualité de l'eau de boisson. La prévention de la contamination microbienne et chimique de l'eau de source est la première barrière s'opposant à une contamination de l'eau de boisson préoccupante pour la santé publique (OMS, 2000).

Depuis 2002, l'Algérie s'est engagée dans une politique équilibrée de mobilisation et de diversification des ressources en eau dans un contexte de forte croissance démographique dans les centres urbains qui a largement contribué à celle des besoins en eau du pays. Cependant cette politique algérienne a été d'avantage axée sur la mobilisation de nouvelles ressources que sur la recherche d'une meilleure utilisation des ressources déjà disponibles (Benblida, 2011). Actuellement, l'Algérie possède soixante-dix barrages d'une capacité de stockage de 7,3 milliards de m<sup>3</sup> (capacité qui passera à 8,9 milliards de m<sup>3</sup> avec 84 barrages en 2014).

Ces importantes réalisations dans le domaine de la mobilisation des ressources en eau ont permis d'augmenter sensiblement le taux de raccordement moyen au réseau d'eau potable qui atteint selon les sources officielles 95% au niveau national, et une dotation de 175 litres/jour/habitant (Arif et Doumani, 2013).

### **III-6-Evaluation des risques hydriques**

#### **III-6-1-Evaluation des risques chimiques**

L'évaluation du risque d'origine chimique est utilisée principalement lors de la détermination des normes ou recommandations de qualité d'eau potable. Cette démarche peut être aussi utilisée en cas de dépassement de normes afin de déterminer l'importance et le type de mesure à prendre pour protéger la santé de la population exposée. La première étape utilisée habituellement dans l'évaluation de risques consiste à évaluer si la substance à l'étude a un caractère cancérigène et si celui-ci est suffisamment documenté (cancérigène certain ou probable pour l'humain). En fonction de ces données, on réalise une démarche permettant de proposer une concentration maximale dans l'eau (OMS, 1994).

#### **III-6-2-Evaluation des risques microbiologiques**

Pour évaluer ces risques un certain nombre d'indicateurs de contamination fécale ont été retenus. On cite les organismes coliformes qui sont les Coliformes totaux et les Coliformes fécaux (thermotolérant), les Stréptocoques fécaux et les *Clostridium* sulfito-réducteurs (Hartemann, 2004).

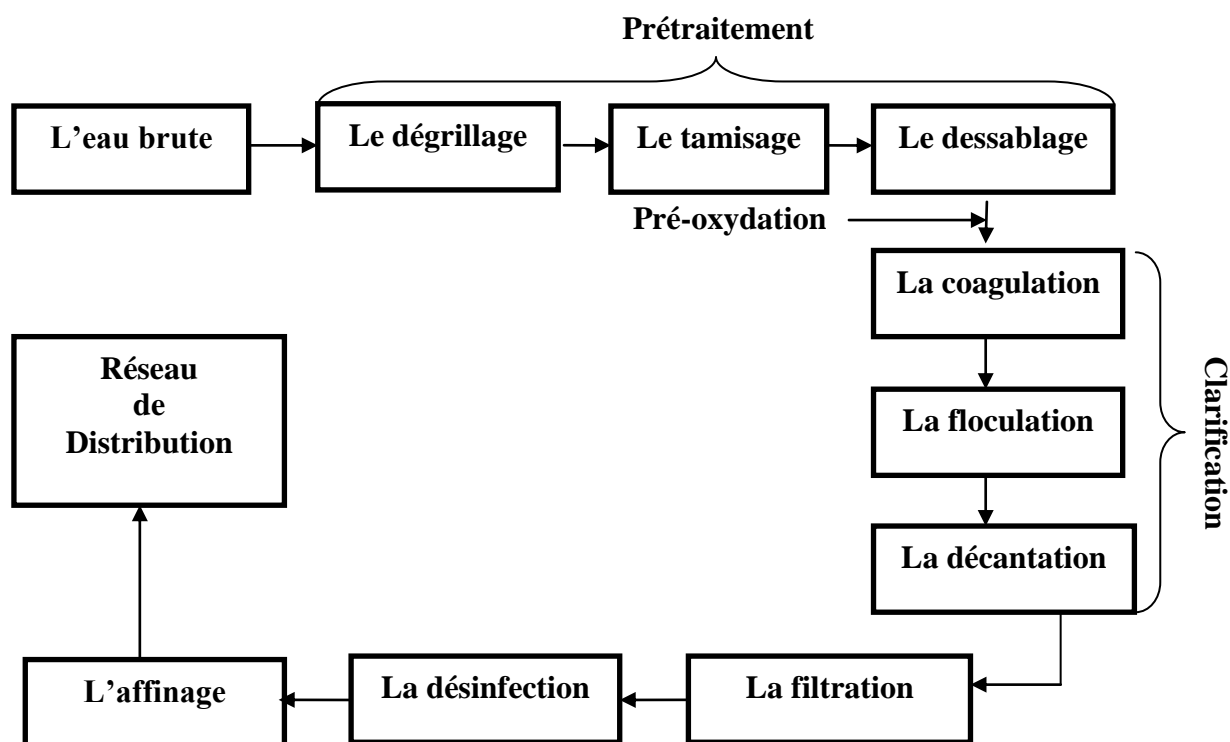
### **III-7-Traitement de l'eau de consommation**

Qu'elles soient d'origine souterraine ou superficielle, les eaux utilisées pour l'alimentation humaine sont rarement consommables telles quelles. Il est souvent nécessaire de leur appliquer un traitement plus ou moins approprié. L'objectif fondamental du traitement de l'eau est de protéger les consommateurs des micro-organismes pathogènes et des impuretés désagréables ou dangereuses pour la santé (Valentin, 2000).

#### **III-7-1-Traitement des eaux de surface**

Les eaux superficielles ne sont pas directement utilisables pour l'alimentation en eau potable, car elles sont chargées de nombreuses impuretés dissoutes ou en suspension d'origine naturelle ou liées à des pollutions. Parmi ces substances, on trouve les acides humiques qui produisent des trihalométhanes en présence de chlore. La qualité de ces eaux brutes varie également dans le temps, en fonction de la saison, de la météorologie, de l'activité biologique...etc (Jestin, 2006).

Donc pour pouvoir être consommées sans danger, les eaux de surface doivent être traitées. Les étapes de traitement sont les suivantes (Fig.4) :



**Figure 4 :** Etapes de traitement des eaux brutes (Glaude et Robert, 2001).

### **III-7-1-1-Prétraitement**

Une eau, avant d'être traitée, doit être débarrassée de la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne pour les traitements ultérieurs. Pour cela, on effectue des prétraitements de l'eau de surface. Les prétraitements sont principalement de trois types:

- Le dégrillage.
- Le tamisage.
- Le dessablage.

#### ➤ **Le dégrillage**

Le premier poste de traitement, permet de retenir les matières volumineuses (flottants, morceaux de bois, feuilles mortes...etc) et d'empêcher la pénétration des poissons. Cette opération est à effectuer avant la station de pompage afin de protéger d'abord les pompes et ensuite d'alléger les étapes ultérieures de prétraitement (Masson et al., 1999).

#### ➤ **Le tamisage**

Est une opération préconisée sur les eaux peu chargées en matières en suspension avant leur traitement (Bourrier et Selmi, 2011). Il permet d'éliminer des objets plus fins que ceux éliminés par le dégrillage. Il s'agit de feuilles ou de morceaux de plastique par exemple (Kettab, 1992).

#### ➤ **Le dessablage**

Il consiste à l'élimination des sables présent dans les eaux brutes, est une opération indispensable pour :

- Eviter les dépôts dans les amenées et installations ;
- Protéger les pompes et les autres organes mécaniques contre l'abrasion ;
- Eviter de perturber les autres stades de traitement (Bassompierre, 2007).

### **III-7-1-2-Pré-oxydation**

La pré-oxydation des eaux brutes, en particulier les eaux provenant de barrages-réservoirs en voie d'eutrophisation, qui présentent une teneur élevée en matière organique du type substance humique ( $\approx 10 \text{ mg.L}^{-1}$  de COT), en azote ammoniacal ( $\text{NH}_4$ ), une turbidité et une faible minéralisation, améliore le processus de coagulation et floculation et la décantation (Bourrier et Selmi, 2011).

Les composés les plus souvent utilisés sont des agents chlorés : le chlore gazeux ( $\text{Cl}_2$ ), l'hypochlorite de sodium ou « eau de javel » ( $\text{NaClO}$ ), le dioxyde de chlore ( $\text{ClO}_2$ ), l'ozone ( $\text{O}_3$ ) et le permanganate de potassium ( $\text{KMnO}_4$ ). Le choix de l'oxydant dépend de la qualité des eaux brutes utilisées et des objectifs que l'on veut atteindre (Jestin, 2006).

Le chlore est le réactif le plus économique, mais il a comme inconvénient, la formation avec certains micropolluants des composés organochlorés du type chloroforme ou des composés complexes avec les phénols du type chlorophénol dont le goût et l'odeur sont désagréables (Masson et al., 1999).

La pré-oxydation par le dioxyde de chlore et l'ozone ne présentent pas l'inconvénient du chlore : ils sont également algicides sans toutefois oxyder l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4$ ) et améliore généralement les conditions de coagulation et floculation (Bourrier et Selmi, 2011).

### III-7-1-3-La clarification

La clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les matières en suspension (MES) d'une eau brute ainsi que la majeure partie des matières organiques. La clarification comprend les opérations de coagulation, floculation, de décantation et de filtration (Bassompierre, 2007).

#### III-7-1-3-1-La coagulation

Généralement le processus de coagulation est appliqué directement à l'eau brute. De ce fait, il est avec l'oxydation, l'un des procédés les plus importants dans les filières de traitement des eaux de surface.

Fondamentalement, la coagulation implique à l'élimination des particules colloïdales c'est-à-dire les particules en suspension qui, sur la base de leurs dimensions moyennes de 5 à 200 nm. Ce processus résulte de l'addition des réactifs chimiques (appelés coagulants) dans des dispersions aqueuses afin d'assembler en agrégats plus gros, les fines particules dispersées (Masschelein, 1996). Les principaux coagulants chimiques utilisés sont à base d'aluminium ou de fer. Les principales formes chimiques utilisables et disponibles de ces métaux sont le sulfate d'aluminium ( $\text{Al}_2\text{SO}_4$ , appelé également alun), le sulfate de fer ( $\text{FeSO}_4$ ) et le chlorure de fer ( $\text{FeCl}_3$ ). Ces différents produits sont le plus souvent commercialisés sous forme de cristaux.

Il convient de suivre les instructions du fabricant pour appliquer les dosages adéquats en fonction des volumes d'eau à traiter. Une agitation de l'eau pendant plusieurs minutes accélère l'agrégation des particules solides qui peuvent alors décanter (Desille, 2012).

### **III-7-1-3-2-La floculation**

Lors du processus de floculation, les fines particules dispersées sont combinées en agglomérats plus gros qui peuvent être éliminés par un processus subséquent tel la décantation ou la filtration. La floculation est déterminée par le contact entre particules qui conduit à la croissance en taille et la diminution en nombre des particules en solution (Masschelein, 1996).

Elle est réalisée par une agitation lente qui permet, grâce à l'injection d'un réactif appelé « floculant » l'agglomération des floes et donc leur grossissement. Les floculants généralement utilisés sont la silice activée, les alginates de sodium, les polyélectrolytes...etc (Jestin, 2006).

### **III-7-1-3-3-La décantation**

La décantation est un procédé qu'on utilise pratiquement dans toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux, a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Ces particules sont en générale des particules de floe ou des particules résultant de la précipitation qui a lieu lors des traitements d'adoucissement ou d'élimination du fer et du manganèse (Desjardins, 1997). Les matières organiques ou minérales grenues et les matières floeuses chutent au fond du bassin de décantation et constituent des boues qui sont extraites périodiquement. L'eau clarifiée, située près de la surface, est dirigée vers l'unité de filtration (Bourrier et Selmi, 2011).

### **III-7-1-3-4-La filtration**

La filtration est un procédé de séparation solide/ liquide qui utilise le passage à travers un milieu poreux (la plus courante est le sable) qui retient les particules en suspension dans l'eau brute ou l'eau prétraitée (floculée et décantée) mesure que les particules solides atteignent la couche filtrante, elles se déposent et absorbent les matières minérales ou organiques qui arrivent ultérieurement (Degremont, 2005). Ceci peut conduire à la formation d'un film biologique. Avec le temps, il y a diminution du diamètre des pores du filtre, on dit qu'il y a colmatage.

D'une façon générale, on distingue deux types de filtration :

- La filtration lente qui a l'avantage d'être une opération facile mais présentant plusieurs inconvénients tels que la nécessité d'une grande surface et l'exigence d'une eau dont la turbidité est faible.
- La filtration rapide, qui en revanche est une opération relativement complexe mais palliant aux inconvénients de la première (Desjardins, 1997 ; Degremont, 2005).

### **III-7-1-4-La désinfection**

La désinfection est sans aucun doute l'étape la plus importante du traitement de l'eau destinée à la consommation (OMS, 2000). Elle est un traitement qui permet de détruire ou d'éliminer les microorganismes susceptible de transmettre des maladies hydriques. Ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation, qui est la destruction totale des organismes vivants dans un milieu donnée.

On peut procéder à la désinfection en ajoutant à l'eau une certaine quantité d'un produit chimique doté de propriétés germicides. Les produits chimiques les plus utilisés sont : le chlore, le dioxyde de chlore, l'ozone, le brome, l'iode et le permanganate de potassium. On peut également désinfecter l'eau grâce à des moyens physiques : ébullition, ultrasons, ultraviolets ou rayons gamma (Desjardins, 1997 ; Bourrier et Selmi, 2011).

### **III-7-1-5-L'affinage**

Pour un perfectionnement de la qualité de l'eau traitée, on procède à l'affinage visant à éliminer les micropolluants qui existent déjà dans l'eau ou qui se sont formés au cours du traitement et qui n'ont pas été totalement abattus par la coagulation-floculation et améliorer la qualité organoleptique de l'eau (Degremont, 2005).

Cet affinage est réalisé par le phénomène d'adsorption, généralement sur le charbon actif. Celui-ci est mis en œuvre soit en poudre au cours de la floculation et sera par la suite évacué avec la boue, soit sous forme de grains, habituellement utilisé après filtration sur sable (Jestin, 2006 ; Masschelein, 1996).

### III-7-2-Traitement des eaux souterraines

La moitié des eaux souterraines que nous consommons n'a besoin d'aucun traitement (Myrand, 2008), mais certaines d'entre elles présentent toutefois, naturellement, des teneurs excessives en certains éléments (fer, manganèse, turbidité). D'autres dépourvues de protection naturelle, sont soumises à des pollutions ponctuelles (souvent accidentelles), diffuses (nitrates et produits phytosanitaires) ou microbiologiques (liées à certains aquifères sensibles tels que les milieux fissurés karstiques ou à des contaminations de proximité au niveau des installations de captage) et donc doivent subir un traitement spécifique avant mise en distribution (Jestin, 2006).

Le traitement de ces eaux souterraines comportera en générale les étapes suivantes (le nombre et le choix des étapes étant fonction de la qualité de l'eau) :

- Décantation : celle-ci peut être accélérée par l'addition d'un flocculant (sels de fer ou d'aluminium) ;
- Filtration sur lit de sable, cette opération étant parfois combinée à la première, ou plus récemment sur filtres en matériaux céramiques ou cellulosiques ;
- Elimination des composés organiques ou minéraux indésirables ou en excès par passage sur charbon actif (adsorption des molécules organiques) ou sur résine échangeuse des ions (élimination des sels minéraux) (Jestin, 2006) ;
- Désinfection par traitement oxydant à l'ozone, au chlore, au bioxyde de chlore ou aux dichloramines, qui élimine les micro-organismes ;
- Post-chloration, avant envoi dans le réseau, ou les réservoirs de façon à maintenir une teneur résiduelle en chlore libre actif de  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$  environ (Festy et al., 2003).

# DEUXIEME PARTIE: MATERIEL ET METHODES

### 1-Cadre de l'étude

L'augmentation spectaculaire de la population d'El-Harrouch a provoqué le développement anarchique de cette petite ville avec la multiplication et l'extension des quartiers spontanés à la périphérie. De ce fait, les difficultés d'approvisionnement en eau potable sont considérables ce qui rend l'utilisation des eaux souterraines est obligatoire. Les eaux souterraines que nous avons étudiées sont essentiellement des eaux phréatiques, accessibles au niveau des puits.

L'étude a été menée dans un laboratoire de la qualité des eaux au niveau de la station de traitement d'eau potable de Hamadi-Krouma sous la direction de l'Algérie des eaux (A.D.E) de Skikda.

La station de traitement d'eau potable de Hamadi-Krouma, mise en service en 1979, elle a été réalisée par OCP de Belgique, pour traiter un volume de 5000m<sup>3</sup>/h provenant du barrage de Zérdazas à 30 Km du chef lieu Skikda. La mise en service d'un deuxième barrage, Kenitra, à 50km, a permis l'arrêt des venues d'eau du barrage de Zérdazas.

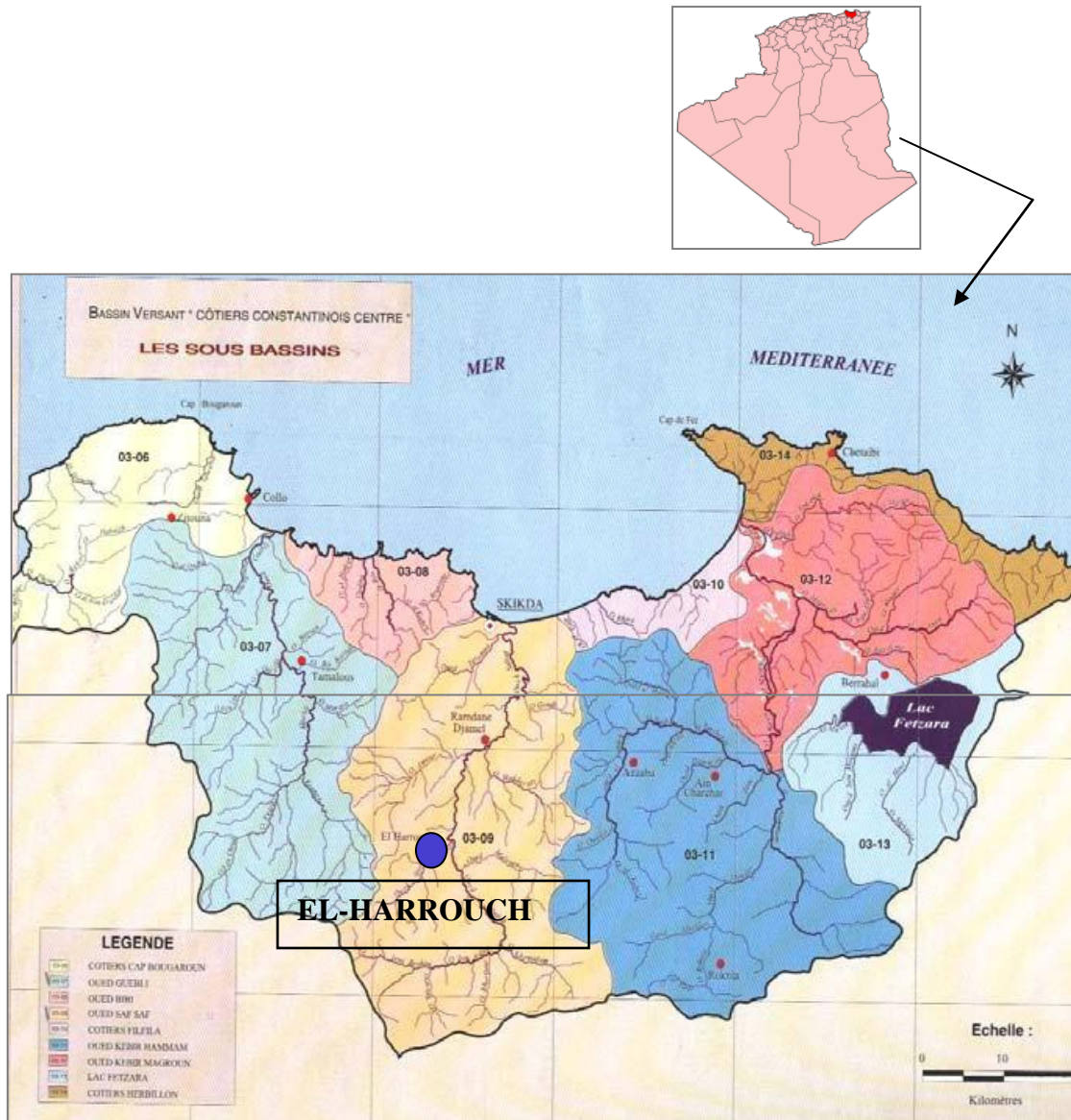
Actuellement, la station Hamadi-Krouma alimente la ville de Skikda et la zone industrielle, elle a une capacité de 3600 m<sup>3</sup>/h (Lounnas, 2009).

### 2-Présentation de la région d'étude

#### 2-1-Situation géographique

El-Harrouch est une petite ville jouit d'une situation extraordinaire, car elle se retrouve sur un axe de développement majeur reliant la ville de Skikda et la métropole de Constantine et Annaba, qui est la route nationale N°3 (Bouraoui, 2007).

La commune d'El-Harrouch est située géographiquement au Nord-est du pays et au Sud de la wilaya de Skikda. Sa surface globale est de 101,80 km<sup>2</sup>. Elle est limitée au Nord par la commune d'Emjez Edchich, au Nord-est par la commune de Salah Bouchaour, au Sud-est par la commune de Zérdazas, au Sud-ouest par la commune d'Ain Bouziane et au Nord-ouest par la commune de Sidi Mézghiche (URBACO, 2011) (Fig.5).



**Figure 5:** Situation géographique de la région d'El-Harrouch (Google, 2015).

### 2-2-Contexte démographique

La commune d'El-Harrouch s'étend sur une superficie de 100 km<sup>2</sup>, elle compte une population de 19194 habitants en 1987 et 28090 habitants en 1998 soit un taux de croissance annuel constant de 3,45% qui est inférieur à la moyenne nationale (3,57%) pendant cette période.

D'après les résultats de la phase préliminaire du recensement 2008, le nombre de la population agglomérée à El-Harrouch est estimée à 32493 habitants soit un taux de croissance de 1,63% (Tab.10 en annexe). Cependant, l'agglomération regroupe 67,75% de la population de la commune en 2007.

## DEUXIEME PARTIE: MATERIEL ET METHODES

---

Le taux d'accroissement annuel estimé entre 1998 et 2008 indique un comportement de la population en contradiction avec la taille de la ville, car c'est une petite ville et la règle générale révèle qu'une petite ville présente le taux d'accroissement le plus élevé (Bouraoui, 2007).

### 2-3-La géologie

La structure du bassin d'El Harrouch et sa bordure correspondent à trois phases sont :

- a) Au Sud, le Djebel Deirah est la retombée de substratum paléozoïque de la chaîne calcaire des kefs Sebaroud et M'souma. Il est limité par l'accident décrochant et vertical du col du Kantor qui est responsable de l'escarpement de ligne de faille du Djebel Deirah et de son prolongement vers Koudiat Zouemel.
- b) Le fond de la dépression et les buttes occidentales sont taillées dans les argiles et marnes vanicolores des flyschs mauritaniens.
- c) Enfin le talus septentrional fait partie de la nappe numidienne (URBACO, 2011).

### 2-4-L'hydrographie

Les terrains de la commune d'El Harrouch sont drainés par trois oueds et trois chaabatts et dont les bassins versants s'étendent même à l'extérieur de la commune.

Le plus important cours d'eau, après Oued Safsaf qui passe à la limite Est-nord-est de la commune, est Oued N'ssa. Son bassin versant est de 85,7 Km<sup>2</sup> de superficie et occupe la plus grande partie de la commune.

- Oued Barous est situé à l'Ouest de la commune avec seulement la moitié du flanc à sa rive droite dans la commune. Sa surface de tout ce bassin versant est 21.15km<sup>2</sup>.
- Oued Ben hadid est situé à limite Nord-ouest de la commune. La surface du bassin versant qui englobe l'ensemble de ces cours d'eau est de 16,85km<sup>2</sup>.

Les chaabatts présentes dans la région sont :

- Chaabatt El mroudj est située au Nord de la commune et traverse le chef lieu d'El Harrouch. La surface de son bassin versant est de 11,25km<sup>2</sup>.
- Chaabatt M'souna est située à l'Est de la commune. A sa partie avale, un affluent sans dénomination vient s'ajouter pour se jeter à Oued Saf Saf.
- Chaabatt Melha est située au Nord de chaabatt El M'roudj. La surface de son bassin versant est de 3,40km<sup>2</sup>. Ce cours d'eau est tributaire d'Oued Saf Saf.

## DEUXIEME PARTIE: MATERIEL ET METHODES

---

Les cours d'eau suscités sont à régime exotérique. Leur exploitation pour l'agriculture est au fil d'eau pour les terrains à leur proximité. Pendant les pluies exceptionnelles, ils présentent des risques d'inondations pour les constructions situées sur leur lit majeur (URBACO, 2011).

### 2-5-Les ressources économiques

Trois zones d'activités sont recensées dans la commune d'El Harrouch et constituent une ressource économique non négligeable (Tab.7).

**Tableau 7:** Localisation des zones d'activités (ZAC) dans la commune d'El-Harrouche.

NOMBRE	Intitulé de la zone	superficie totale (ha)	Nbre de Lots crée	Nbre de Lots attribue	Nbre de lots régularisé	Nbre de lots vacants	Superficie de Lots vacants
01	ZAC n°01 EL-harrouch	4,44	27	27	27	00	00
02	ZAC n°01 EL-harrouch	8,39	24	24	24	00	00
02	ZAC 39 lots EL-harrouch	5,10	39	39	39	00	00

Les infrastructures industrielles existant sur le territoire de la commune, sont représentées par :

- Des unités industrielles de fabrication alimentaire et boissons gazeuses (ERIAD-EDIPAL- Limonaderies ....etc.).
- Des unités de production d'huile d'olive.
- Unité de fabrication d'aliments du bétail.
- Des unités de menuiserie, maintenance et calibration des équipements électroniques.

### 2-6-L'occupation du sol

La répartition générale des terres de la commune se caractérise par :

- L'importance de la surface agricole utile (SAU) qui représente 62,62 % de la superficie totale.
- Une prédominance des céréales qui représentent 55,36 % de la superficie globale.
- Les forêts couvrent une superficie globale de 680ha dominées par le maquis et les broussailles (URBACO, 2011).

### 2-7-L'étude climatologique

L'étude climatologique est nécessaire pour toute étude hydrogéologique car elle facilite la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux superficielles et souterraines. L'évaluation du bilan hydrique exige la connaissance des paramètres suivants : Les températures, les précipitations, l'humidité relative et les vents. La connaissance de ces caractéristiques climatiques conditionne le développement des végétaux, et assure la bonne production (Nechem, 2009).

Les données climatiques nécessaires à l'élaboration de la présente étude sont recueillies à partir de la station hydro-pluviométrique de Skikda et d'Alger et à partir de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) et l'ONM (Office National de la Météorologie).

Par ailleurs, les stations choisies dont les données (précipitations et températures) sont les plus complètes et les plus proches de notre secteur d'étude sont :

- La station de Skikda.
- La station d'El Harrouch.
- La station de Ramdane Djamel.
- La station de Zérdazas.

Les coordonnées de ces stations météorologiques sont consignées au (Tab.8) suivant :

## DEUXIEME PARTIE: MATERIEL ET METHODES

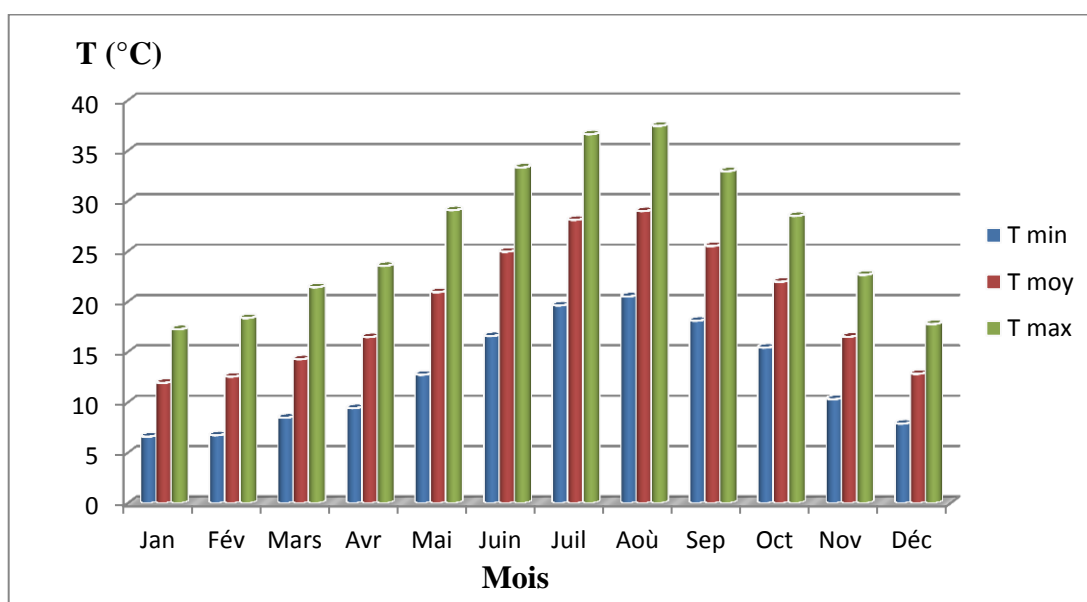
**Tableau 8:** Les coordonnées Lambert des stations étudiées (BCEOM-BG-SOGREAH, 2005).

Station	Code	X (km)	Y (km)	Alt. (m)	Période d'observations
Skikda	03.08.01	874,500	406,400	5	1990-2012
El Harrouch	03.09.06	869,700	379,700	137	1970-2009
Ramdane Djamel	03.09.09	874,950	389,850	45	1970-2009
Zérdazas	03.09.03	875,290	374,590	189	1970-2008

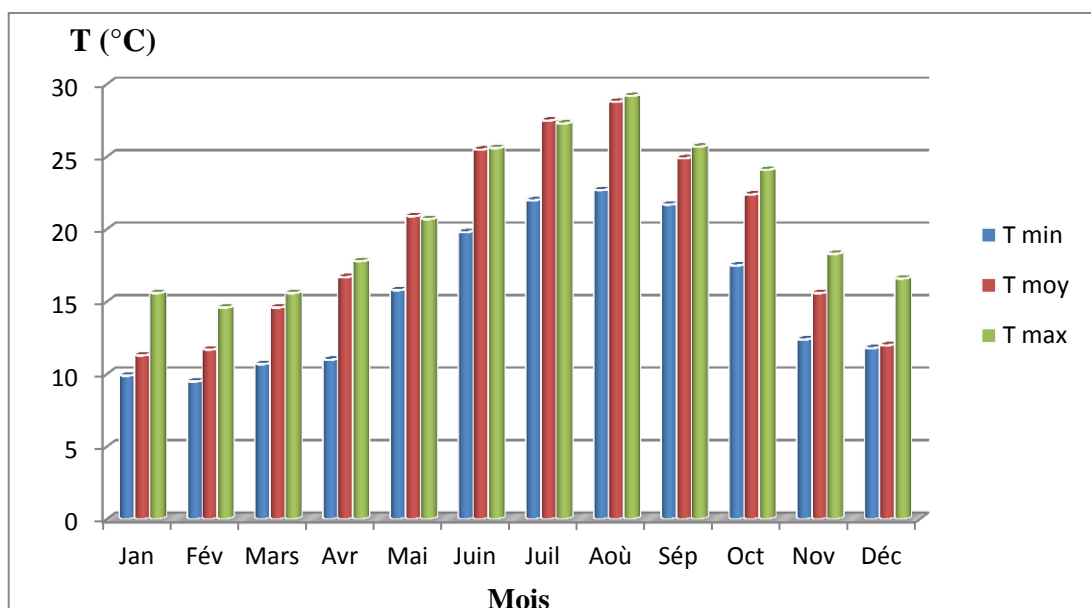
### 2-7-1-Les températures

La température est un facteur limitant, donc la connaissance des températures est nécessaire pour déterminer leurs incidences sur le choix de culture. Dans la région de Skikda, la température est influencée principalement par la mer.

Pour les deux stations de Skikda et Zardézas, le mois de Janvier est le mois le plus froid (11 à 15°C) et le mois d'Août étant le plus chaud (37°C à Skikda et 29°C à Zérdazas) (Fig.6 et 7).



**Figure 6 :** Variation moyenne mensuelle de la température de station de Skikda (Période 1990-2012).



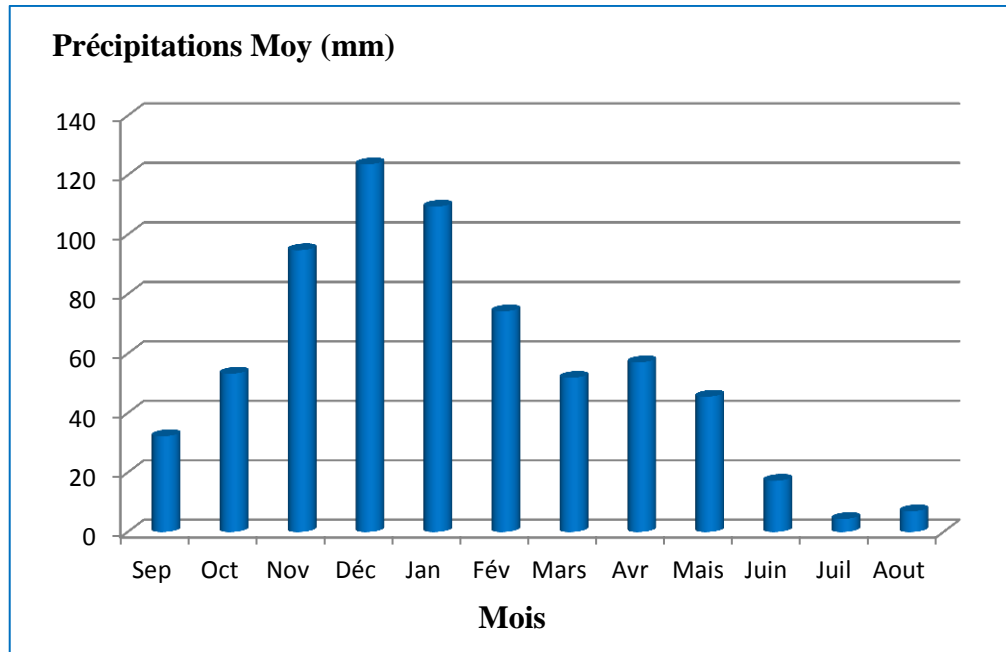
**Figure 7 :** Variation moyenne mensuelle de la température de station de Zérdazas (Période 1970-2006).

Les températures sont positives tout au long de l'année. La température moyenne annuelle des deux stations de Skikda et de Zérdazas est respectivement de l'ordre de 19,61°C et de 19,3°C (Tab.11 en annexe).

### 2-7-2- Les précipitations

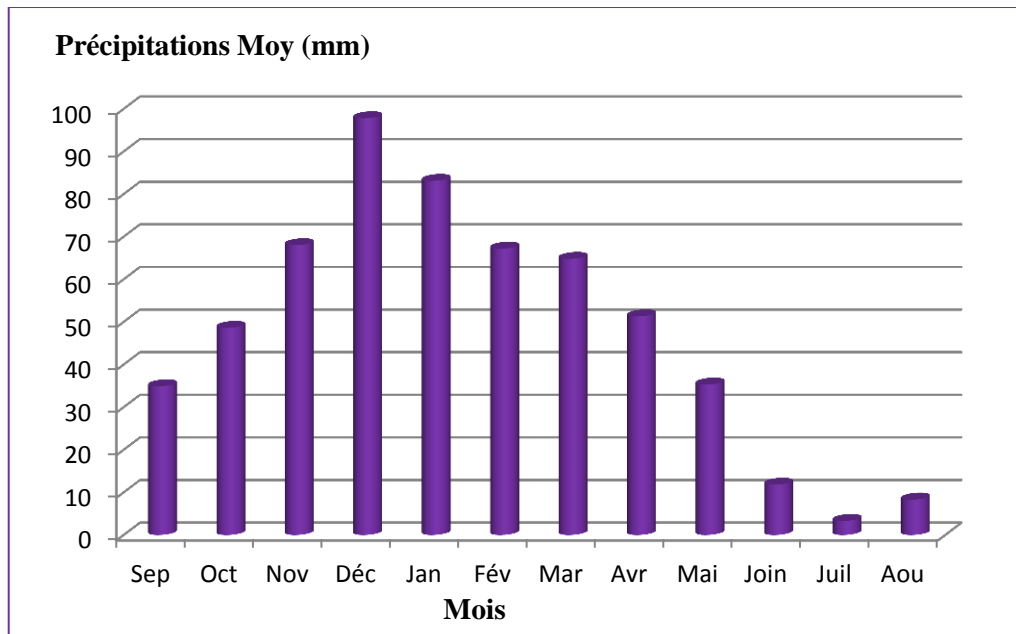
La pluie est un facteur essentiel qui caractérise le climat d'une région, elle joue un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eau et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines.

Les précipitations moyennes mensuelles dans les quatre stations sont représentées sur les histogrammes suivants :

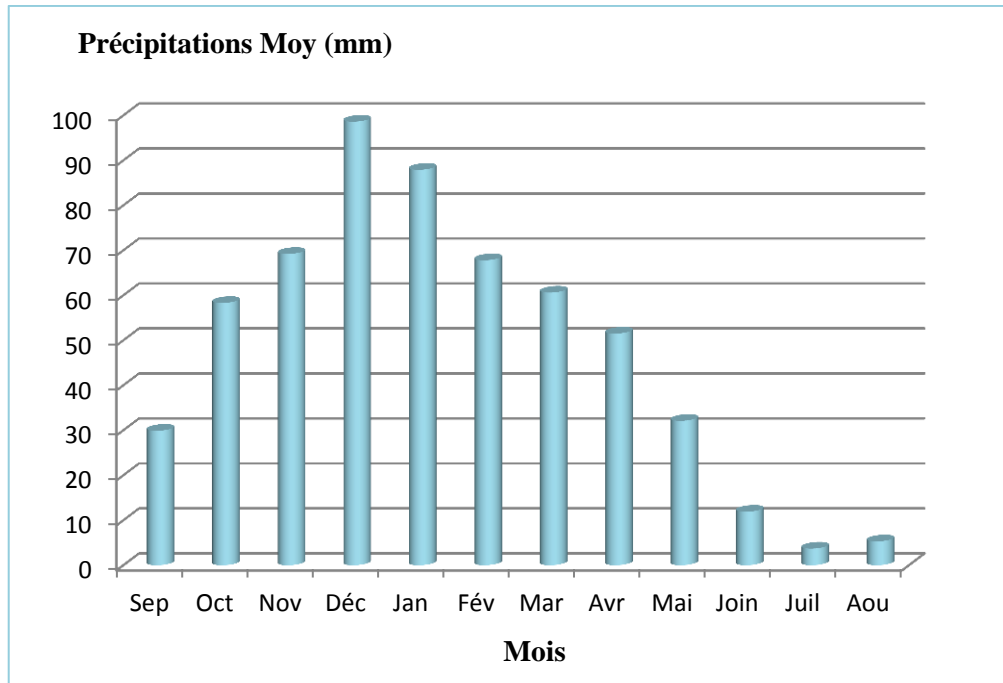


**Figure 8:** Répartition mensuelle des précipitations au niveau de station de Skikda.

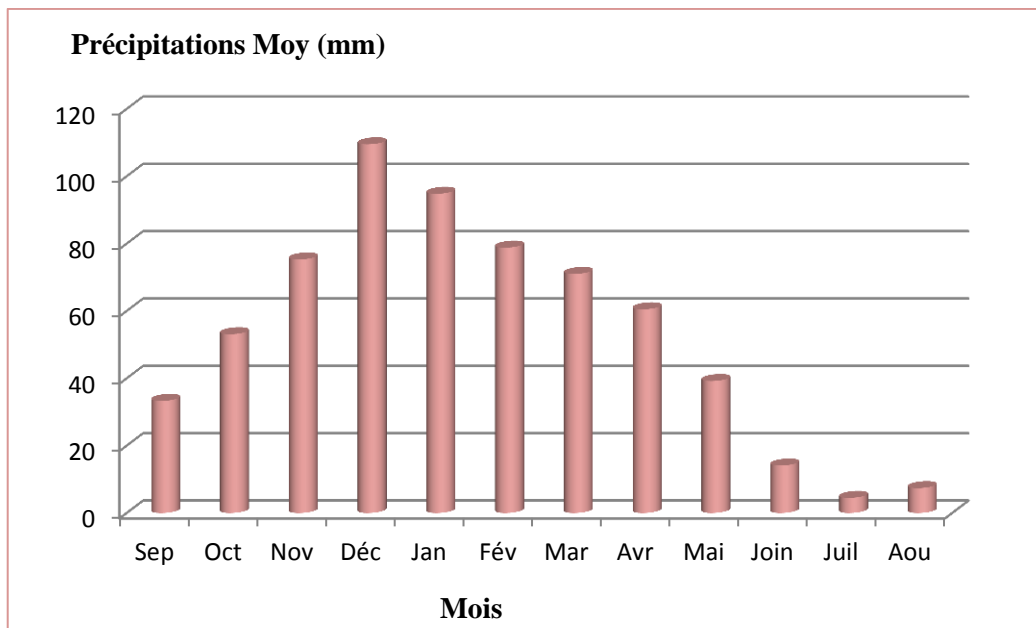
L'examen de la répartition mensuelle des précipitations au niveau de la station de Skikda, montre que la valeur maximale des précipitations est enregistrée dans le mois de décembre (123,64mm) (Fig.8), la moyenne interannuelle des précipitations est de l'ordre de 670,41mm (Tab.12 en annexe).



**Figure 9:** Répartition mensuelle des précipitations au niveau de station d'El-Harrouch.



**Figure 10:** Répartition mensuelle des précipitations au niveau de station de Ramdane Djamel.



**Figure 11:** Répartition mensuelle des précipitations au niveau de station de Zérdazas.

Ces trois derniers histogrammes (Fig.9, 10 et11), donnent un aperçu sur les variations mensuelles des précipitations dans les stations d'El-Harrouch, de Ramdane Djamel et de Zérdazas.

## DEUXIEME PARTIE: MATERIEL ET METHODES

Une période pluvieuse constitue par les mois les plus arrosés, se situe entre Octobre et Février où on trouve le mois de Décembre est le mois le plus pluvieux au niveau des trois stations : on a enregistré un maximum de l'ordre de 97,8 mm à la station d'El-Harrouch, 98,6mm pour la station Ramdane Djamel et 109,5 mm pour celle de Zérdazas. Tandis que le mois de Juillet est le mois le moins pluvieux auquel on marque un minimum de l'ordre de 3,3 mm à la station d'El-Harrouch, 3,7 mm à la station de Ramdane Djamel et 4,5 mm à la station de Zérdazas.

### 2-7-3-La pluviométrie

L'analyse des deux paramètres climatiques (température et précipitation) permet de tracer la courbe pluviométrique qui met en évidence deux périodes : Sèche et humide.

#### 2-7-3-1-Courbe pluviométrique de la station de Skikda

L'étude de la courbe pluviométrique sur une période de 22 ans (1990-2012) montre que la région étudiée est caractérisée par deux périodes :

- L'une humide et pluvieuse s'étalant du mois de Novembre jusqu'à la moitié du mois de Mai, caractérisée par une précipitation relativement élevée qui atteint 123,64 mm pendant le mois de Décembre.
- L'autre sèche s'étalant de la moitié du mois de Mai jusqu'à la fin du mois de Septembre avec une température moyenne maximale de 29,01°C au mois d'Août (Fig.12).

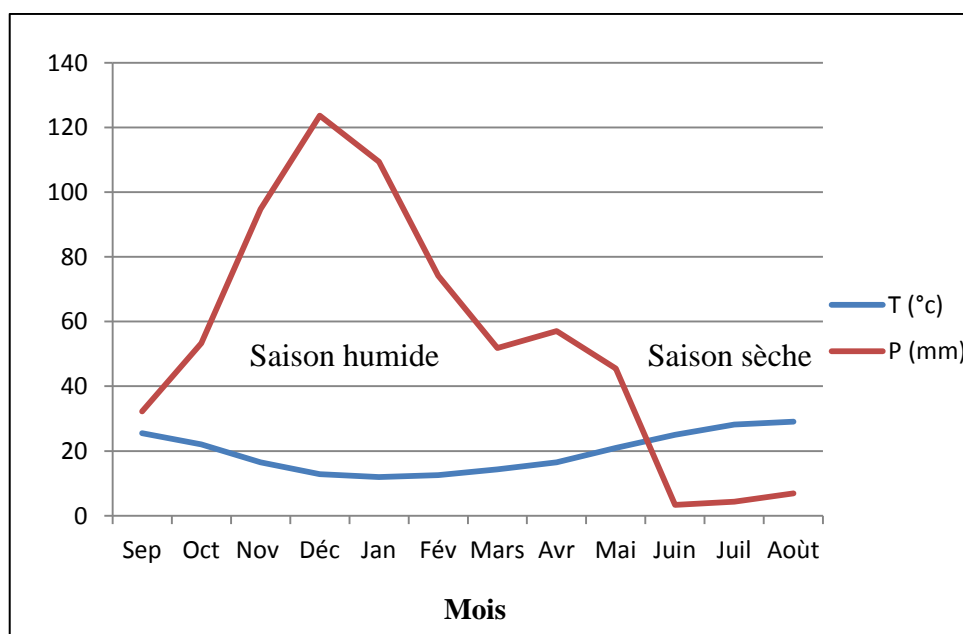
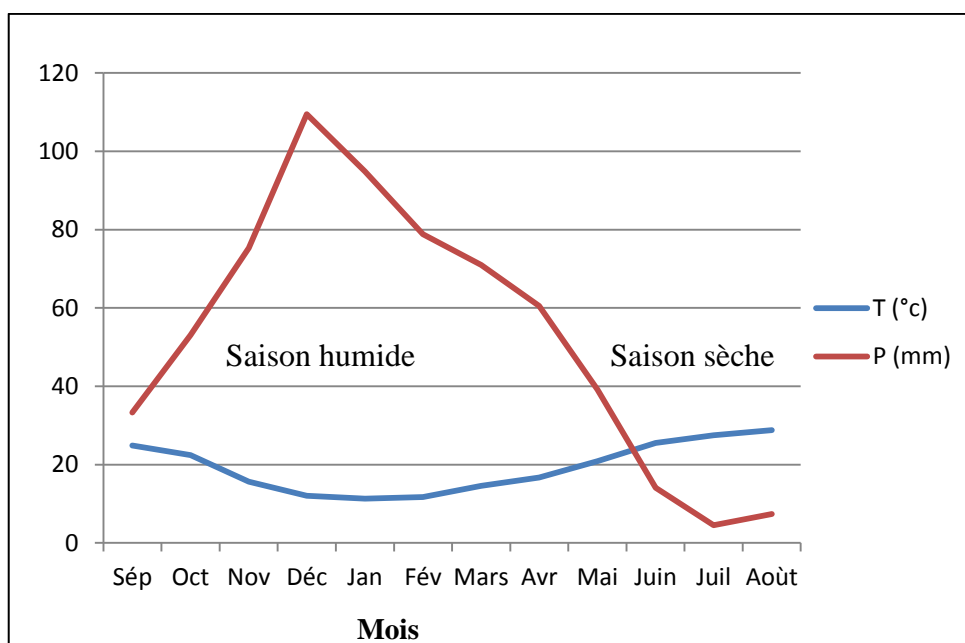


Figure 12 : Courbe pluviométrique de la station de Skikda.

### 2-7-3-2-Courbe pluviométrique de la station de Zérdazas

Pour la station de Zérdazas, l'examen de la courbe pluviométrique, met en évidence deux périodes (Fig.13) :

- Une saison humide qui s'établit entre le début du mois de Novembre et la fin du mois de Juin, elle se caractérise par une précipitation importante qui atteint son maximum aux mois de Décembre avec 109,5mm.
- L'autre sèche qui commence à la fin du mois de Mai et se termine au début du mois d'Octobre.

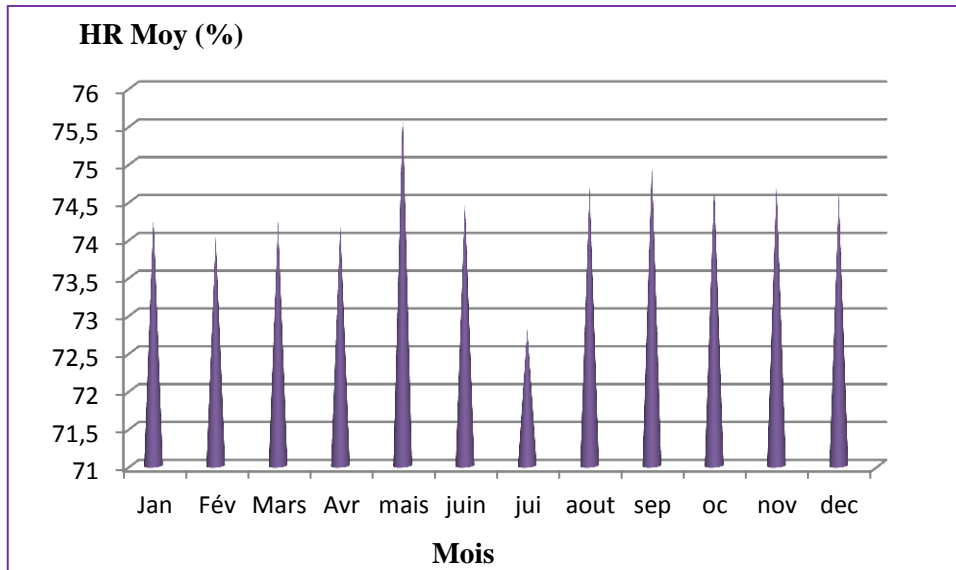


**Figure 13** : Courbe pluviométrique de la station de Zérdazas.

### 2-7-4-L'humidité relative

L'humidité relative de l'air est la proportion de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère par rapport à la quantité maximale qui peut être fixée à une température considérée. Dans la zone d'étude, seule la station climatique de Skikda dispose d'observations sur l'humidité relative.

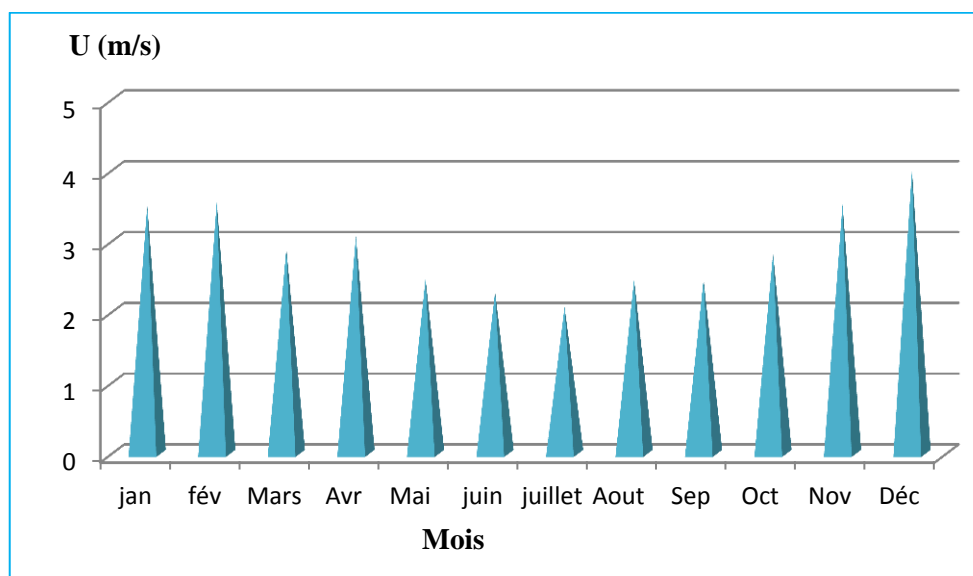
Nous remarquons sur la figure 14 que l'humidité relative de la station de Skikda, pour tous les mois est supérieure à 72%. Une valeur maximale de l'ordre de 75,69% est observée au mois de Mai, alors que la valeur minimale est observée au mois de Juillet (72,81%).



**Figure 14 :** Répartition mensuelle de l'humidité de l'air dans la station de Skikda.

### 2-7-5-Les vents

Le vent est un facteur important du climat, la connaissance de sa direction, son intensité et sa fréquence sont nécessaire pour la mise en valeur agricole d'une région notamment l'orientation des brises vents. Le vent assure le remplacement de l'air plus ou moins saturé au contact de la surface évaporant par des nouvelles couches ayant une température et une humidité généralement plus faibles. Il favorise donc l'évaporation, d'autant plus que sa vitesse et sa turbulence sont grandes.



**Figure 15:** Répartition mensuelle de la force du vent dans la station de Skikda.

## DEUXIEME PARTIE: MATERIEL ET METHODES

---

Dans la zone d'étude, seule la station climatique de Skikda dispose d'observations sur le vent. Les vitesses du vent enregistrées sont faibles et homogènes durant toute l'année, avec une vitesse plus rapide de 4,01 m/s durant le mois de Décembre et une vitesse minimale de 2,07 m/s au mois de0 Juillet (Fig.15). La moyenne annuelle est de 2,93 m/s (Tab.14 en annexe). Les vents les plus dominants sont ceux du Nord-ouest et Sud-est.

### 2-7-6-Détermination du type du climat

Pour déterminer le type du climat nous allons utiliser la formule empirique de De MARTONE appelée indice d'aridité annuel « A » qui est fonction des précipitations et des températures.

$$A = P / (T + 10)$$

-**P** : Précipitation moyenne annuelle en mm.

-**T** : Température moyenne annuelle en °C.

Selon De MARTONE, si :

$A < 5$  Le climat est hyper aride.

$5 < A < 10$  Le climat est très sec.

$10 < A < 20$  Le climat est sec.

$20 < A < 30$  Le climat est tempéré.

$A > 30$  Le climat est humide.

Les résultats sont représenté dans le tableau suivant :

**Tableau 9** : Indice d'aridité annuelle pour les stations de Skikda et Zerdzas.

Station	P (mm)	T (°C)	A
Skikda	670,41	19,61	22,64
El-Harrouch	574,4	/	/
Ramdane Djamel	576,8	/	/
Zerdzas	641,5	19,3	21,89

Les deux indices d'aridité annuelle pour les deux stations Skikda et Zerdzas sont entre  $20 < A < 30$ , donc on constate que le climat est tempéré.

Le non disponibilité des données de températures à la station d'El-Harrouch et Ramdane Djamel nous ne permettons pas de calculer l'indice d'aridité annuelle.

### 3-Type et période de l'étude

Il s'agit d'une étude prospective analytique basée sur l'analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de puits de la région d'El-Harrouch (W. Skikda).

Elle est réalisée sur une période allant du mois de Juin 2013 au mois de Février 2014, couvrant les deux principales saisons de l'année : saison sèche (basses eaux) et saison humide (hautes eaux).

L'étude a porté sur 25 puits d'eau potable répartis comme suit :

- 13 puits individuels (soit 52% des puits étudiés).
- 12 puits collectifs (soit 48% des puits étudiés).

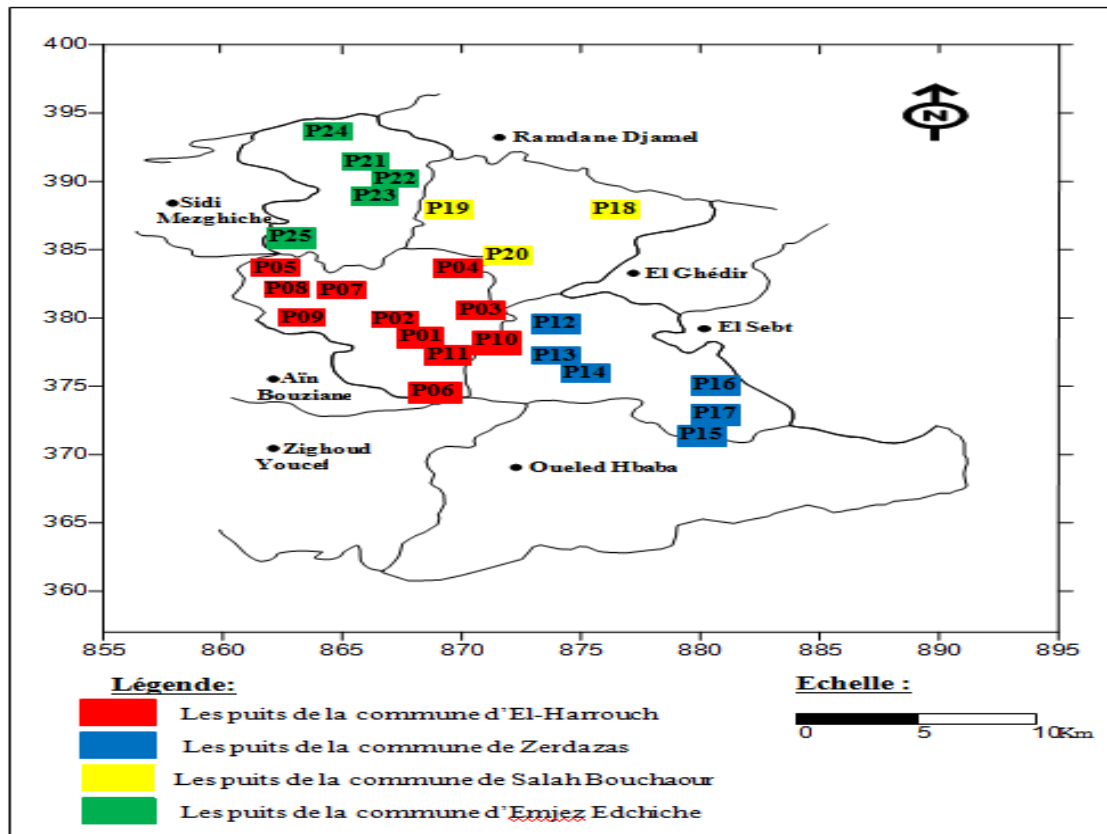
### 4-Echantillonnage

#### 4-1-Choix des sites

Les puits où ont lieu les prélèvements des échantillons d'eau sont au nombre de 25 et sont localisés dans quatre communes de la région d'El-Harrouch comme mentionné dans la figure 16.

La sélection de ces puits à été faite selon le lieu de prélèvement et le type de puits (collectif ou individuel), ils sont répartis comme suit :

- 11 puits (5 collectifs et 6 individuels) sont localisés dans la commune d'El-Harrouch.
- 3 puits (1 collectif et 2 individuels) sont localisés dans la commune de Salah Bouchaour.
- 6 puits (3 collectifs et 3 individuels) sont localisés dans la commune de Zérdazas.
- 5 puits (3 collectifs et 2 individuels) sont localisés dans la commune d'Emdjez Edchiche.



**Figure 16 :** Localisation des sites d'échantillonnage (puits) au niveau de la région d'étude.

### 4-2-Prélèvement des échantillons d'eau

Le prélèvement d'un échantillon est une opération délicate, à la quelle le plus grand soin doit être apporté. Pour ce faire, il doit satisfaire aux conditions ci-dessous :

- Les échantillons doivent être homogènes et représentatifs ;
- Les échantillons doivent être recueillis, conservés et expédiés dans des flacons stérilisés adéquats s'il s'agit d'analyse bactériologique ;
- Le volume recueilli doit être suffisant pour permettre une analyse précise ;
- Tous les renseignements utiles sur les échantillons doivent être indiqués et le flacon doit être étiqueté correctement pour éviter les erreurs (Rodier et al., 2009).

#### 4-2-1-Techniques de prélèvement

Dans le cadre de notre étude, nous avons effectué au total 100 échantillons d'eau dont 50 prélèvements pour l'analyse physico-chimique et 50 prélèvements pour l'analyse bactériologique. Tous ces prélèvements ont été réalisés dans 25 puits numérotés de P01 à P25. Chacun de ces puits a fait l'objet de 2 prélèvements physico-chimiques et 2 prélèvements bactériologiques pendant toute la durée de notre travail.

## DEUXIEME PARTIE: MATERIEL ET METHODES

---

Les échantillons d'eau nécessaires à l'analyse physico-chimique ont été prélevés selon la méthode décrite par Rodier et al. (2009), dans des flacons jetables en matière plastique et conservés à 4°C, ensuite analysés dans les 24 heures qui suivent.

Pour le prélèvement d'eau nécessaire à l'analyse bactériologique, nous avons utilisé des flacons en verre de 250 ml munis d'un cordon. Au moment du prélèvement, on ouvre le flacon et on l'introduit dans le puits à 30cm de profondeur, en prenant soin de ne pas contaminer l'échantillon. Ensuite on retire le flacon rempli d'eau. On détache le cordon et le flacon est refermé dans les conditions aseptiques requises jusqu'au moment de l'analyse. Avant l'usage, les flacons doivent être soigneusement lavés, puis rincés à l'eau distillée. Ensuite, les flacons seront stérilisés (Larpent, 1997).

### 4-2-2-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 débuter dans un délai maximal de 8 heures, après le recueil de l'échantillon. Si exceptionnellement l'analyse doit être reportée, il faut entreposer les échantillons à 4 °C (Rodier et al., 2009).

## 5-Méthodes d'analyses

Les analyses physico-chimiques ont concerné la température, le pH, la conductivité électrique (CE), la turbidité, l'oxygène dissous, les matières en suspension (MES), la dureté totale, le calcium, le magnésium, les chlorures et les nitrites.

L'analyse bactériologique a pour but de mettre en évidence la présence des germes, basés sur la recherche et la numération de celles ci dans les échantillons à analyser. Les germes recherchés sont : les Germes totaux, les Coliformes totaux et l'identification d'*Escherichia coli*, la recherche et le dénombrement des Streptocoques fécaux, la recherche et le dénombrement des *Clostridium* sulfito-réducteurs.

### 5-1-Analyses physico-chimiques

#### 5-1-1-Mesure de la température

La température de l'eau, joue un rôle non négligeable dans l'intensité de la sensation de l'eau. Elle est le facteur le plus apprécié pour une eau destinée à la consommation humaine (Gregorio et Pierre-Marie, 2007).

La mesure de la température a été effectuée en plongeant immédiatement le thermomètre dans le flacon d'eau à analyser pendant 5 minutes. La lecture doit se faire à travers les parois du flacon. Généralement, Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent un thermomètre intégré (Rodier et al., 2009).

#### 5-1-2-Mesure du potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est l'une des mesures que l'on doit effectuer le plus fréquemment, il est relié à la teneur en ions  $H^+$  et aussi à l'acidité et l'alcalinité de l'échantillon. Le pH-mètre est l'appareil le plus utilisé pour la mesure du pH.

##### ➤ Mode opératoire

- Brancher le pH-mètre, le laisser se stabiliser pendant quelques minutes, installer les électrodes aux entrées correspondantes sur l'appareil, et :
- Etalonner l'appareil à l'aide d'une solution tampon. Ensuite rincer l'électrode avec de l'eau distillée et avec l'échantillon à analyser,
- Amener l'échantillon d'eau à analyser à la température désirée,
- Plonger l'électrode dans l'échantillon à analyser et lire la valeur de pH directement,
- Après chaque détermination du pH, on retire l'électrode, on la rince et à la fin de l'expérience, on la laisse tremper dans l'eau distillée (Rodier et al., 2009).

#### 5-1-3-Mesure de la conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1\text{ cm}^2$  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 siemens par mètre ( $S/m$ ) ( $1\text{ S/m} = 10^4\mu\text{S/cm} = 10^3\text{ mS/m}$ ).

La relation entre la résistivité et la conductivité est la suivante:

$$\text{Résistivité } (\Omega. \text{ cm}) = \frac{1000000}{\text{Conductivité } (\mu\text{S/cm})}$$

Pour la détermination de la conductivité, nous avons utilisé un conductimètre multiéléments.

### ➤ Mode opératoire

- D'une façon générale, la verrerie doit être rigoureusement propre et rincée avec de l'eau distillée avant l'usage.
- On rince plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner.
- La mesure est faite dans un deuxième récipient en prenant soin que les électrodes de platine soient complètement immergées.
- On agite le liquide (barreau magnétique) afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide ambiant. Cette agitation permet aussi d'éliminer les bulles d'air sur les électrodes.

Le résultat est donné directement en  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (Rodier et al., 2005).

### 5-1-4-Mesure de la turbidité

La turbidité peut être évaluée par un certain nombre de méthodes qui sont pratiquées suivant les nécessités sur le terrain ou au laboratoire.

La mesure de la turbidité de l'eau peut s'effectuer en utilisant l'effet Tyndall ou l'opacimétrie. L'effet Tyndall est utilisé plus spécialement pour la mesure des faibles turbidités (eau de boisson), l'opacimétrie est appliquée aux eaux de fortes turbidités (eaux brutes, eaux résiduaires). D'autres méthodes comme celle « des gouttes de mastic » ou celle de Jackson « candle turbidimeter » n'ont plus qu'un intérêt historique, ayant été remplacées par l'emploi directe des turbidimètres optiques (Rodier et al., 2009).

### ➤ Mode opératoire

Une cuvette de mesure propre est remplie avec l'échantillon à analyser, bien homogénéisée et la mesure est effectuée rapidement. Il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure.

La valeur est obtenue directement en NTU (Ladjel, 2009).

### 5-1-5-Dosage de l'oxygène dissous

#### ➤ Principe

La méthode utilisée pour le dosage de l'oxygène dissous est électrochimique. La réduction de l'oxygène, au niveau d'une cathode convenable, engendre un courant proportionnel à la pression partielle d'oxygène dans la solution. L'appareil de mesure utilisée est l'oxymètre.

#### ➤ Mode opératoire

On effectue le dosage directement en plongeant les électrodes dans l'eau à analyser. Comme toute méthode instrumentale, le résultat est étroitement lié au mode opératoire et il est nécessaire de se reporter à la notice d'utilisation de l'appareil utilisé.

La mesure étant basée sur une réduction de l'oxygène qui traverse la membrane, il conviendra en particulier de procéder à une agitation douce et régulière pendant la mesure, pour éviter l'épuisement de l'oxygène au voisinage de la membrane qui conduirait à une mesure erronée. La concentration en oxygène dissous, à la température de mesure, est exprimée en  $\text{mg.L}^{-1}$  (Rodier et al., 2009).

### 5-1-6- Dosage de la dureté totale

Le dosage de la dureté totale est effectué par la méthode titrimétrique à l'EDTA. Cette méthode n'est pas applicable aux effluents et aux eaux de mer et aux eaux ayant une forte teneur en sels. La plus faible teneur qui peut être déterminée est de  $0,05\text{mmole.L}^{-1}$ , donc applicable pour les eaux souterraines, les eaux de surface et les eaux de boisson.

#### ➤ Principe

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylènediamine tétracétique (EDTA) à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique ; le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

## DEUXIEME PARTIE: MATERIEL ET METHODES

---

### ➤ Mode opératoire

On introduit 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml, on ajoute 4 ml de solution tampon et trois gouttes de solution de noir ériochrome T (NET). La solution se colore en violet, le pH doit être de 10. En maintenant une agitation, on verse la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer du violet au bleu. Après, On vérifie que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.

### ➤ Expression des résultats

La teneur global en calcium et en magnésium  $C_{ca+mg}$ , exprimé en milligramme par litre est donnée par l'équation :

$$C_{ca+mg} = \frac{C_1 \cdot V_3}{V_0} \cdot 100$$

Où

$C_1$  : est la concentration en EDTA exprimé en m mole.L<sup>-1</sup> de la solution d'EDTA.

$V_0$  : est le volume en millilitre de la prise d'essai.

$V_3$  : est le volume en millilitre de la solution d'EDTA utilisé pour le titrage (Rodier et al., 2009).

### 5-1-7-Détermination de la dureté calcique (TH<sub>Ca</sub>)

Les méthodes par spectrométrie d'absorption atomique et par spectrométrie d'émission à l'aide d'un générateur inductif de plasma sont d'une bonne précision, celle à l'EDTA donne des résultats satisfaisants pour des contrôles de routine (Rodier et al., 2009).

### ➤ Principe

Le principe est identique à celui de la méthode titrimétrique décrite pour la dureté totale. Toutefois, comme le dosage en milieu très basique, pour les valeurs de pH > 10, le magnésium précipite sous forme d'hydroxyde et n'intervient pas. Par ailleurs, l'indicateur choisi, rouge de Murexide, ne se combine qu'avec le calcium pour former un complexe rouge.

## DEUXIEME PARTIE: MATERIEL ET METHODES

---

### ➤ Mode opératoire

A l'aide d'une pipette, on introduit 100 ml de l'échantillon préparé dans une fiole conique de 250 ml. On ajoute 2ml de solution d'hydroxyde de sodium et environ 0,2 g de l'indicateur Murexide. On mélange et on dose immédiatement. Ensuite, on ajoute la solution d'EDTA tout en continuant d'agiter. Le virage est atteint lorsque la couleur devient pourpre.

### ➤ Expression des résultats

La teneur en calcium  $C_{ca}$  exprimé en  $mg.L^{-1}$ , est donnée par l'équation :

$$C_{ca} = \frac{C_1.V_3}{V_0} . 100$$

Où

$C_1$  : La concentration exprimée en  $m\ mole.L^{-1}$  de la solution de l'EDTA.

$V_3$  : Le volume en millilitre de la solution d'EDTA utilisée pour le dosage.

$V_0$  : Le volume en millilitre de la prise d'essai (Ladjel, 2009).

### 5-1-8-Détermination de la dureté magnésienne (TH<sub>Mg</sub>)

La dureté magnésienne est par définition la concentration en sel de magnésium. Elle se déduit de la relation de la dureté totale qui est égale à la somme des deux duretés calcique et magnésienne.

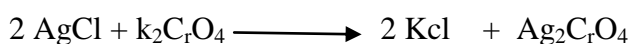
$TH = TH_{Ca} + TH_{Mg}$  en mg de  $CaCO_3$  et  $TH_{Mg} = TH - TH_{Ca}$  (Rodier et al., 2009).

### 5-1-9-Dosage des chlorures

Le dosage des chlorures a été effectué par l'utilisation de la méthode de « MOHR ».

### ➤ Principe

Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9,5 afin de permettre la précipitation.



## DEUXIEME PARTIE: MATERIEL ET METHODES

---

### ➤ Mode opératoire

On prend 5 ml de l'échantillon à analyser, à l'aide d'une pipette on ajoute 2 gouttes de chromate de potassium ( $K_2CrO_4$ ) ce qui donne une coloration jaunâtre. Ensuite, on titre par addition progressive de la solution de nitrate d'argent ( $AgNO_3$  à 0,01N) jusqu'à l'obtention d'une coloration brun rougeâtre.

### ➤ Expression des résultats

$$Cl^- \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = \frac{V_{AgNO_3} \times N_{AgNO_3} \times M_{Cl}}{PE} = \frac{V_{AgNO_3} \times 0,01 \times 35,5 \times F \times 1000}{5}$$

$$Cl^- \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = V_{AgNO_3} \times 71 \times F$$

$V_{AgNO_3}$  : Volume d' $AgNO_3$  nécessaire pour le dosage de l'échantillon.

$N_{AgNO_3}$  : Normalité d' $AgNO_3$ .

$M_{Cl^-}$  : Masse de chlorures.

$F$  : Facteur de correction du titre d' $AgNO_3$ .

$PE$  : Prise d'essai.

Pour le  $F$  : - Prendre 5 ml de la solution mère à  $71 \text{ mg.L}^{-1}$ .

- Ajouter 2 gouttes de l'indicateur coloré.

- Doser par  $AgNO_3$  à 0,01N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

$$F = \frac{1}{V_{AgNO_3}} \text{ Donc } F \approx 1$$

$$Cl^- = V_{AgNO_3} \times 71 \quad (\text{Ladjel, 2009}).$$

### 5-1-10-Dosage des nitrites ( $NO_2^-$ )

Suivant l'origine des eaux, la teneur en nitrites est assez variable. La méthode à la sulfanilamide a une sensibilité de l'ordre de quelques microgrammes par litre. Il sera nécessaire d'en tenir compte pour l'interprétation des résultats et de prendre toutes précautions utiles pour la pureté des réactifs et la propreté de la verrerie (Rodier et al., 2009).

### ➤ Principe

Les nitrites réagissent avec la sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après copulation avec le N-1-Naphtyl éthylène diamine dichloride donne naissance à une coloration rose mesuré à 543 nm.

### ➤ Mode opératoire

On introduit 50 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée puis on ajoute 1ml du réactif mixte. Ensuite, on attend 10 minutes. Après l'apparition de la coloration rose qui montre la présence du  $\text{NO}_2^-$ , on effectue la lecture à l'aide d'un spectrophotomètre à 543nm. Le résultat est donné directement en milligrammes par litre d'eau ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) (ISO 6777, 1994).

### 5-1-11-Détermination des matières en suspension

La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation. Quelle que soit la méthode choisie, il est nécessaire pour obtenir une reproductibilité satisfaisante de respecter rigoureusement les conditions opératoires et d'utiliser le même type de matériel. Dans notre étude, nous avons utilisé la méthode de filtration sur fibre de verre.

### ➤ Principe

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

### ➤ Mode opératoire

On lave le disque de filtration à l'eau distillée, puis on le sèche à  $105^\circ\text{C}$  jusqu'à masse constante (2 heures). Après passage au dessiccateur, on le pèse à 0,1 mg. On le met en place sur l'équipement de filtration. Ensuite, on verse l'échantillon sur le filtre et on le laisse essorer. Après, on le met dans l'étuve à  $105^\circ\text{C}$  pour le séchage. Après refroidissement du filtre au dessiccateur, on le pèse à 0,1 mg près, jusqu'à masse constante.

### ➤ Expression des résultats

La teneur de l'eau en matières en suspension ( $\text{mg. L}^{-1}$ ), est donnée par l'expression :

$$\text{MES (mg.L}^{-1}\text{)} = \text{Pp-Pv} / \text{V. 1000}$$

**Pp** : Poids plein du filtre.

**Pv** : Poids vide du filtre.

**V** : volume de la prise d'essai (Rodier et al., 2009).

### 5-2-Analyses bactériologiques

#### 5-2-1-Dénombrement des germes totaux

Pour le dénombrement des germes totaux, la technique d'ensemencement dans la masse avec le milieu TGEA a été utilisée (Fig.17).

##### ➤ **Mode opératoire**

###### • **Préparation des dilutions décimales**

Nous introduisons dans une série de tubes stériles correspondant au nombre de dilutions à utiliser, dans notre cas 9 ml d'eau stérile. Nous prélevons ensuite 3 fois 1ml d'échantillon soigneusement agité, et nous déposons deux des prélèvements dans une boîte de Pétri stérile, et le troisième dans le premier des tubes contenant 9 ml.

Nous agitons soigneusement le tube de dilution au 1/10 ainsi préparé à l'aide d'un agitateur mécanique. Nous prélevons à l'aide d'une nouvelle pipette stérile 3 fois 1ml, et nous les déposons, d'une part dans le deuxième tube (réalisant ainsi la dilution au 1/100), d'autre part dans deux autres boîtes de Pétri. On continue ainsi jusqu'à ce que toutes les dilutions nécessaires aient été effectuées.

###### • **Incorporation à la gélose et incubation**

Nous portons au bain-marie bouillant les flacons contenant la gélose jusqu'à fusion du milieu. Ensuite, nous la refroidir à 45 °C.

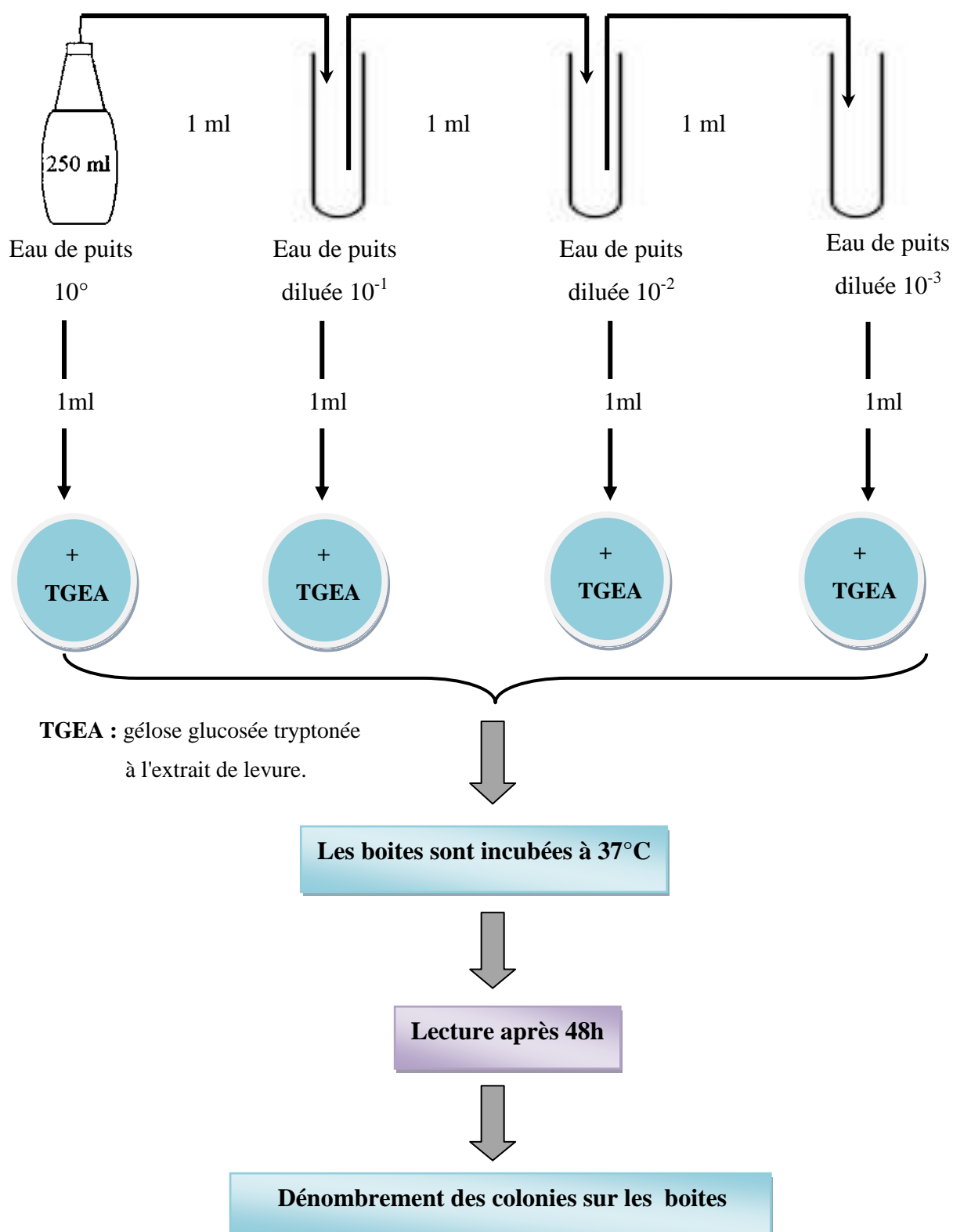
Nous coulons la gélose de l'extrait de levure aseptiquement dans chaque boîte, nous agitons doucement par un mouvement circulaire pour assurer un mélange homogène de l'eau et de la gélose, sans faire de bulles et sans mouiller les bords de la boîte. Le milieu doit être coulé 10 minutes au plus tard après répartition de l'eau à analyser. Nous laissons refroidir sur une surface parfaitement horizontale et fraîche. Les boîtes ensemencées avec chacune des différentes dilutions d'eau sont incubées dans une étuve à 37°C durant 48 heures.

##### ➤ **Expression des résultats**

Pour les germes totaux, le nombre de colonies compté sur une boîte, multiplié par 10 et éventuellement par l'inverse du rapport de dilution, indique le nombre de germes totaux contenus dans 1 ml d'échantillon. Les résultats sont exprimés en nombre de micro-organismes revivifiables par ml (Rodier et al., 2009).

## DEUXIEME PARTIE: MATERIEL ET METHODES

---



**Figure 17 :** Protocole expérimental de recherche et de dénombrement des Germes totaux.

### 5-2-2-Dénombrement des Coliformes totaux et des Coliformes fécaux

Pour le dénombrement des coliformes totaux et fécaux, nous avons utilisé la méthode par ensemencement en milieu liquide (Fig.18).

#### ➤ Mode opératoire

##### • Recherche des coliformes totaux: Test présomptif

Après inoculation de plusieurs dilutions de l'échantillon, chacune dans une série de tubes contenant un Bouillon Lactosé au Bromo Crésol Pourpre (BLBCP) ; en simple et double concentrations , on agite pour homogénéiser sans faire pénétrer d'air dans la cloche de Durham puis nous plaçons les tubes dans une étuve à 37°C pendant 48 heures. Ensuite nous procédons à une première lecture après cette incubation, sont considérés comme positifs, les tubes où il se produit simultanément un trouble dans toute la masse liquide et un dégagement de gaz dans la cloche. Nous avons noté le nombre de tubes positifs dans chaque série et nous nous sommes reportés aux tables de Mac Grady pour obtenir le nombre de coliformes totaux présents dans 100 ml de l'échantillon.

##### • Recherche d'*Escherichia coli* : Test confirmatif

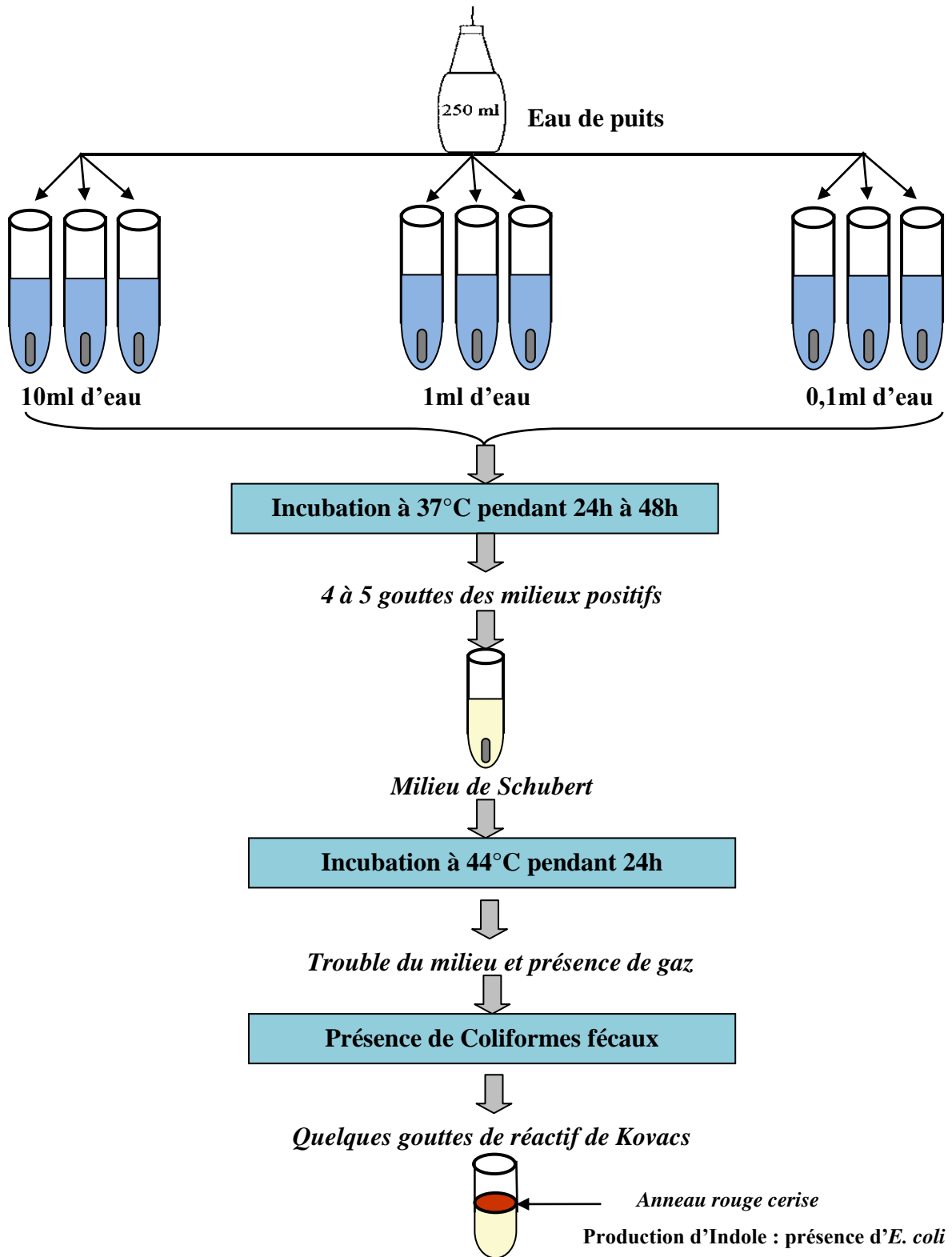
A partir de chaque tube positif de milieu BCPL pour la recherche des coliformes totaux, nous avons ensemencé 4 à 5 gouttes dans un milieu de Schubert muni d'une cloche de Durham, que nous avons placé dans une étuve à 44°C pendant 24 h.

Les tubes qui présentent un trouble bactérien et un dégagement de gaz dans la cloche de Durham confirment la présence de coliformes fécaux.

Les tubes positifs de bouillon de Schubert, additionnés au réactif de Kovacs se caractérisent par un anneau rouge cerise témoin de la production d'indol et donc de la présence d'*E. coli*.

#### ➤ Expression des résultats

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 coliformes totaux et d'*E. coli* présent dans 100ml de l'échantillon (Rodier et al., 2005).



**Figure 18 :** Protocole expérimental de recherche et de dénombrement des Coliformes totaux avec identification d'*E. coli*.

### 5-2-3-Dénombrement des Streptocoques fécaux

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux se fait par deux tests : le test présomptif sur le milieu de Rothe et le 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 (Fig.19).

#### ➤ **Mode opératoire**

##### • **Le test présomptif**

On ensemence 3 tubes de 10 ml de bouillon Rothe à double concentration (D/C) avec 10ml de l'échantillon, 3 tubes de 10 ml de bouillon Rothe à simple concentration (S/C) avec 1ml de l'échantillon et 3 tubes de 10 ml de bouillon Rothe à simple concentration (S/C) avec 0,1 ml de l'échantillon. Puis on a homogénéisé soigneusement, par agitation, le contenu des tubes en s'assurant, une fois celle-ci terminée, que la teinte du bouillon est uniforme en haut et en bas du tube, de façon à ce que la concentration en inhibiteur soit identique en tous points.

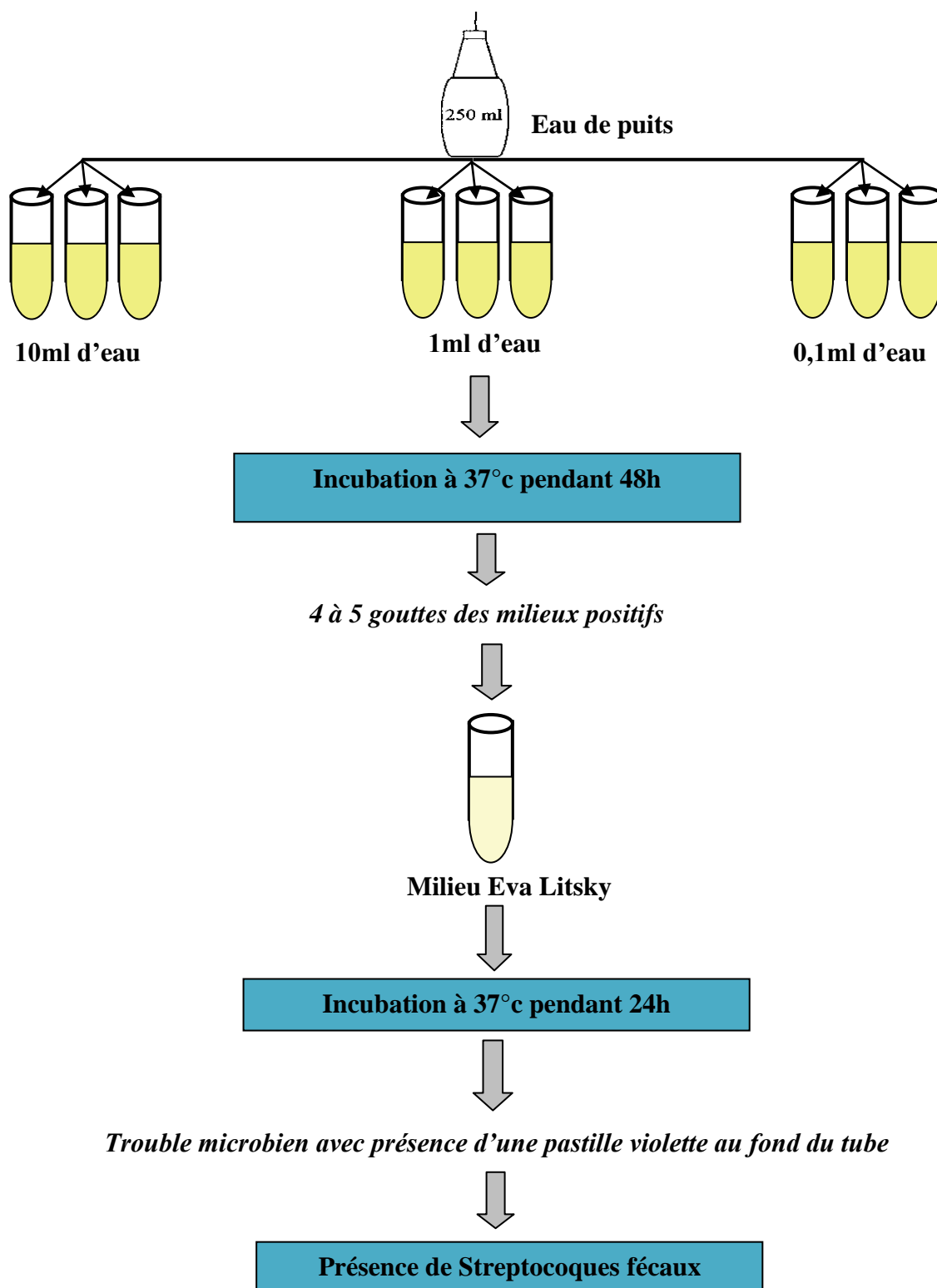
On a incubé les tubes à 37°C et la lecture est faite après 24 et 48 heures. Les tubes présentant un trouble microbien pendant cette période sont présumés contenir un streptocoque fécal et sont soumis au test confirmatif.

##### • **Le test confirmatif**

Après agitation des tubes positifs, on prélève sur chacun d'eux successivement quelques gouttes avec pipette Pasteur, et on les a reportés dans des tubes du milieu de Litsky à l'éthyl violet et azide de sodium. Après incubation à 37°C pendant 24 h, 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.

#### ➤ **Expression des résultats**

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

### 5-2-4-Dénombrement des *Clostridium* sulfito-réducteurs

La recherche et le dénombrement des *Clostridium* sulfito-réducteurs s'effectuent en utilisant la méthode par incorporation en gélose Viande-foie (Fig.20).

#### ➤ **Mode opératoire**

##### • **Destruction des formes végétatives**

On a placé 25 ml d'eau à analyser dans un tube de 220 × 22 mm. Puis on a porté le tube au bain marie à 80°C de façon à ce qu'il demeure dix minutes à cette température. Ensuite, on a refroidi rapidement à environ 55°C.

##### • **Préparation du milieu**

On a placé quatre tubes de milieu Viande-foie (contenant chacun 20 ml de milieu) au bain d'eau bouillant pour assurer la fusion du milieu. Ensuite, On a maintenu 10 minutes dans ce bain d'eau pour assurer l'élimination des gaz dissous. Puis, on a refroidi à 55°C environ. Après, on a ajouté à chaque tube 1 ml de la solution de sulfite de sodium et 4 gouttes de la solution d'alun de fer. Enfin, on a mélangé sans faire de bulles.

##### • **Inoculation et incubation**

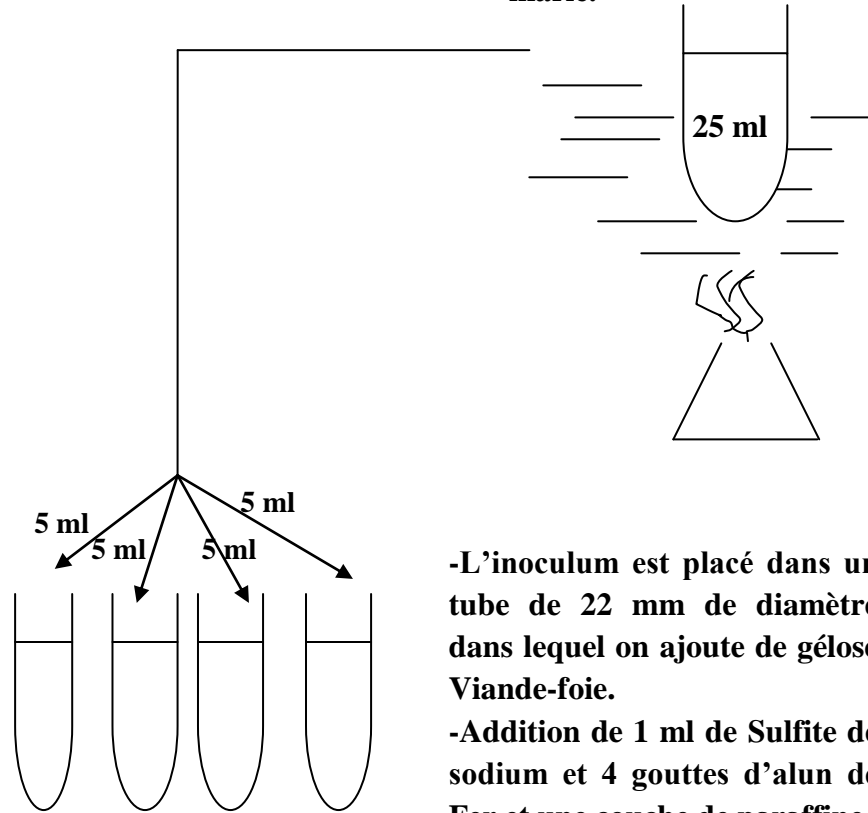
Dans quatre tubes stériles, on est réparti 5ml d'eau traitée pour détruire les formes végétatives. Puis, on a coulé dans chacun d'eux le contenu d'un tube de milieu, et mélangé doucement sans incorporer d'air. Ensuite, on a ajouté une couche de paraffine. On a fait une première lecture après incubation à 37°C pendant 24 heures et une deuxième après 48 heures.

Il est indispensable de procéder à une lecture dès les 24 heures : en présence de nombreuses colonies, une diffusion des halos peut conduire à une coloration noire uniforme du tube et tout dénombrement devient impossible aux 48 heures. Par contre, s'il y a une faible quantité de colonies à la première lecture, et si les colonies sont petites, il peut y avoir un développement de nouvelles colonies dans les 24 heures suivantes.

#### ➤ **Lecture et expression des résultats**

On considère comme résultant d'une spore de bactérie anaérobie sulfito-réductrice toute colonie entourée d'un halo noir. L'expression du résultat est en nombre de spores par 20 ml (Lebres et Mouffok, 2008).

L'eau à analyser est chauffée à 80°C pendant 10 min au bain marie.



-L'inoculum est placé dans un tube de 22 mm de diamètre dans lequel on ajoute de gélose Viande-foie.

-Addition de 1 ml de Sulfite de sodium et 4 gouttes d'alun de Fer et une couche de paraffine.

Incubation à 37°C pendant 24h et 48h

Les colonies de *Clostridium* sulfito-réducteurs apparaissent entourées d'un halo noir.

**Figure 20:** Protocole expérimental de recherche et dénombrement des *Clostridium* sulfito-réducteurs.

# TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSION

### 1-Introduction

L'étude physico-chimique et bactériologique de l'eau souterraine joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc de la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable.

Pour atteindre cet objectif, nous avons déterminé dans cette partie l'évolution des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux de puits au niveau de la région d'El-Harrouch (W. Skikda) durant la saison sèche et la saison humide.

Au cours de ce chapitre, nous présenterons et discuterons les principaux résultats obtenus afin de détecter les différentes pollutions et leurs origines.

### 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. Les paramètres physico-chimiques étudiés sont les suivants :

#### 2-1-La température

D'une façon générale, la température des eaux est influencée essentiellement par les variations climatiques (Dib, 2009) et par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes) (Rodier et al., 2005).

Dans la région d'étude, les résultats obtenus montrent que les degrés de la température varient selon les saisons, en saison humide la température est inférieure à 20°C avec un minimum de 10,5 °C (puits P11), par contre en saison sèche, elle est supérieure à 20°C avec un maximum de 24°C (puits P04 et P16) (Fig.21), ceci est due au changement climatique. Ces valeurs obtenues durant les deux périodes d'observations sont conformes à la norme algérienne recommandée qui est de 25 °C (JORA, 2011).

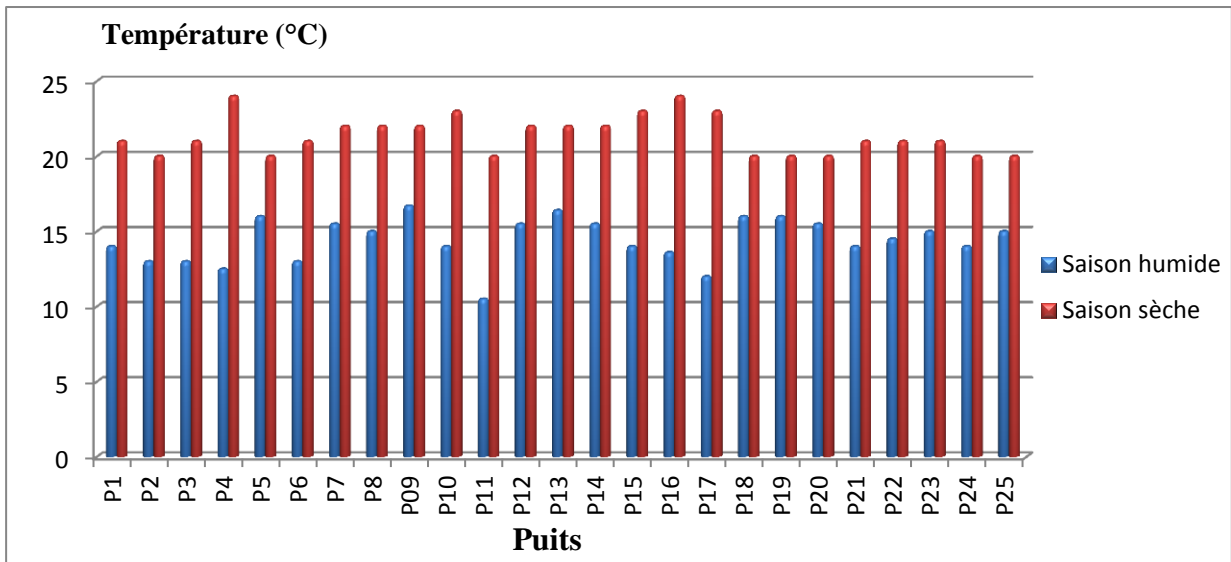


Figure 21: Variation saisonnière de la température dans les eaux de puits étudiés.

2-2-Le potentiel d'hydrogène (pH)

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 législations algériennes et européennes précisent comme niveau guide du pH est de 6,5 à 9 (JORA, 2011; Rodier et al., 2009).

Dans notre secteur d'étude, les valeurs du pH enregistrées sont situées dans la fourchette des normes de potabilité ( $6,5 < \text{pH} < 9$ ). Elles varient entre 6,8 (puits P05) et 7,9 (puits P01) pendant la période sèche et de 7,2 (puits P05 et P06) à 8,2 (puits P21) pendant la saison humide (Fig.22). Ce qui témoigne d'une légère alcalinité au cours de la période de fortes pluies.

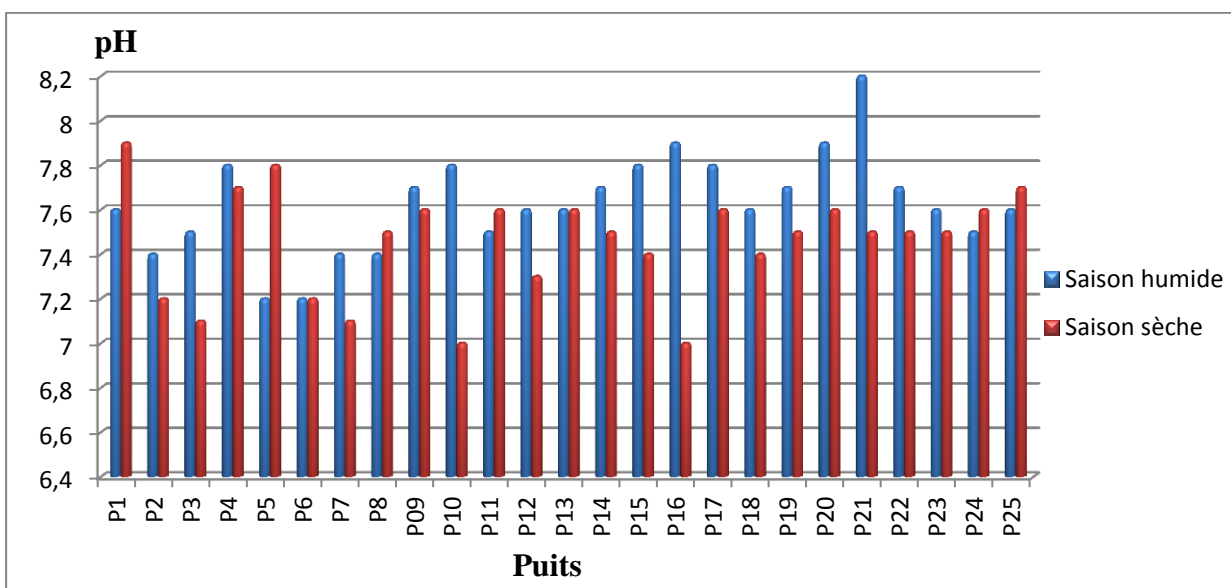
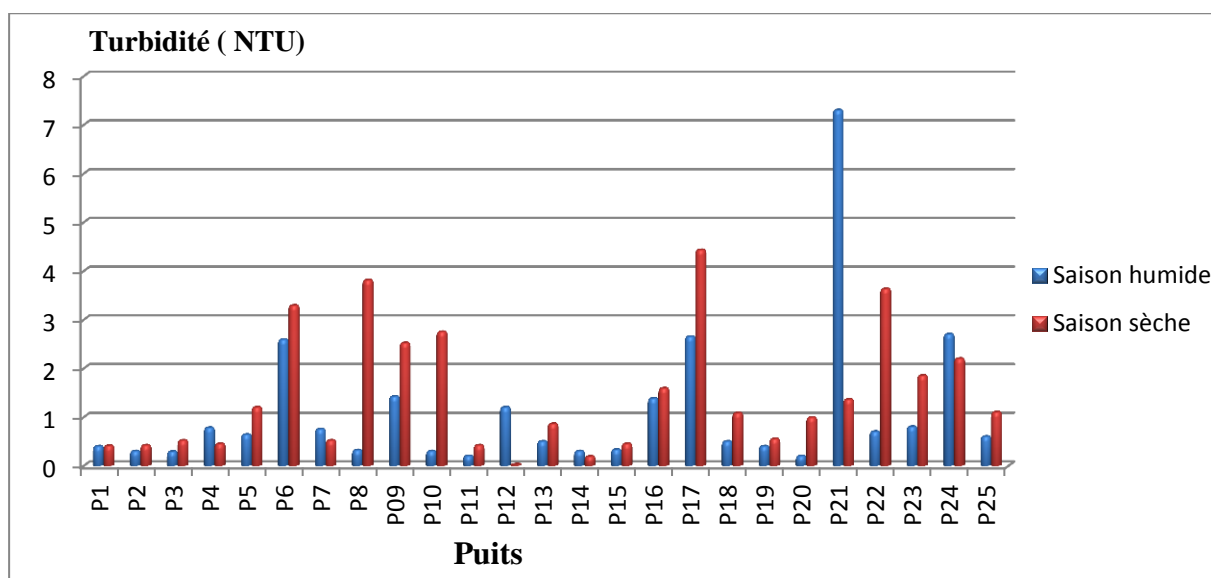


Figure 22 : Variation saisonnière du pH dans les eaux de puits étudiés.

### 2-3-La turbidité

La turbidité d'une eau est causée par la présence des matières en suspension ou par des substances en solution comme les substances minérales (sable, argiles ou limons), des matières organiques (matières organiques morts ou des végétaux en décomposition, du plancton suspendu ) ou d'autres matières microscopiques qui forment un obstacle au passage de la lumière dans l'eau (Rodier et al., 2005 ; Hade, 2007). Les normes algériennes (JORA, 2011), recommandent comme valeur limite de turbidité : 5 NTU.

Dans notre cas, les valeurs enregistrées par le turbidimètre varient entre 0,023 NTU (puits P12) à 4,43 NTU (puits P17) en période des basses eaux et entre 0,20 NTU (puits P11 et P20) à 7,3 NTU (puits P21) en période des hautes eaux (Fig.23). Toutes ces valeurs de la turbidité sont en dessous de la norme, sauf le puits P21 qui présente une forte turbidité (7,3 NTU) pendant la saison humide. Ce puits est mal protégé, ne possède ni margelle ni couvercle ce qui laisse pénétrer les déchets des animaux et les différents rejets urbains par l'apport des eaux pluviales.



**Figure 23:** Variation saisonnière de la turbidité dans les eaux de puits étudiés.

On remarque aussi que dans le point où la valeur de turbidité est importante (puits P21), les matières en suspension sont aussi importantes ( $160 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (Tab.17 en annexe). Donc la turbidité est un facteur qui est en relation directe avec les MES.

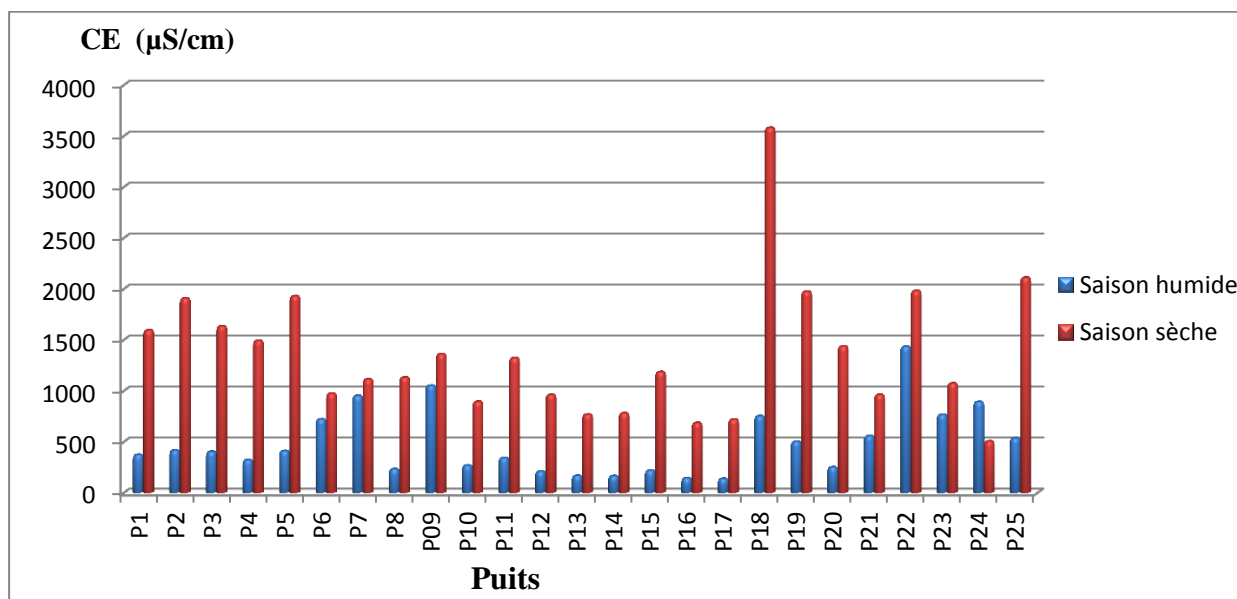
## TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSION

### 2-4-La conductivité électrique (CE)

Rodier et al. (2009), signalent que la variation de conductivité est induite par la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Cette mobilité dépend de la nature des ions dissous et de leur concentration, tels que les ions de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), de sodium ( $\text{Na}^+$ ), de chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )...etc. Généralement, la conductivité électrique augmente avec la concentration des ions en solution et la température (Dib, 2009).

Les résultats des mesures ont permis d'observer la variation de la conductivité électrique (Fig.24), montrant que celle-ci variée entre 218  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (puits P15) et 3580  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (puits P18) et ceci pendant les deux périodes considérées. Toutes les valeurs ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité fixée à 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (JORA, 2011), excepté l'eau du puits P18 qui affiche une valeur trop élevée durant la saison sèche (3580  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), cette minéralisation élevée est surtout due à la proximité du puits avec l'oued saf saf, et au phénomène d'évaporation (en saison d'étiage) qui concentre les sels dans l'eau.

En plus, la répartition temporelle de la conductivité électrique des eaux étudiées montre une grande diminution pendant la période pluvieuse. Selon Hassoune et al. (2006), cette diminution réside dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales.



**Figure 24 :** Variation saisonnière de la conductivité électrique dans les eaux de puits étudiés.

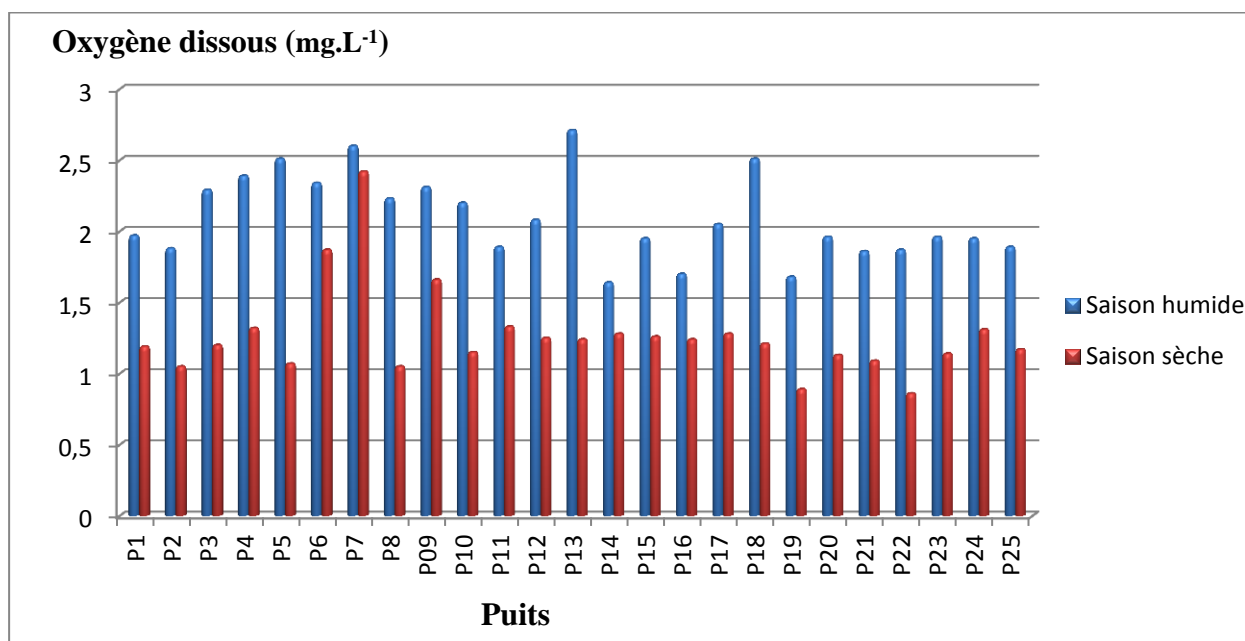
### 2-5-L'oxygène dissous

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est liée à plusieurs facteurs, en particulier la température, la pression atmosphérique et la salinité. L'oxygène dissous est aussi fonction de l'origine de l'eau. Les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation. Les eaux profondes n'en contiennent le plus souvent que quelques milligrammes par litre (Rodier et al., 2009).

Pendant les deux périodes d'étude, les valeurs d'oxygène dissous sont faibles dans tous les points d'eaux prélevés (Fig.25). Les concentrations obtenues sont comprises entre 0,86 mg.L<sup>-1</sup> et 2,72 mg.L<sup>-1</sup>. La valeur maximale est observée au niveau du puits P13.

Les autres puits sont faiblement oxygénés et ceci serait en relation avec les eaux polluées qui s'infiltrent vers la nappe phréatique ou s'expliqueraient aussi par l'absence de contact eau-atmosphère et du renouvellement perpétuel de l'eau (Tampo et al., 2014).

L'hiver semble améliorer un peu la teneur en oxygène des eaux de puits par l'apport d'eau bien oxygénée à la nappe et par le froid qui inhibe la prolifération bactérienne et donc minimise leur consommation en oxygène.

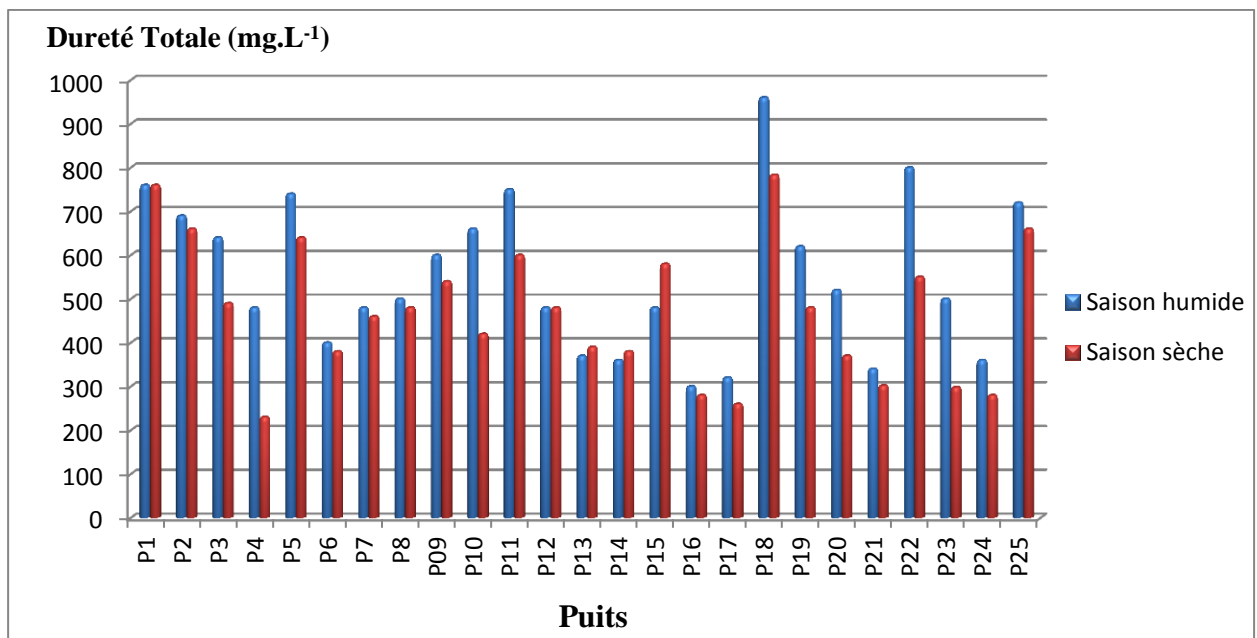


**Figure 25:** Variation saisonnière de l'oxygène dissous dans les eaux de puits étudiés.

### 2-6-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  $1\text{ g de CaCO}_3.\text{L}^{-1}$  (Rodier et al., 2005; Figarella et Leyral, 2002). Les valeurs de la dureté des eaux de la zone étudiée ont été calculées et sont exprimées en  $\text{mg.L}^{-1}$ .

L'évolution saisonnière de la dureté totale dans notre étude montre des concentrations plus élevées en période humide que celles en période sèche avec des valeurs qui dépassent les normes de l'OMS ( $500\text{ mg.L}^{-1}$ ) (OMS, 1994). En effet, les teneurs enregistrées varient entre  $230\text{ mg.L}^{-1}$  (puits P04) à  $760\text{ mg.L}^{-1}$  (puits P01) et entre  $300\text{ mg.L}^{-1}$  (puits P16) à  $960\text{ mg.L}^{-1}$  (puits P18) respectivement en période sèche et en période humide. D'après la figure 26, la qualité des eaux de puits étudiés dans la région d'étude passe d'une eau douce à une eau dure à très dure. Ces eaux très dure proviennent de la formation de l'aquifère ainsi du cheminement des eaux qui traversent successivement la nappe superficielle et ensuite la nappe profonde; ce qui donne une concentration supplémentaire à cette dernière.



**Figure 26:** Variation saisonnière de la dureté totale dans les eaux de puits étudiés.

### 2-7-Le calcium

C'est un 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).

D'après les normes algériennes de potabilité pour le calcium, fixées à  $200 \text{ mg.L}^{-1}$  (JORA, 2011), 80% des puits étudiés présentent des teneurs élevées en  $\text{Ca}^{++}$  qui sont supérieures à la norme et ceci durant les deux périodes d'observations. Les concentrations varient entre  $130 \text{ mg.L}^{-1}$  (puits P17) à  $760 \text{ mg.L}^{-1}$  (puits P18) (Fig.27). Selon Rodier et al. (2009), Les eaux qui dépassent  $200 \text{ mg.L}^{-1}$  de calcium, présentent des inconvénients pour les usages domestiques et pour l'alimentation.

Ces fortes concentrations du calcium témoignent des passages de calcaire qui libère les ions sous l'action de la circulation des eaux souterraines (Boualla et Saad, 2011). Cette pollution peut être aussi d'origine industrielle et urbaine (Bouchelaghem et al., 2014).

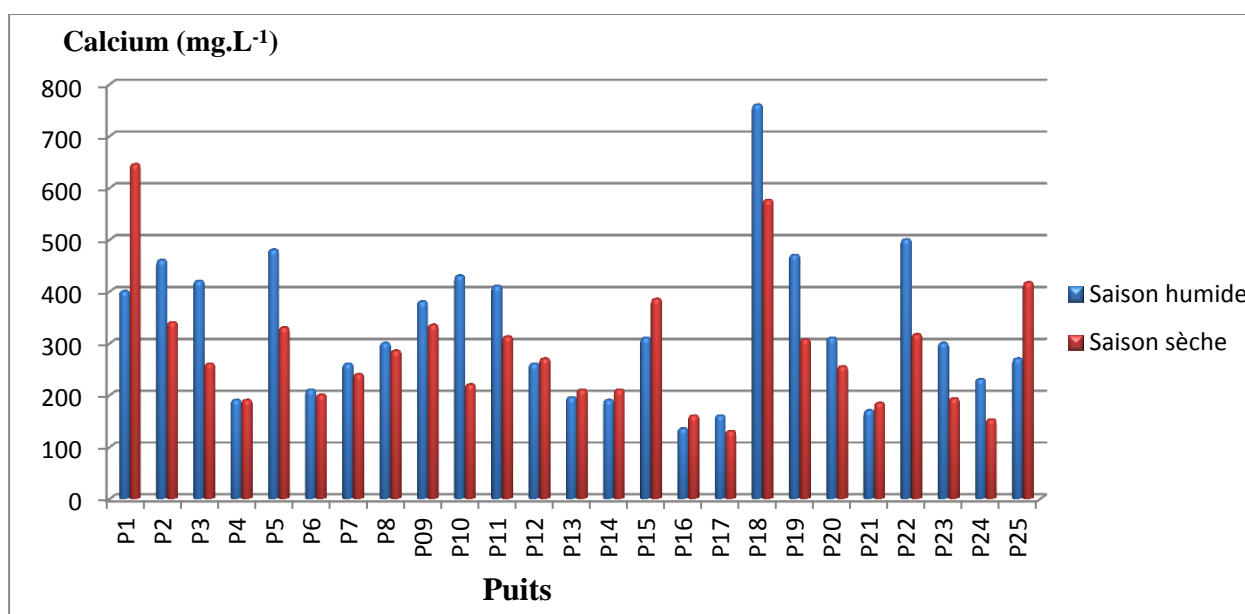


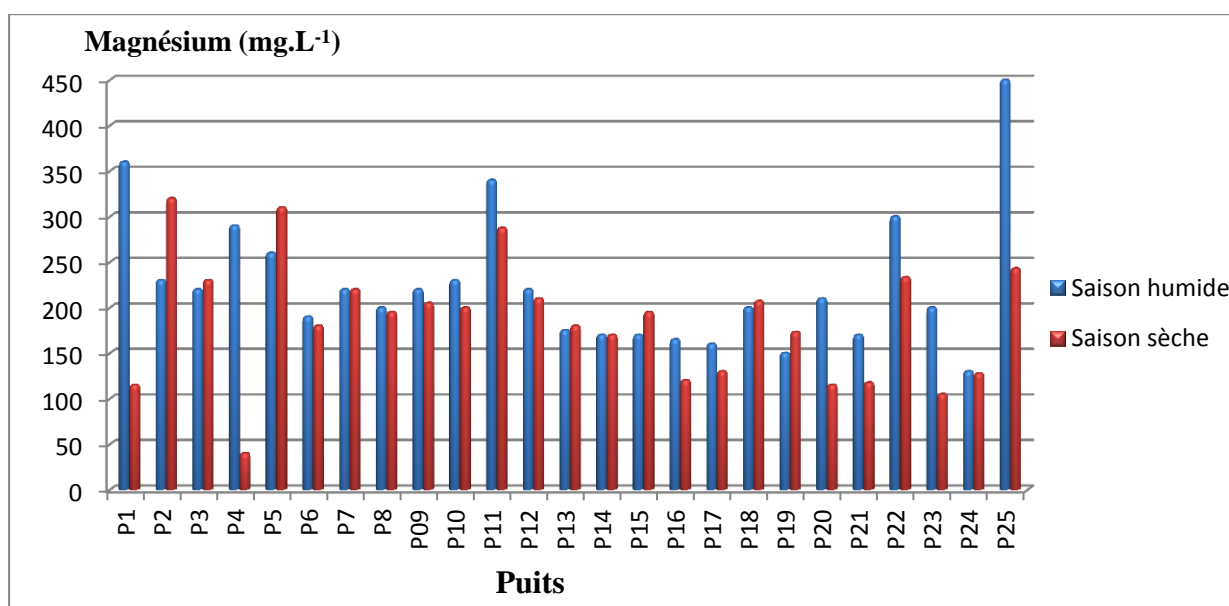
Figure 27 : Variation saisonnière de la teneur en calcium dans les eaux de puits étudiés.

## TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSION

### 2-8-Le magnésium

C'est un des éléments les plus répandus dans la nature, il donne un goût désagréable à l'eau (Rodier et al., 2009). Selon Nouayti et al. (2015), La source du magnésium semble être liée au contact des eaux avec les roches calcaires et dolomitiques.

Selon les normes algériennes de l'eau potable pour le magnésium, fixées à 150 mg.L<sup>-1</sup> (JORA, 2011), Les valeurs enregistrées dans la majorité des puits dépassent cette norme avec un maximum de 320 mg.L<sup>-1</sup> (puits P02) en période de basses eaux et 450 mg.L<sup>-1</sup> (puits P25) en période de hautes eaux (Fig.28). D'après les études de Tazi et al. (2001), les concentrations élevées des ions Mg<sup>++</sup> peuvent provenir de la contamination des eaux par les rejets industriels.

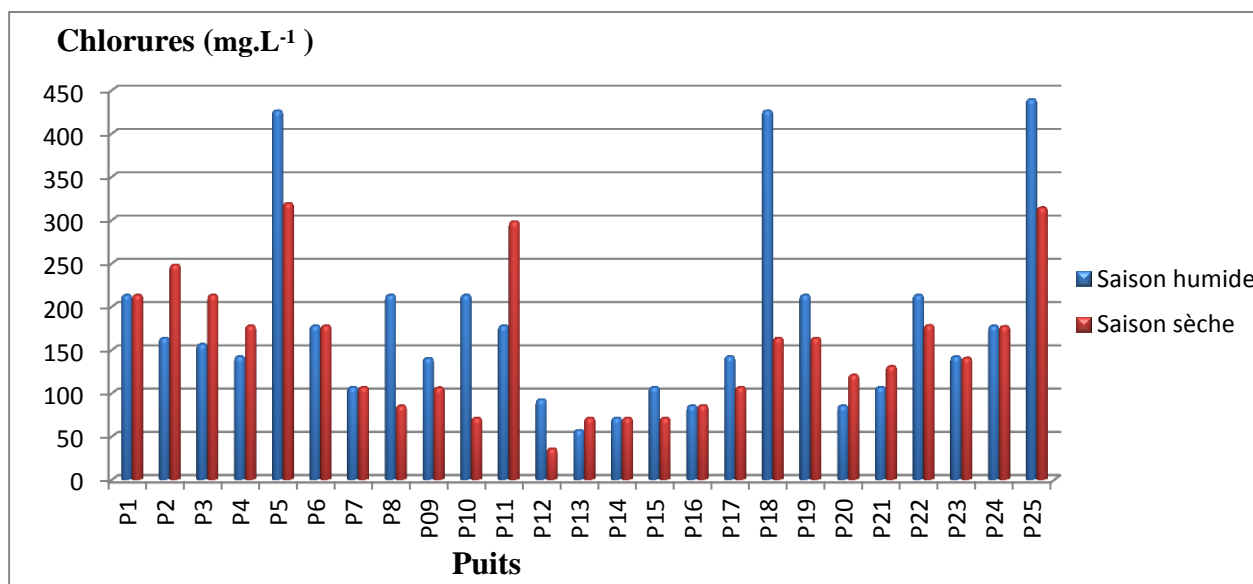


**Figure 28 :** Variation saisonnière de la teneur en magnésium dans les eaux de puits étudiés.

### 2-9-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) (Saoud, 2014).

Les concentrations en chlorures dans les eaux analysées sont généralement importantes. En période estivale, elles varient entre 35,5 mg.L<sup>-1</sup> (puits P12) et 319 mg.L<sup>-1</sup> (puits P05). En période hivernale, les valeurs oscillent de 56,8 mg.L<sup>-1</sup> (puits P13) à 439 mg.L<sup>-1</sup> (puits P25) (Fig.29).



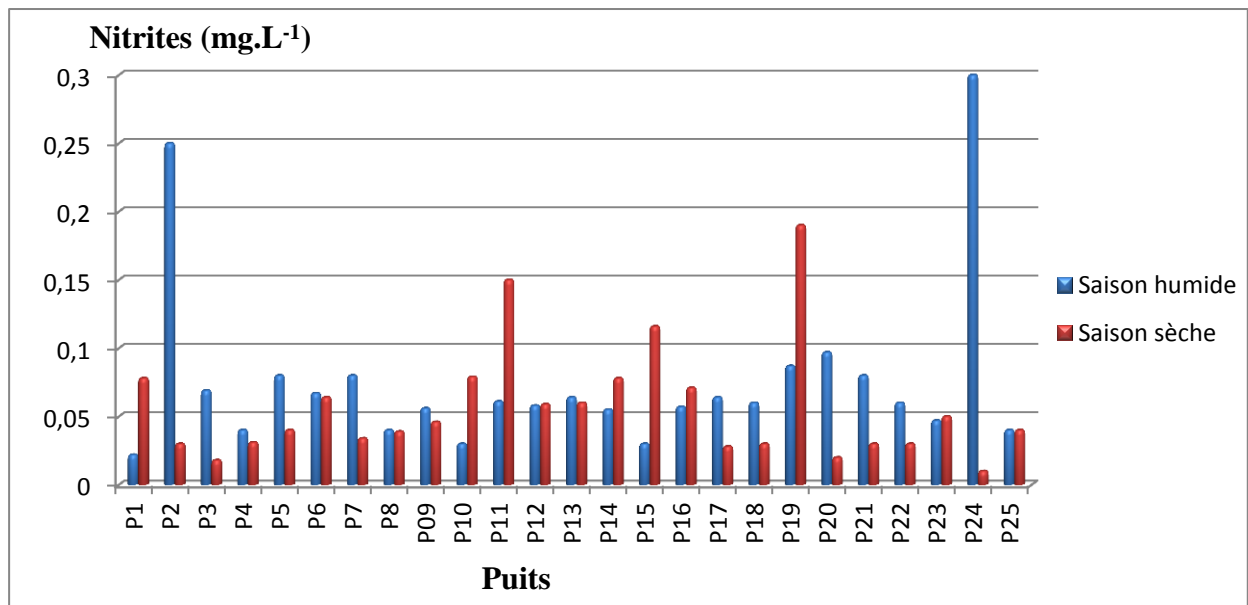
**Figure 29:** Variation saisonnière de la teneur en chlorures dans les eaux de puits étudiés.

Ces valeurs de chlorures sont considérées normales 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 al. (2009) ont mentionné que les ions chlorures, à une concentration supérieure à 250 mg.L<sup>-1</sup>, altère la saveur de l'eau, ce qui peut entraîner une dégradation de la qualité de l'eau. Pour Rodier et al. (2009), les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Leurs teneurs dans les eaux naturelles sont susceptibles de subir des variations suite au lessivage superficiel en cas de fortes pluies ce qui explique l'augmentation des teneurs de chlorures en saison humide dans la région d'étude.

### 2-10-Les nitrites

Une teneur d'azote nitreux supérieure à 0,10 mg.L<sup>-1</sup> peut faire soupçonner un apport d'eaux riches en matières organiques en voie de décomposition. Cette teneur ne devrait pas être dépassée dans le cas d'une eau d'origine profonde (Rodier et al., 2009).

La figure 30 montre la variation saisonnière des teneurs en nitrites dans la zone d'étude. On remarque sur cette figure que la teneur en nitrites varie au cours de l'étude de 0,010mg.L<sup>-1</sup> (puits P24) à 0,15 mg.L<sup>-1</sup> (puits P11) en saison sèche et de 0,022 mg.L<sup>-1</sup> (puits P01) à 0,3mg.L<sup>-1</sup> (puits P24) pendant la saison humide, dont cinq puits (P02, P11, P15, P19 et P24) présentent des teneurs supérieures à la normale (> 0,1 mg.L<sup>-1</sup>) (JORA, 2011).



**Figure 30 :** Variation saisonnière de la teneur en nitrites dans les eaux de puits étudiés.

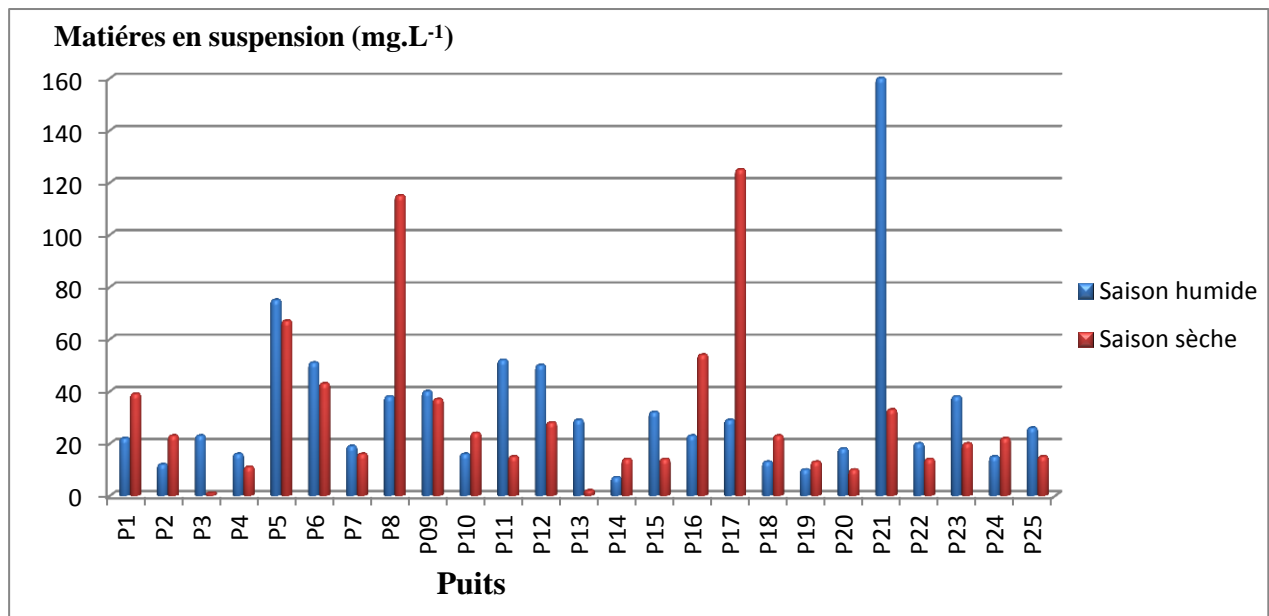
D'après les études de (Dégbey et al., 2010 ; Bricha et al., 2007 ; Lagnika et al., 2014), La pollution nitrique des eaux souterraines serait due au déchets des animaux, au fumier ou aux engrais chimiques utilisés dans la fertilisation des terres agricoles avoisinantes aux puits.

En plus, les teneurs en nitrites des eaux de puits étudiées enregistrent de faibles variations temporelles, sauf en période pluvieuse où elles montrent une légère hausse, sans doute à cause du lessivage des nitrites ou d'autres produits azotés pouvant subir une nitrification par les microorganismes du sol ou ceux des eaux, ou une oxydation par l'oxygène dissous présente dans l'eau.

### 2-11-Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension, qui comportent des matières organiques et minérales, forment un paramètre important qui marque bien le degré de pollution de l'eau (Satin et Selmi, 1999).

Dans le secteur d'étude, les teneurs de matières en suspension enregistrées oscillent entre  $1\text{mg.L}^{-1}$  (puits P03) et  $160\text{ mg.L}^{-1}$  (puits P21) comme valeurs extrême minimale et maximale durant les deux périodes d'études (Fig.31). On remarque que la concentration en matières en suspension est plus importante au niveau de ces puits : P08, P17 et P21 ( $115\text{ mg.L}^{-1}$ ,  $125\text{mg.L}^{-1}$ ,  $160\text{ mg.L}^{-1}$ ), cette augmentation est expliquée par l'existence des terrains agricoles dans ces endroits d'où l'infiltration des produits fécaux sanitaires, par les activités humaines et la présence des animaux autour des puits.



**Figure 31 :** Variation saisonnière des matières en suspension dans les eaux de puits étudiés.

### 3- Paramètres bactériologiques

L'analyse bactériologique permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau. Les organismes 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 préalable de rechercher des germes qui sont toujours présents en grand nombre dans la matière fécale des hommes et des animaux à sang chaud, qui se maintiennent plus facilement dans le milieu extérieur qui sont : les Germes totaux, les Coliformes totaux, les Coliformes fécaux, les Streptocoques fécaux et les *Clostridium* sulfito-réducteurs.

## TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSION

### 3-1-Les Germes totaux

Les germes totaux à 37°C sont des bactéries d'origine intestinale (humaine ou animale) (El Haissoufi et al., 2011; CEAEQ, 2011).

Les résultats obtenus montrent que la majorité des puits contrôlés contient dans leurs eaux des germes totaux (Fig.32), A l'exception les eaux de ces puits : P01, P05, P10 et P18 qui sont potables par l'absence totale de ces germes. La concentration de cette flore varie entre 1UFC.mL<sup>-1</sup> (puits P24) et 1,2x10<sup>3</sup> UFC.mL<sup>-1</sup> (puits P23) durant les deux périodes d'étude. La contamination de ces eaux par les germes totaux pourrait être due à la mauvaise protection des puits (puits à ciel ouvert), la méconnaissance des règles élémentaires d'hygiène, la pollution avoisinante (élevage des bétails, existence des fosses septiques et des latrines) et l'absence d'un réseau d'assainissement.

On remarque aussi que le nombre de puits contaminés augmente en période des hautes eaux. Selon Figarella et Leyral (2002), si le nombre des germes totaux augmente de manière importante, en particulier après une forte pluie, cela montre que la ressource est mal protégée, se contamine par des eaux d'infiltration.

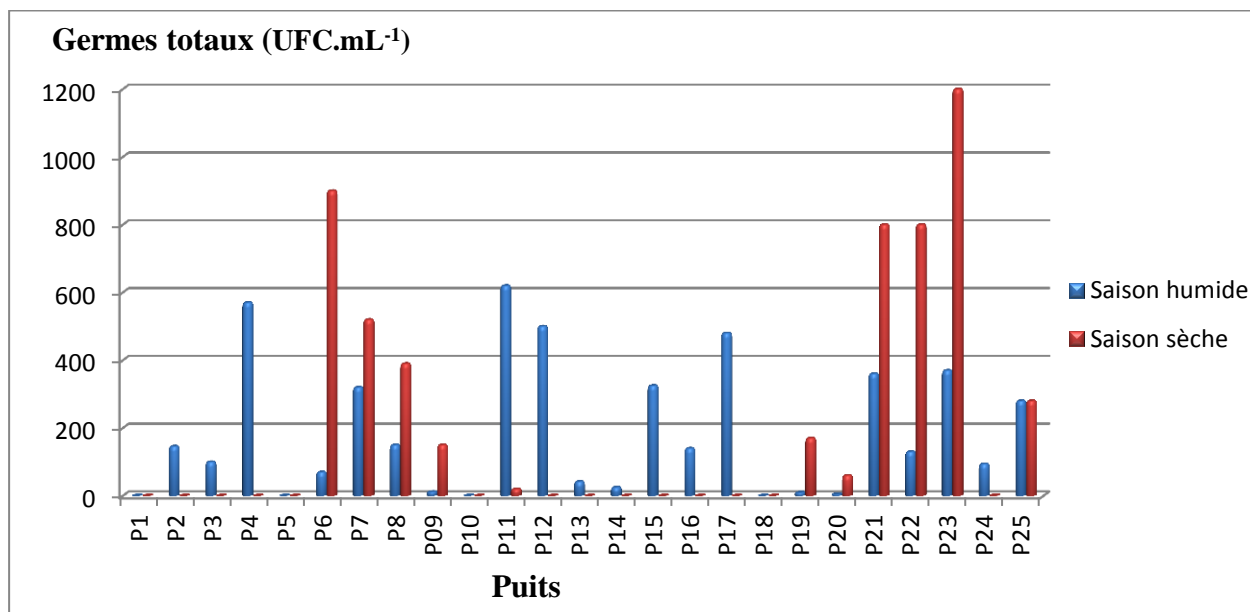


Figure 32 : Variation saisonnière des Germes totaux dans les eaux de puits étudiés.

## TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSION

### 3-2-Les Coliformes totaux

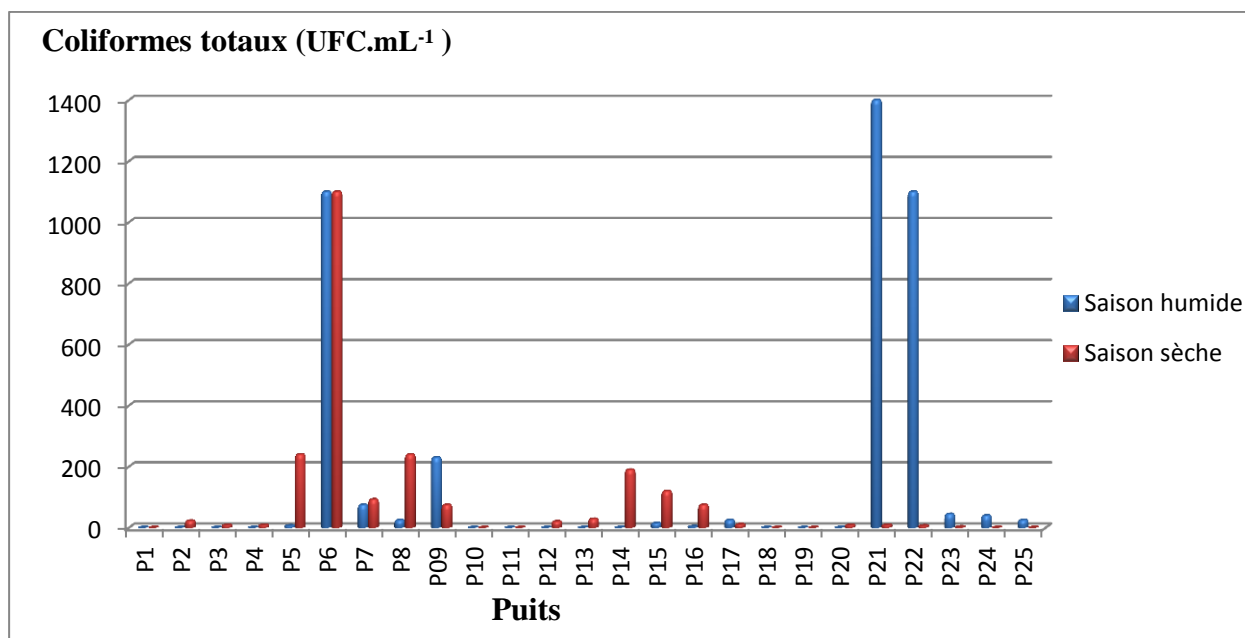
Les coliformes totaux sont d'origine animale et humaine, leur présence dans l'eau indique une contamination récente par des matières fécales (Chevalier, 2003).

La figure 33 montre la présence à des concentrations élevées des coliformes totaux dans les eaux de puits étudiés durant les deux périodes d'observations :

- En saison sèche, 72% des puits contrôlés renferment des coliformes totaux dans leurs eaux dont les valeurs varient entre 3 UFC.100 mL<sup>-1</sup> (puits P23) et 11x10<sup>2</sup> UFC.100 mL<sup>-1</sup> (puits P06).

- On constate aussi qu'en saison humide, les eaux de 11 puits sur les 25 échantillonnés sont contaminées. La concentration minimale est obtenue au niveau du puits P16 (4UFC.100 ml<sup>-1</sup>). Tandis que la concentration maximale est obtenue au niveau du puits P02 (1,4x10<sup>3</sup> UFC.100mL<sup>-1</sup>). Ces valeurs sont élevées en comparaison avec les normes de l'OMS (1994) (<10 UFC.100ml<sup>-1</sup>).

Cette contamination est causée par les rejets domestiques, par la proximité des puits avec des fosses septiques et par l'infiltration d'eau de surface dans les puits. Ces causes rejoignent celles détectées dans l'étude menée par El Haisoufi et al. (2011) sur la pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès au Maroc.



**Figure 33 :** Variation saisonnière des Coliformes totaux dans les eaux de puits étudiés.

## TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSION

### 3-3-Les Coliformes fécaux (*E. coli*)

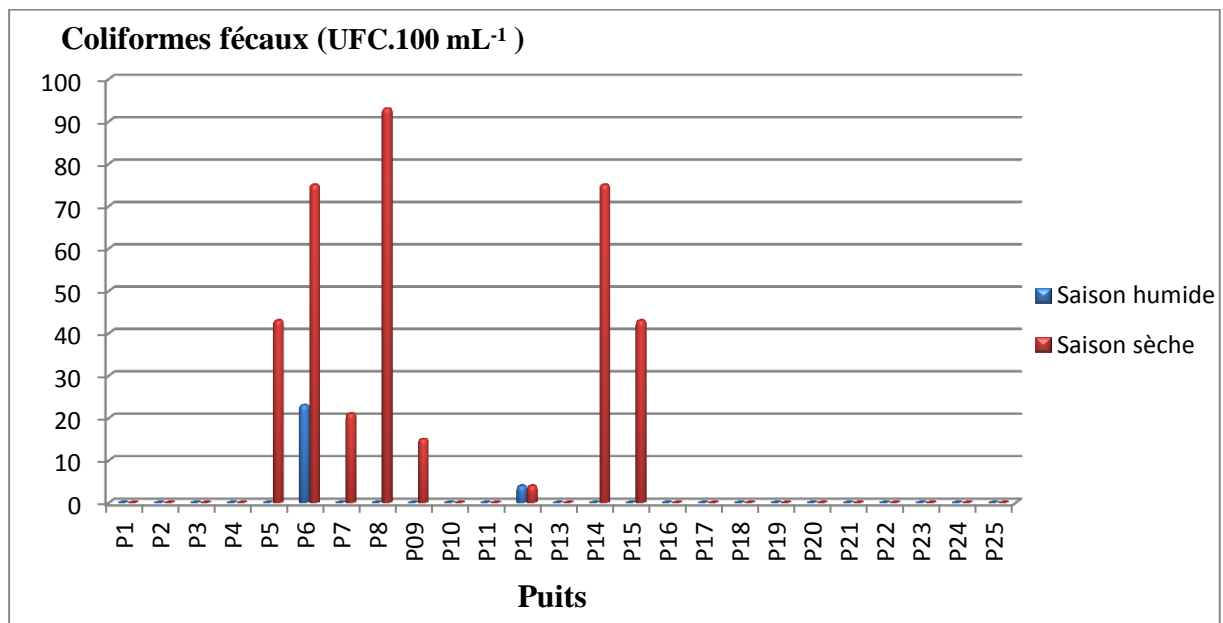
La présence des coliformes thermotolérants, signe l'existence quasi certaine de la contamination fécale d'une eau (Richard, 1996; Figarella et Leyral, 2002; Rodier et al., 2009; El Haissoufi et al., 2011). L'OMS (2004), énonce que la présence d'*E.coli*, apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente.

Dans la région d'étude, la numération des coliformes fécaux montre que pendant la saison sèche, 68% des puits contrôlés sont dépourvus de ces germes de contamination fécale, alors qu'ils sont présents dans les eaux des autres puits avec des nombres allant de 4 UFC.100 mL<sup>-1</sup> enregistrés dans le puits P12 à 93 UFC.100 mL<sup>-1</sup> dans le puits P08. Cette forte concentration en coliformes fécaux (*E. coli*) pendant cette période est proche de celle trouvée au niveau de la nappe d'Abengourou en Côte d'Ivoire (Aka et al., 2013).

Au cours de la saison humide, les eaux de la plupart des puits étudiés sont conformes à la norme de potabilité, elles sont dépourvues de ces germes (0 UFC.100mL<sup>-1</sup>), seuls les deux puits (P06 et P12) qui sont pollués (Fig.34).

D'après nos prospections dans les sites des puits contrôlés, cette contamination serait due au fumier, aux fosses septiques, aux latrines et aux déchets de toute nature existants dans les terrains avoisinants les puits.

On note aussi une diminution du nombre de coliformes fécaux pendant la saison humide dans la plupart des puits de notre étude, due à une forte dilution des coliformes causée par la recharge de la nappe phréatique.



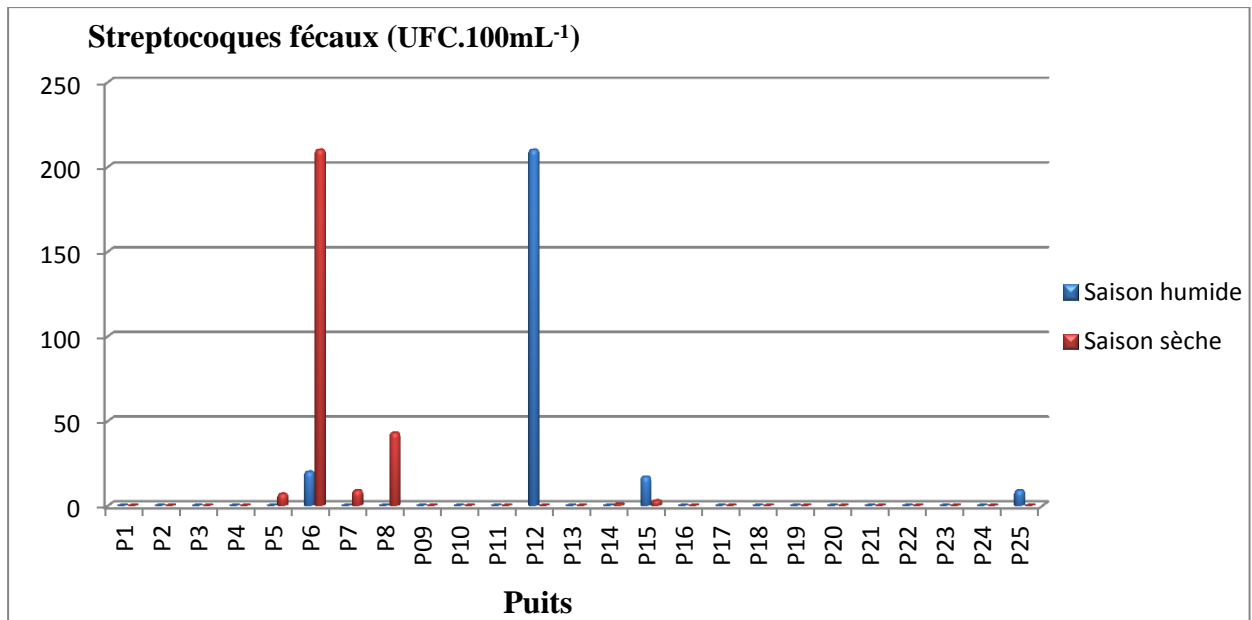
**Figure 34 :** Variation saisonnière des Coliformes fécaux dans les eaux de puits étudiés.

### 3-4-Les Streptocoques fécaux

La détection d'entérocoques dans une nappe d'eau souterraine doit faire penser à une contamination d'origine fécale et la présence de micro-organismes entéropathogènes (Chevalier, 2002; Ladjel, 2009). Selon Figarella et Leyral (2002) ; Rodier et al. (2005), la présence des streptocoques fécaux doit s'accompagner de la présence de coliformes fécaux pour être certain d'une contamination fécale d'une eau d'alimentation.

Les analyses bactériologiques effectuées sur les échantillons d'eaux de puits montrent des taux élevés de streptocoques fécaux dans 30% des puits contrôlés et les autres puits représentent 70% sont alors de bonne qualité. Comme on le voit sur la figure 35, Le nombre de streptocoques fécaux varient de 1 UFC.100mL<sup>-1</sup> à 210 UFC.100mL<sup>-1</sup> durant les deux périodes d'observation. La concentration minimale est obtenue au niveau du puits P14. Tandis que la concentration maximale est obtenue au niveau du puits P06 en période sèche et P12 en période humide.

Ce nombre de streptocoques fécaux dépasse largement les normes locales (JORA, 2011) et françaises (AFNOR, 1997) qui exigent l'absence totale de cette flore dans les eaux destinées à la consommation humaine. D'après les travaux de Youmbi et al. (2013), la présence en nombre important de streptocoques fécaux dans les eaux de puits atteste la contamination des eaux par les matières fécales stockées dans les latrines.



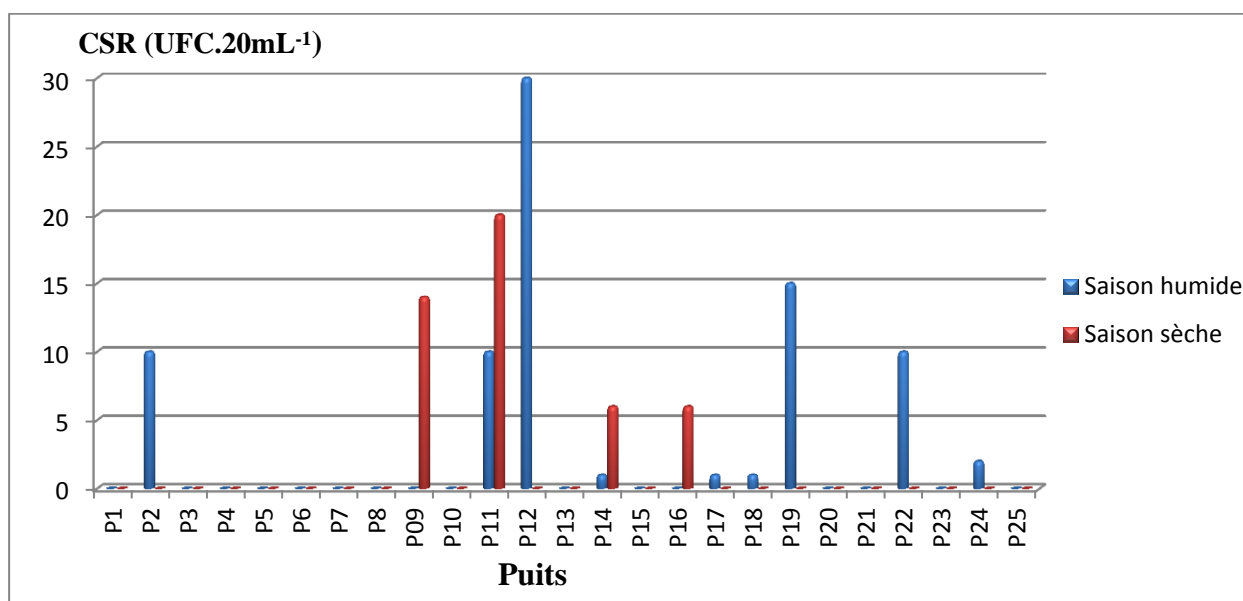
**Figure 35 :** Variation saisonnière des Streptocoques fécaux dans les eaux de puits étudiés.

### 3-5-Les *Clostridium* sulfito-réducteurs

Les *Clostridium* sulfito-réducteurs sont des germes capables de sporuler et de se maintenir longtemps dans l'eau. Ils sont donc les témoins d'une pollution ancienne. Plus difficilement tués que les coliformes par les désinfectants, ils constituent donc un bon indicateur de l'efficacité de la désinfection (Hamed et al., 2012).

D'après la figure 36, 70% des eaux de puits étudiés sont d'excellente qualité. Par contre, les puits qui restent sont contaminés par les bactéries anaérobies sulfito-réductrices dont le nombre varie de 6 UFC.20mL<sup>-1</sup> à 20 UFC.20mL<sup>-1</sup> pendant l'été. La concentration maximale est enregistrée au niveau du puits P11. Ce nombre varie entre 1 UFC.20mL<sup>-1</sup> (puits P14, P17 et P18) à 30 UFC.20mL<sup>-1</sup> (puits P12) pendant la saison humide et est donc considéré comme non conforme aux normes de l'OMS qui recommandent un nombre maximal de 5 UFC.20mL<sup>-1</sup> (OMS, 1994).

Selon Guessoum et al. (2014), la présence des spores des anaérobies sulfito-réducteurs dans une eau naturelle fait penser à une contamination fécale et en l'absence de bactéries coliformes, à une contamination ancienne. Elles sont très persistantes et leur présence est un bon indicateur de la vulnérabilité des aquifères et des puits (Travel et al., 2006).



**Figure 36 :** Variation saisonnière des *Clostridium* sulfito-réducteurs dans les eaux de puits étudiés.

# Conclusion ET Perspectives

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

---

Aux termes de notre travail, nous pouvons conclure que la contamination est physico-chimique et bactériologique des eaux de puits contrôlées. Cette contamination se manifeste par des valeurs dépassant largement les normes locales et internationales durant les deux périodes d'études : saison sèche et saison humide.

En effet, pour les propriétés physico-chimiques, la plupart des eaux analysées ont des teneurs élevés notamment pour les paramètres suivants : la conductivité électrique, la dureté totale, les ions calcium et magnésium, et les nitrites comme l'indiquent les courbes de variations saisonnières. Cette pollution chimique est d'origine industrielle, domestique et agricole. De même pendant la saison humide, les eaux analysées sont très dures avec la présence des nitrites, et font qu'elles ne sont pas recommandées pour la consommation humaine. Cela peut être dû au fait que 60 % des puits de notre étude étaient sans margelles, et l'eau de ruissellement peut facilement s'introduire dans les puits.

Sur le plan bactériologique, la majorité des eaux de puits analysées sont souillées par les germes de contamination fécale et ne peuvent donc pas être consommées. Dans l'ensemble, le nombre des germes diminue en saison humide.

Le danger de cette pollution chimique et bactériologique constitue sans aucun doute une menace pour les habitants qui puisent l'eau nécessaire de la majeure partie de leurs besoins à partir de ces puits.

Afin d'éviter tout risque sanitaire lors de la consommation de ces eaux et pour une meilleure maîtrise de cette pollution, il serait judicieux d'entreprendre les démarches suivantes :

- ✓ Faire un suivi périodique quantitatif et qualitatif des nappes par la mise en place d'un réseau de piézomètres,
- ✓ Interdire toute réalisation de point d'eau dans les zones à forte exploitation,
- ✓ Boucher tous les points d'eau abandonnés et qui présentent des anomalies d'équipement,
- ✓ Sensibiliser les populations et les inciter à traiter l'eau des puits avant consommation,
- ✓ Bien gérer les ordures ménagères et l'utilisation des fertilisants agricoles,
- ✓ Mettre en place un réseau d'assainissement pour l'évacuation des eaux usées.

# Références Bibliographiques

### A

**AFNOR, (1997).** Qualité de l'eau, Tome1:Terminologie, échantillonnage et évaluation des méthodes, 3<sup>ème</sup> édition, Paris, France, 656p.

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

**Ahonon A.S., (2011).** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface dans les zones montagneuses du sud-ouest du TOGO : cas du Canton de la vie, Master international, environnement eau et santé, Université de Lome, TOGO, 35p.

**Ahoussi K.E., Koffi Y.B., Kouassi A.M., Soro G., Biemi J., (2013).** Evolution spatio-temporelle des teneurs en nitrates des eaux souterraines de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire), International Journal of Pure & Applied Bioscience, Vol 1, N° 3, PP: 45-60.

**Aka N., Bamba S.B., Soro G., Soro N., (2013).** Etude hydrochimique et microbiologique des nappes d'altérites sous climat tropical humide : Cas du département d'Abengourou (Sud-Est de la Cote d'Ivoire), Larhyss Journal, N°16, PP : 31-52.

**Alouane H., (2012).** Evaluation des teneurs en nitrates dans les sols et dans les eaux captées et émergentes en zones à vocation agricole ; Impact des nitrates sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, Mémoire de Magister, Gestion des déchets : Évaluation et Solutions Environnementales, Université Mentouri Constantine, 49p.

**Amadou H., Laouali M.S., Manzola A., (2014).** Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de trois aquifères de la région de Tillabery : application des méthodes d'analyses statistiques multi variées, Larhyss Journal, N° 20, PP: 25-41.

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

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

**Archibald F., (2000).** The presence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill water systems - a cause for concern? Water Qual Res J. Canada, 35, PP:1-22.

**Arif S., Doumani F., (2013).** Coût de la de dégradation des ressources en eau du bassin de la seyhouse, Programme de Gestion Intégrée Durable de l'Eau (SWIM-SM), la Commission européenne, 120p.

**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.

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Association Française des Enseignants de Parasitologie et Mycologie (ANOFEL), (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.

### **B**

**Ballerini D., Gatelier C., Vogel T., (1998).** Pollution et dépollution des nappes d'eau souterraine, Paris, 246 p.

**Barhoumi-Andreani Y., Gaudremeau J., Gerbe B., Khamsing F., Rabatel Y., (2004).** Eau ressources et menaces, 30p.

**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.

**Bartherlin J., Cheru L., (1999).** Origine des éléments indésirables ou toxiques dans les eaux souterraines, Rap .B.R.G.M.R 40448, 25p.

**Bassompierre C., (2007).** Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modèles, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique De Grenoble, PP: 25-42.

**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.

**BCEOM-BG-SOGREAH, (2005).** Etude d'actualisation se de finalisation du P.N.E, Régions hydrographique ; Rapport de mission 2, Hydrologie, Centre et Est, D.E.A.H, Ministères des ressources en eau, Vol 4, Algérie, 11p.

**Beaudoin B., (2012).** Problématique écotoxicologique actualisée des fluorures dans les eaux municipales, Centre universitaire de formation en environnement, Québec, Canada, 98p.

**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.

**Belghiti M.L., Chahlaoui A.1, Bengoumi D., El Moustaine R., (2013).** Etude de la qualité physico -chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de MEKNÈS (MAROC), Larhyss Journal, N°14, PP : 21-36.

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**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.

**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.

**Benblida M., (2011).** L'efficacité d'utilisation de l'eau et approche économique, centre d'activités régionales PNUE/PAM, 24p.

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

**Beriere G., (2000).** Distribution et collecte des eaux, 2<sup>ème</sup> édition, Ecole polytechnique de Montréal, PP: 3-19.

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

**Boeglin J.C., (1998).** Contrôle des eaux douces et de consommation humaine, réglementation française, décret 89.3 du 3 janvier 1998, Doc. P 4 210, 10p.

**Bopp C., Brenner F., Wells J., Strockbine N., (1999).** Escherichia, Shigella and Salmonella, In Manual of clinical microbiology (Eds, Patrick R. Murray and American Society for Microbiology) American Society for Microbiology Press, Washington, D.C., PP : 459-474.

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

**Botta A., Bellon L., (2004).** Pollution chimique de l'eau et santé humaine, laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnementale, commission européenne, université Euro-méditerranéenne TETHYS, p 06.

**Boualla N., Saad F.H., (2011).** Contrôle de qualité des eaux souterraines de la Plaine de la Mina (Relizane-Algérie), Editions Mersenne, Vol 3, N ° 110807, Sciencelib, PP : 1-10.

**Bouchelaghem S., Benzara S., Meradi W., Rezkallah S., (2014).** Etude comparative de la qualité chimique et microbiologique des eaux de l'oued El kebir (Région d'El Tarf), International Journal of Innovation and Scientific Research, Vol 3, N°1, PP : 71-74

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Bouderhem A., (2011).** Utilisation des souches bactériennes telluriques autochtones dans la bio détection et la bioremediation des sols polluent par les hydrocarbures, mémoire de magister, Université Kasdi Merbah-OUARGLA, 91p.

**Bouraoui I., (2007).** Croissance de petites villes algériennes : Cas d'El-Harrouch, Mémoire de magister, Faculté des sciences de la terre de géographie et de l'aménagement du territoire, Département d'architecture et d'urbanisme, Université Mentouri, Constantine, 174p.

**Bourrier R., Selmi B., (2011).** Technique de la gestion et de la distribution de l'eau, Edition Moniteur, Paris, PP : 353-402.

**Boussinesq M., (1997).** L'onchocercose humaine en Afrique, Médecine Tropicale 1997, Vol 57, N°4, PP : 389-400.

**Bouziani 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.

**Bricha S., Ounine K., Oulkheir S., El Haloui N., Attarassi B., (2007).** Etude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc), Afrique Science, vol 3, PP: 391 – 404.

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

### C

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

**Cantor K.P., (1997).** Drinking water and cancer, Cancer causes and control, N°8, PP:292–308.

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

**Cardot C., (1999).** Les traitements de l'eau : procédés physico-chimiques et biologique : Cours et problèmes résolus, Ellipes Edition Marketing, paris, cedex 15, PP : 25-28.

**CEAEQ, (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.

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**CEAEQ., (2000)**, Recherche et dénombrement des coliformes totaux; méthode par filtration sur membrane, Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec, 25 p.

**Centre d'Information sur l'Eau (CIE), (2013)**. Le cycle naturel de l'eau, le mercredi 7 août 2013, 6p.

**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, 4 p.

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

**Conant J., (2005)**. De l'eau pour la vie : La garantie de la sécurité de l'eau pour les communautés, La Fondation Hesperian en collaboration avec le Programme des Nations Unies pour le développement, Berkeley, California, 47p.

## D

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

**Degbey C., Makoutode M., Fayomi B., Brouwer C., (2010)**. La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey au Bénin, Journal Internationale de Santé et Travaux, Vol 1, PP : 15-22.

**Degbey C., Makoutode M., Fayomi B., Brouwer C., (2010)**. La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey au Bénin, J Int Santé Trav, Vol 1, PP : 15-22.

**Degremont G., (2005)**. Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10<sup>ème</sup> édition, Edit. Tec et doc, PP: 3- 38.

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Demdoun A., (2010).** Etude hydrogéochimique et impact de la pollution sur les eaux de la région d'el Eulma, Doctorat d'état, Faculté des Sciences de la Terre, Université Mentouri Constantine, 205p.

**Desille D., (2012).** Conservation et traitement de l'eau à domicile, Programme Solidarité Eau, Agence Française de Développement, PP : 12-17.

**Desjardins R., (1997).** Le traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2<sup>ème</sup> édition, Québec, Canada, PP : 46-112.

**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 en hydraulique, construction hydro-technique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, 127 p.

**Djabri L., (1996).** Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse, origine géologiques, industrielles, agricoles et urbaines, Thèse de doctorat d'état, Université d'Annaba, Algérie, 176 p.

**Douard P., Lebental B. (2013).** Plomb et qualité de l'eau potable : Analyse et évaluation de l'efficacité des actions engagées pour respecter la future limite de qualité de 10µg/l de plomb dans l'eau du robinet et propositions d'actions, conseil général de l'environnement et du développement durable, 73p.

### *E*

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

**Edmond M.B., Ober J.F., Weinbaum, D.L., Pfaller M. A., Hwang T., Sanford M.D., Wenzel R.P., (1995).** Vancomycin-resistant Enterococcus faecium bacteremia : risk factors for infection, Clin Infect Dis, Vol 20, N°5, PP: 1126-1133.

**El Haissoufi H., Berrada S., Merzouki M., Aabouch M., Bennani L., Benlemlih M., Idir M., Zanibou A., Bennis Y., El Ouali lalami A., (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.

**Elmund G.K., Allen M.J., Rice E.W., (1999).** Comparison of *Escherichia coli*, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency, Water Environ.Res, N°71, PP : 332-339.

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**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, 2<sup>ème</sup> édition, P19.

### *F*

**Fakih Ianjri A., Brigui J., El Cadi A., Khaddor M., Salmoune F., (2014).** Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Tanger, Journal de Matériel et Science de l'Environnement, Vol 5, N° S1, PP : 2230- 2235.

**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.

**Fiambusch H.B., (1998).** Chang from chlorine residual distribution to no chlorine residual distribution in groundwater system, Water supply, Vol 6, N°3/4, Germany, PP: 145-152.

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

**Fouatih Z.A., Benzine F. Z., Mokhtari L., (2007).** La restriction en eau potable dans une grande ville d'Algérie : Oran, Pré-actes des JSIRAUF, Hanoi, PP : 1-6.

**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.

**Glaude B., Robert P., (2001).** Chimie de l'environnement (air, eau ; sol, déchet), de boeck, paris, 299 p.

**Gleeson C., Gray N., (1997).** The coliform index and waterborne disease: problems of microbial drinking water assessment, E & FN Spoon, London, 194 p.

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**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.

**GOOGLE EARTH., (2015).**

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

**Gouvernement du Quebec., (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.

**Gregorio C., Pierre-Marie B., (2007).** Traitement et épuration des eaux industrielles polluées: Procédés, Presses Univ. Franche-Comté, 356 p.

**Grosclaude J.Y., (2011).** Réalisation et gestion des forages équipés d'une pompe à motricité humaine en Afrique subsaharienne, Agence Française de Développement, 88 p.

### *H*

**Hade A., (2007).** Nos lacs : Les connaître 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), Mémoire d'Ingénieur d'état en Biologie, Contrôle de qualité et d'Analyse, faculté des sciences et technologies, Département des sciences, Université de Bechar, 134p.

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

**Hassoune E.M., Bouzidi A., Koulali Y., Hadarbach D., (2006).** Effets des rejets liquides domestiques et industriels sur la qualité des eaux souterraines au nord de la ville de Settat (Maroc), Bulletin de l'Institut Scientifique, section Sciences de la Vie, N°28, Rabat, PP : 61-71.

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

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

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

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

### *I*

**ISO., (1994).** Qualité de l'eau, Dosage des nitrites, Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, NA 1657, ISO 6777, 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 Belkaied, Faculté de médecine, Département de Pharmacie, Tlemcen, 23p.

**Jean L.C, (2002).** La dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau, Edition. Ministère de l'agriculture et de la pêche, Direction de l'espace rural et de la forêt, 22p.

**Jestin E., (2006).** La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaire, agence de l'eau Seine-Normandie, Hérouville Saint Clair, PP : 17-32. 34p.

**John P., Donald A., (2010).** Microbiologie, 3<sup>ème</sup> Édition, 1216 p.

**Journal Officiel de la République Algérienne (JORA), (2011).** Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 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.

### *K*

**Kankou M., (2004).** Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie : étude en laboratoire du comportement de deux pesticides, Thèse de doctorat, Université de Limoges, 159p.

**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.

### *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, Tizi Ouzou, 101 p.

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Laferriere M., Nadeau A., Malenfant G., (1995).** La contamination par les nitrates : Prévention des risques à la santé, P38.

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

**Larpent J. P., (1997).** Microbiologie alimentaire: Technique de laboratoire. Ed. Technique et documentation-Lavoisier, Paris, 1073 p.

**Laurence M., (2003).** Réduire le plomb dans l'eau de robinet : enjeux, réglementation, actions, Direction de l'eau, Direction générale de la santé, 26p.

**Lebres E.A., Mouffok F., (2008).** Le cours national d'hygiène et de microbiologie des eaux de boisson, Laboratoires bactériologiques alimentaires et des eaux, Institut Pasteur d'Algérie, Alger, 53 p.

**Levallois P., (2003).** Bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 3p.

**Lounnas A., (2009).** Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station hamadi-kroma de skikda, Mémoire de magister, Faculté des Sciences, Département des Sciences Fondamentales, Université du 20 Août 1955 Skikda, 120p.

### M

**Madani T. A. A., Kabani A., Orr P., Nicolle L., (1999).** Enterococcal bacteremia in a tertiary care centre in Winnipeg, Canadian Journal of Infectious Diseases, Vol 10, PP : 57-63.

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

**Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., Van Clooster M., (2011).** Contribution a l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued moulouya (maroc oriental), Larhyss Journal, N° 09, PP : 149-169.

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

**Masson M.H., Canu S., Grandvalet Y., Lyngaard-Jensen A., (1999).** Software sensor design based on empirical data, Ecological Modelling, N°120, PP : 131-139.

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**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.

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

**Molinie L., (2009).** Dispositifs rustiques d'alimentation et de Traitement de l'eau potable pour des services de petites tailles en régions défavorisées, Agro Paris Tech, Montpellier, Cedex 4, 7p.

**Montiel A., (2004).** Contrôle et préservation de la qualité microbiologique des eaux : traitements de désinfection, Traitements de potabilisation et assurance qualité des eaux de consommation humaine, Revue Française des Laboratoires, N° 364, PP : 51-53.

**Morris R.D., (1995).** Drinking water and cancer, Environmental Health Perspectives, 103(suppl8), PP: 225–231.

**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.

**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 Caldonie, Santé et environnement, NOUMEA cedex, P 02.

**Myrand D., (2008).** Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées, Québec, P04.

## N

**Nechem D., (2009).** Qualité des eaux des sources thermales : Cas des source de Djebel Safia (Hadjar Soud), Nord Est Algérien, Mémoire de Magister, Hydrogéologie environnementale et modélisation, Faculté des sciences de la Terre , Département de Géologie, Université Badji Mokhtar-Annaba, 64p.

**Normes Algériennes, (1992).** NA. 6360, 1<sup>ère</sup> édition, Ed EX. INAPI. IANOR, PP: 5-7.

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**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

**Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP), (2003).** L'eau souterraine, Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, 31p.

**Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP), (2003).** Utilisation judicieuse de l'eau de pluie : Possibilités et limites, Conseils et critères, Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, Berne, 14p.

**Ollivier A., (2005).** Chimie et pollution des eaux souterraines, Edition TEC 8 DOC, Lavoisier, ISBN : 2-74 30-0761-3, P173.

**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 qualité pour l'eau de boisson; volume 2, critères d'hygiène et documentation à l'appui, 2<sup>ème</sup> édition, 1050 p.

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

**OMS., (2005).** Célébration de la décennie internationale d'action : L'eau source de vie 2005-2015, Journal mondial de l'eau 2005, Guide de sensibilisation, Genève, Suisse, 34p.

**OMS., (2006).** Paludisme: lutte antivectorielle et protection individuelle, Série de Rapports techniques, N°936, 71p.

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

**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.

### P

**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 Pathol Exot, Vol 95, N°5, PP : 345-350.

### Q

**Queneau P., Et 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, 4<sup>ème</sup> édition, Switzerland, PP : 12-13.

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

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

**Renard S., (2002).** La biorémediation: techniques de réhabilitation des sites pollués par l'action des microorganismes. Mémoire Maîtrise B.G., Faculté des Science, Amiens, 30p.

**Réseaux Partenarial des Données sur l'Eau (RPDE)., (2007).** Le cycle de l'eau, Observatoire Régional de l'Environnement Poitou-Charentes, 33p.

**Richard C., (1996).** Les eaux, les bactéries, les hommes et les animaux, Ed. Scientifiques et Médicales, Elsevier, Paris, 115 p.

**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.

**Rogeaux O., (1991).** Fièvre typhoïde, Association Tokombéré, Développement et Santé, n°91, 25p.

### 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.

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Satin M., Selmi B., (1999).** Guide technique de l'assainissement, 2<sup>ème</sup> édition: Moniteur, P75.

**Savary P., (2010).** Guide des analyses de la qualité de l'eau, territorial édition, Voiron, PP : 10-179.

**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.

**Schwartzbrod J., Capizzi-Banas S., (2003).** Parasite contamination of liquid sludge from urban wastewater treatment plants, Water Science and Technology 47, PP : 163-166.

**Sedrati N., (2011).** Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra-sud est Algérien, thèse de doctorat en géologie, Hydrogéologie, faculté des sciences de la terre, département de géologie, Université Badji Mokhtar-Annaba, 252p.

**Service de l'Eau (SEVESC). (2013).** Qualité de l'eau potable en sortie de l'usine de traitement d'eau potable de Versailles et Saint Cloud, 11p.

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

### T

**Tampo L., Ayah M., Kodom T., Tchakala I., Boguido P., Bawa L., Djaneye B., (2014).** Impact de la demande en chlore et de la chloration sur la désinfection des eaux de puits des quartiers de Lomé : cas des quartiers de Démakpoé et d'Agbalépédogan (Togo), Journal of Applied Biosciences, N° 75, PP: 6272– 6281.

**Tazi O., Fahde A., El Younoussi S., (2001).** Impact de la pollution sur l'unique réseau hydrographique de Casablanca (Maroc), Sécheresse, PP : 129-134.

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

**Travel A., (2006).** Attention à la qualité de l'eau de boisson, Réussir Aviculture, Nov., N° 121, PP : 21-23.

### U

**UNICEF, (1999).** Manuel sur l'eau, N°2, PP : 42-43.

**URBACO., (2011).** PDAU de la commune d'El harrouch, W. Skikda, Algérie, PP : 13-36.

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

### V

**Valentin N., (2000).** Gestion des eaux : Alimentation en eau assainissement, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 42p.

**Valverde A.L., (2008).** Comprendre le cycle de l'eau, bulletin de l'OMM, Vol 57, N°3, 55p.

**Vilagines R.,(2003).** Eau, environnement et santé publique, Introduction à l'hydrologie, 2<sup>ème</sup> édition, Editions Tec&Doc, PP : 195-198.

**Vincent M., (2014).** Evaluation du risque microbien dans l'eau : vers une meilleure gestion des ressources hydriques, revue francophone des laboratoires, N°459, p 27.

### Y

**Youmbi J.G.T., Feumba R., Njitat V.T., Marsily G., Ekodeck G.E., (2013).** Pollution de l'eau souterraine et risques sanitaires à Yaoundé au Cameroun, Colloque panafricain (Dakar 2012), Comptes Rendus Biologies, Elsevier Masson SAS., PP : 310–316.

### Z

**Zerluth J., Gienger M., (2006).** L'eau et ses secrets : nature et action de l'eau pour une eau de qualité, Edition Désiris, ISBN : 2-915418-00-4, paris, PP : 100-115.

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

# Annexe

## ANNEXE

### 1-Contexte démographique de la région d'El-Harrouch

**Tableau 10:** l'évolution de la population de la ville d'El Harrouch.

	1954	1966	1977	1987	1998	2007
<b>Habitants</b>	2575	9532	12920	19194	28090	32493
<b>Taux d'accroissement</b>	5,50%	2,84%	3,99%	3,45%	1,63%	

### 2-Les données climatiques

**Tableau 11:** Variations des températures moyennes mensuelles et annuelles des stations de Skikda et Zérdazas.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
<b>Skikda (1990/2012)</b>													
<b>Tmin</b>	18.12	15.45	10.33	7.9	6.61	6.75	8.49	9.44	12.76	16.60	19.64	20.53	<b>12,72</b>
<b>Tmoy</b>	25.54	21.99	16.53	12.85	11.95	12.57	14.3	16.5	20.96	24.98	28.14	29.01	<b>19,61</b>
<b>Tmax</b>	32.96	28.53	22.68	17.79	17.28	18.39	21.45	23.57	29.1	33.34	36.64	37.47	<b>26,60</b>
<b>Zérdazas (1970/2006)</b>													
<b>Tmin</b>	21,1	17,5	12,4	11,8	9,9	9,5	10,7	11	15,8	19,8	22	22,7	<b>15,4</b>
<b>Tmoy</b>	24.9	22.4	15.6	12.0	11.3	11.7	14.6	16.7	20.9	25.5	27.5	28.8	<b>19.3</b>
<b>Tmax</b>	25,7	24,1	18,3	16,6	15,6	14,6	15,6	17,8	20,7	25,6	27,3	29,2	<b>20,9</b>

**Tableau 12 :** Précipitations moyennes mensuelles en (mm) Aux quatre stations :  
Skikda (2000-2012), El-Harrouch (1970-2009), Ramdane Djamel (1970-2009)  
Zérdazas (1970-2008).

Mois Stations	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Année
<b>Skikda</b>	32.21	53.26	94.76	123.64	109.41	74.21	51.84	57.06	45.51	3.35	4.37	6.93	<b>670.41</b>
<b>El-Harrouch</b>	34,9	48,6	68,0	97,8	83,1	67,2	64,8	51,3	35,3	11,8	3,3	8,3	<b>574,4</b>
<b>Ramdane Djamel</b>	29,9	58,3	69,2	98,6	87,9	67,8	60,6	51,5	32,1	11,9	3,7	5,3	<b>576,8</b>
<b>Zérdazas</b>	33,3	53,1	75,3	109,5	94,8	78,8	71,0	60,5	39,2	14,1	4,5	7,4	<b>641,5</b>

## ANNEXE

**Tableau 13 :** Répartition mensuelle de l'humidité de l'air dans la station de Skikda.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	mai	juin	jui	aout	sep	oc	nov	dec	année
HR (%)	74,31	74,04	74,23	74,19	75,69	74,5	72,81	74,69	75	74,73	74,73	74,58	<b>74,53</b>

**Tableau 14 :** Répartition mensuelle de la force du vent dans la station de Skikda.

Mois	jan	fév	Mars	Avr	Mai	juin	juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
U m/s	3,51	3,56	2,9	3,07	2,47	2,29	2,07	2,46	2,46	2,83	3,52	4,01	<b>2,93</b>

### 3-Réactifs utilisés dans les analyses physico-chimiques

#### 3-1-Dosage de la dureté totale

- Solution tampon : dissoudre 67,5g de chlorure d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) dans 570 ml de solution ammoniacale [ 25% (m/m) ;  $\rho=0,910\text{g/ml}$ ].

Ajouter ensuite 5,0g du sel disodique de magnésium de l'EDTA ( $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2\text{Mg}$ ) et diluer à 1000ml avec l'eau.

- EDTA, solution titré ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ )=10 mmole/l ; Sécher une portion d'EDTA à 80°C pendant 2h, dissoudre 3,725g du sel sec dans de l'eau et diluer à 1000ml dans une fiole jaugée.

- Mordant noir 11 : dissoudre 0,5g de sel de sodium de mordant noir dans 100ml de triéthanolamine, il est possible d'ajouter jusqu'à 25 ml d'éthanol à la place de la triéthanolamine, afin de diminuer la viscosité de la solution.

#### 3-2- Dosage du calcium

- Hydroxyde de sodium, solution de 2 mol/l ; dissoudre 8g de NaOH dans 100ml d'eau fraîchement distillée.

- EDTA, solution titré( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ )=10 m mole/l ; Sécher une portion d'EDTA à 80°C pendant 2h, dissoudre 3,725g du sel sec dans de l'eau et diluer à 1000ml dans une fiole jaugée.

- Indicateur murexide.

## ANNEXE

---

### 3-3-Dosage des chlorures

Solution de nitrate d'argent à 0,01N :

1,6987g d'AgNO<sub>3</sub> → 1000ml d'eau distillée.

Indicateur coloré K<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> à 10% :

10g de K<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> → 100 ml d'eau distillée.

### 3-4-Dosage des nitrites

- Sulfanilamide 40g.
- Acide phosphorique 100ml.
- le N - 1- Naphtyl éthylène diamine 2g.
- eau distillée 1000ml.

## 4- Les milieux de cultures

### 4-1-Recherche des Germes totaux (TGEA: Tryptone Glucose Extrait Agar)

- Gélose à l'extrait de levure tryptone 6 g
- Extrait de levure déshydraté 3 g
- Agar 15 g
- Eau déionisée *q.s.p.* 1 000 ml.

### 4-2-Recherche des Coliformes totaux (Bouillon lactosé au bromocrésol pourpre :

BCPL milieu simple et double concentrations) en g/l d'eau distillée

	Milieu S/C	Milieu D/C
- Peptone.....	5.....	10.....
- Extrait de Viande.....	2.....	4.....
- Lactose.....	5.....	10.....
- Pourpre de bromocrésol.....	0,025.....	0,05.....

pH final : 6,9 ± 0,2

**4-3-Recherche des Coliformes fécaux (Bouillon de Schubert) en g/l d'eau distillée**

- Tryptophane.....0,2
  - Acide glutamique.....0,2
  - Sulfate de magnésium.....0,7
  - Citrate de sodium.....0,5
  - Sulfate d'ammonium.....0,4
  - Chlorure de Sodium..... 2
  - Peptone.....10
  - Mannitol.....7,5
  - Phosphate disodique.....4
  - Phosphate monopotassique.....0,6
- pH final : 7,4 ± 0,2

➤ **Réactif de Kovacs**

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

**4-4- Recherche des Streptocoques fécaux (Milieu de ROTHE : milieu simple et double concentrations) en g/l d'eau distillée**

	<b>Milieu S/C</b>	<b>Milieu D/C</b>
- Hydrolysats tryptique de caséine.....	12,6.....	25,2
- Peptone bactériologique.....	8.....	16
- Glucose.....	5.....	10
- Chlorure de sodium.....	5.....	10
- Phosphate dipotassique.....	2,7.....	5,4
- Phosphate monopotassique.....	2,7.....	5,4
- Azide de sodium.....	0,2.....	0,4

pH final : 6,8 ± 0,2

## ANNEXE

---

### ➤ **Test confirmatif (Milieu EVA Litsky) en g/l d'eau distillée**

- Peptone .....20
- Glucose.....5
- Chlorure de sodium.....5
- Phosphate dipotassique.....2,7
- Phosphate monopotassique.....2,7
- Azohydrate de sodium.....0,3
- Ethyl-violet.....0,0005

pH final :  $6,8 \pm 0,2$

### **4-5- Recherche des *Clostridium* sulfito-réducteurs: Gélose viande-foie en g/l d'eau distillée**

- Base viande-foie.....30
- Glucose.....2
- Amidon.....2
- Agar.....11

pH final :  $7,6 \pm 0,2$

### ➤ **Sulfite de sodium à 10%**

- Dissoudre 10g de  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  (anhydre) dans 100ml d'eau distillée stérile.
- Stériliser par un séjour de 10 min environ dans un bain marie bouillant.

### ➤ **Alun de Fer à 5%**

- Dissoudre 5g de citrate ammoniacal (alun de fer) dans 100ml d'eau distillée stérile.
- L'alun de fer ne doit pas être chauffé. L'eau doit être stérile ainsi que le flacon.

## ANNEXE

**Tableau 15** : Présentation des puits sélectionnés au niveau de la région d'El-Harrouch (W.Skikda).

<b>N° de puits</b>	<b>Nom de puits</b>	<b>Type de puits</b>	<b>Lieu de prélèvement</b>
<b>P01</b>	El-Aifa Youcef	Individuel	El-Harrouch
<b>P02</b>	Belgasmia Said	Individuel	El-Harrouch
<b>P03</b>	Miloudi Zakia	Individuel	El-Harrouch
<b>P04</b>	Bounab Mourad	Individuel	El-Harrouch
<b>P05</b>	Boussatour Ben Aissa	Collectif	El-Harrouch
<b>P06</b>	Dreif	Collectif	El-Harrouch
<b>P07</b>	Bougreina	Collectif	El-Harrouch
<b>P08</b>	Aissouss Saad	Collectif	El-Harrouch
<b>P09</b>	El Charef	Collectif	El-Harrouch
<b>P10</b>	Khalfi el Arbi	Individuel	El-Harrouch
<b>P11</b>	Ketouch Salah	Individuel	El-Harrouch
<b>P12</b>	Guerguan Ali	Individuel	Zerdazas
<b>P13</b>	Guerguan Salah	Individuel	Zerdazas
<b>P14</b>	Guerguan Abd Karim	Individuel	Zerdazas
<b>P15</b>	Dandan	Collectif	Zerdazas
<b>P16</b>	Djefara Salah	Collectif	Zerdazas
<b>P17</b>	Ecole de Khamakhem	Collectif	Zerdazas
<b>P18</b>	Zaghoudi Saad	Individuel	Salah bouchaour
<b>P19</b>	Boulabsal	Collectif	Salah bouchaour
<b>P20</b>	Belkahla Boumendjel	Individuel	Salah bouchaour
<b>P21</b>	Kahoul Taib	Individuel	Emjez Edchiche
<b>P22</b>	Laghmouch Ali	Individuel	Emjez Edchiche
<b>P23</b>	El Zaytouna	Collectif	Emjez Edchiche
<b>P24</b>	Ben Safia	Collectif	Emjez Edchiche
<b>P25</b>	Bekouch	Collectif	Emjez Edchiche

## ANNEXE

**Tableau 16 : Table de Mac Grady.**

Nombre de tubes donnant une réponse positive			Indice NPP
3 tubes de 10ml	3 tubes de 1 ml	3 tubes de 0.1 ml	
0	0	1	3
0	1	0	3
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	0	9
2	0	1	14
2	1	0	15
2	1	1	20
2	2	0	21
2	2	1	28
3	0	0	29
3	0	1	39
3	0	2	64
3	1	0	43
3	1	1	75
3	1	2	120
3	2	0	93
3	2	1	190
3	2	2	210
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	1100
3	3	3	1400

# Article



## 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)]

Wissem Ayad <sup>1</sup>, Mohamed Kahoul <sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de biochimie et microbiologie appliquée, Faculté des sciences, Université Badji Mokhar, Annaba BP 12, Algérie.

<sup>2</sup> Laboratoire des sols et développement durable, Faculté des sciences, Université Badji Mokhar, Annaba BP 12, Algérie.

Received 22 July 2015; Revised 29 Jan 2016, Accepted 4 Feb 2016

\*Corresponding Author: E-mail: [kahomed@yahoo.fr](mailto:kahomed@yahoo.fr)

### Abstract

Water is a precious and essential natural resource for multiple uses. Its use for food or hygiene requires excellent physico-chemical and microbiological quality. To assess the quality of well water for human consumption in the El - Harrouch region which is located in North-east of Algeria, a physico- chemical and bacteriological control was carried out on the basis of 25 water samples from wells in this area. The analyzes were performed on these samples by measuring the following physico-chemical parameters: temperature, pH, electric conductivity (EC), calcium (Ca<sup>2+</sup>), magnesium (Mg<sup>2+</sup>), chloride (Cl<sup>-</sup>), dissolved oxygen, nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), total hardness (TH) and possibly seeking unwanted bacteria (total bacteria, total coliforms, fecal coliforms, fecal streptococci, *Clostridium* sulfite-reducing). The results of analyzes showed that waters of a large number of wells have a poor physico- chemical and bacteriological quality which constitutes probably a significant harm to population consuming these waters.

**Keywords:** Water wells, Physico-chemical, Bacteriology, Quality, El-Harrouch

### Résumé

L'eau est une ressource naturelle précieuse et essentielle pour de multiples usages. Son utilisation des fins alimentaires ou d'hygiène nécessite une excellente qualité physico-chimique et microbiologique. Pour apprécier la qualité des eaux de puits destinées à la consommation humaine dans la région d'El-Harrouch qui est situé au Nord-est de l'Algérie, un contrôle physico-chimique et bactériologique a été réalisé et a porté sur plusieurs échantillons d'eau prélevés au niveau de 25 puits appartenant à cette localité. Les analyses ont été effectuées sur ces échantillons en mesurant les paramètres physico-chimiques suivants : la température, le pH, la conductivité électrique (CE), le calcium (Ca<sup>2+</sup>), le magnésium (Mg<sup>2+</sup>), les chlorures (Cl<sup>-</sup>), l'oxygène dissous, les nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), la dureté totale (TH) et en recherchant éventuellement les germes indésirables (germes totaux, coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques fécaux, *Clostridium* sulfite-réducteurs). Les résultats des analyses effectuées ont fait ressortir que les eaux d'un grand nombre de puits sont de mauvaise qualité aussi bien sur le plan physico-chimique que bactériologique ce qui constitue sans doute un danger non négligeable à la santé des populations consommatrices de ces eaux.

**Mots clés :** Eaux de puits, Physico-chimie, Bactériologie, Qualité, El- Harrouch

### 1. Introduction

Partout dans le monde, la pression sur les ressources en eau et en particulier sur les ressources en eau souterraines est à la hausse, principalement en raison de la demande croissante [1]. L'eau captée peut contenir des éléments pouvant avoir des effets indésirables sur la santé, comme des microorganismes pathogènes, des substances indésirables ou même des substances toxiques [2].

Certains travaux de recherches ont été réalisés sur la qualité des eaux souterraines concluent que les pollutions de ces eaux souterraines proviendraient d'une origine géologique et anthropique, notamment d'infiltration des eaux usées et l'utilisation des engrais chimiques en agriculture [3, 4, 5,6, 7]. D'autres études ont révélées que la pollution des eaux souterraine est liée à la présence des fosses septiques, à l'absence du traitement, au manque du réseau d'assainissement et au non-respect des conditions d'hygiène publique [8, 2,9]. En Algérie, les eaux souterraines 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 [10]. Cette étude a pour objectif l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits utilisées comme eau de boisson au niveau de la région d'El-Harrouch (Algérie), de dégager éventuellement les causes de la pollution de ces eaux et de faire des propositions aux consommateurs de telle manière à observer des attitudes garantissant la qualité de l'eau.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Présentation de la région d'étude

La commune d'El Harrouch est située géographiquement au Nord - est de l'Algérie et au Sud de la wilaya de Skikda (Fig.1). Sa surface globale est de 101,80 km<sup>2</sup>. Le réseau hydrographique est représenté par des cours d'eau permanents qui forment exclusivement des affluents des deux principaux oueds Saf saf et N'ssa. La tranche pluviométrique annuelle est variée entre 600 mm et 800 mm. Les températures sont positives tout au long de l'année, avec une moyenne de 18.37°C.



Figure 1 : Situation géographique de la région d'El-Harrouch [13].

### 2.2. Echantillonnage

Les puits où ont lieu les prélèvements des échantillons d'eau sont au nombre de 25 et sont localisés dans la région d'El-Harrouch (Fig.2). Les échantillons d'eau pour l'analyse physico-chimique ont été prélevés dans des flacons jetables en matière plastique, conservés à 4°C, ensuite analysés dans les 24 heures qui suivent. A chaque prélèvement, la température et le pH de l'eau ont été mesurés in situ respectivement à l'aide d'un thermomètre et d'un pH-mètre.

Pour l'analyse bactériologique, les échantillons sont recueillis à 30cm de profondeur des puits dans des flacons en verre stériles de 250 ml munis de bouchons à vis tout en respectant les conditions aseptiques les plus rigoureuses[11].

### 2.3. Analyses

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées selon les méthodes décrites par Rodier *et al.* [12], et ont concerné la température, le pH, la dureté (TH), l'oxygène dissous, les nitrites, le calcium, les chlorures, le magnésium et la conductivité électrique.

Les analyses bactériologiques ont porté sur la recherche des germes totaux, des coliformes totaux et l'identification d'*Escherichia coli*, la recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux basés sur un test présomptif et un test confirmatif. La recherche et le dénombrement des *Clostridium*s sulfito-réducteurs basés sur la sélection des spores et l'enrichissement dans un milieu liquide (viande-foie) [12].



Figure 2 : Localisation des stations d'échantillonnage dans la région d'étude.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Paramètres physico-chimiques

#### 3.1.1. La température

Les mesures in-situ de la température dans les eaux des puits contrôlés varient de 20 à 24°C (Fig.3) et est donc conforme aux normes locales des eaux souterraines qui recommandent des températures ne dépassant pas les 25°C [14].

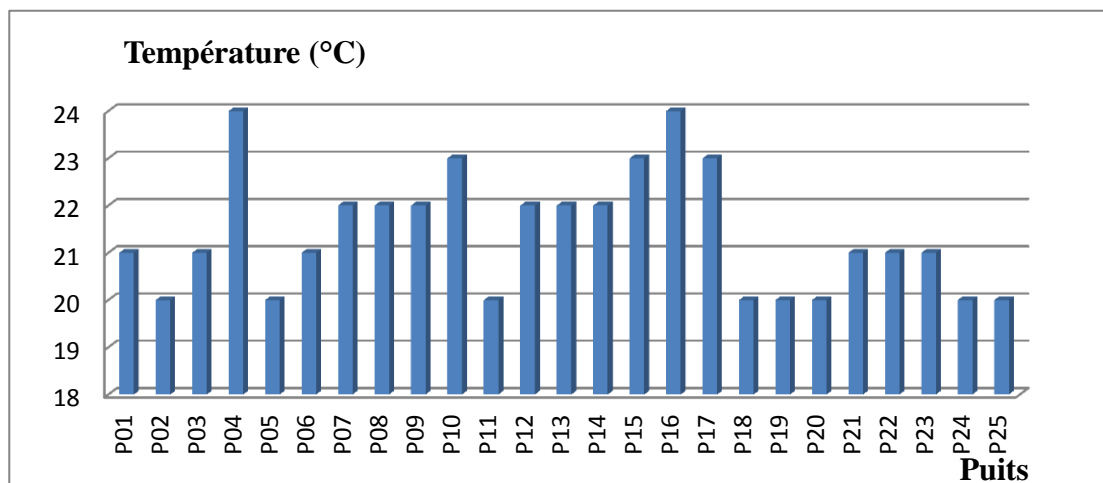


Figure 3 : Variation de la température des eaux de puits des différentes stations

#### 3.1.2. Le Potentiel d'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  $H^+$  présents dans cette eau. Dans les eaux naturelles cette activité est due à des causes diverses en particulier l'ionisation de l'acide carbonique et de ses sels [12]. Selon la réglementation locale [14], les valeurs du pH des eaux souterraines doivent être situées entre 6,5 et 9. Dans la région d'étude, les valeurs du pH

enregistrées in-situ (Fig.4) ne montrent pas de variations notables, on note un minimum de 6,8 au puits P05 et un maximum de 7,9 au puits P01 ce qui témoigne d'un pH conforme à la réglementation des eaux de tous les puits.

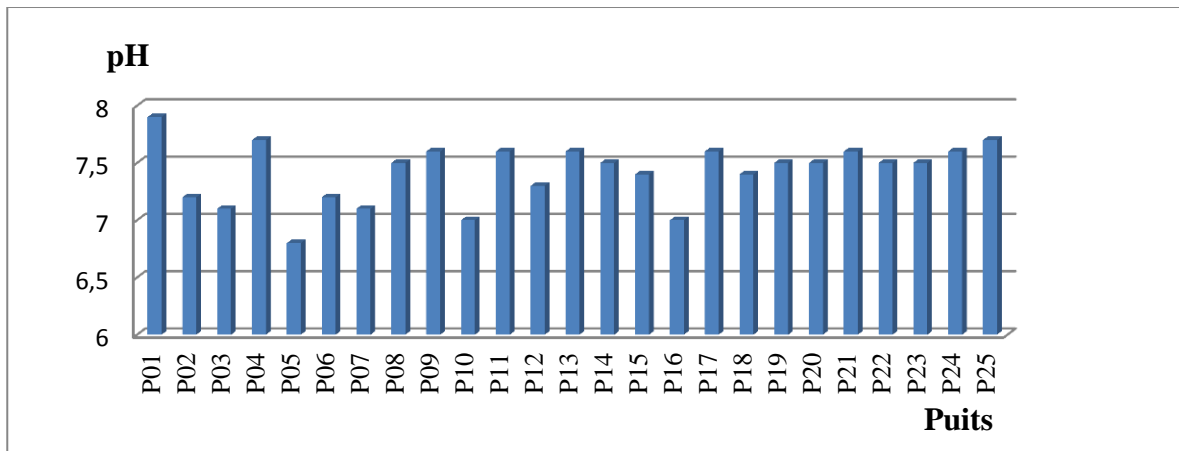


Figure 4 : Variation du pH des eaux de puits des différentes stations

### 3.1.3. L'oxygène dissous

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est liée à plusieurs facteurs, en particulier la température, la pression atmosphérique et la salinité. L'oxygène dissous est aussi fonction de l'origine de l'eau. Les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation. Les eaux profondes n'en contiennent le plus souvent que quelques milligrammes par litre [12]. Etant l'un des plus importants indicateurs du degré de la pollution des eaux, l'oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau exprimée en mg.L<sup>-1</sup> ou en pourcentage de saturation. Les concentrations obtenues au niveau des eaux des différents puits étudiés (Fig.5) ne présentent pas de variation notable. Les eaux étudiées contiennent de faibles taux d'oxygène dissous avec une valeur maximale qui atteint 2,72 mg L<sup>-1</sup> (puits P13). Ces teneurs en oxygène dissous sont inférieures à la norme algérienne fixée à 5 mg L<sup>-1</sup> [14] et ceci serait en relation avec les eaux polluées qui s'infiltrèrent vers la nappe phréatique [15].

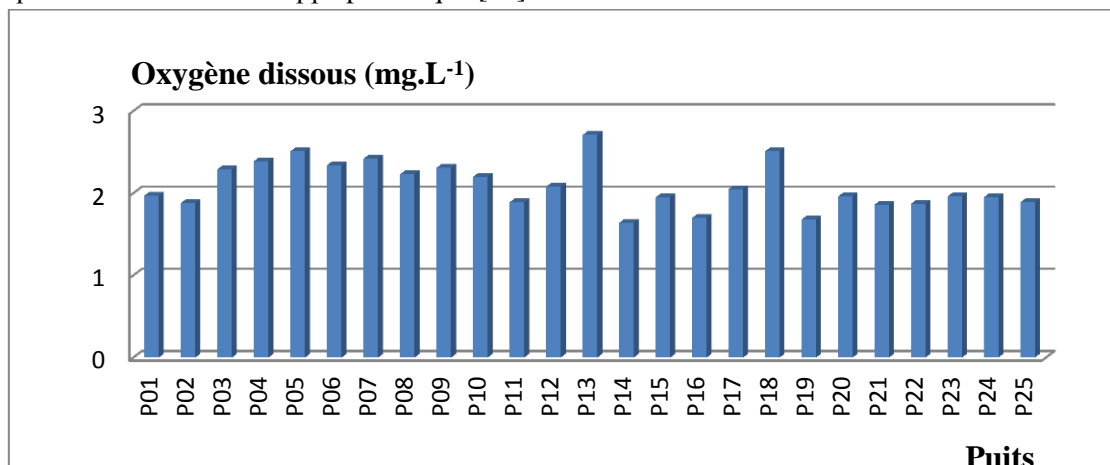
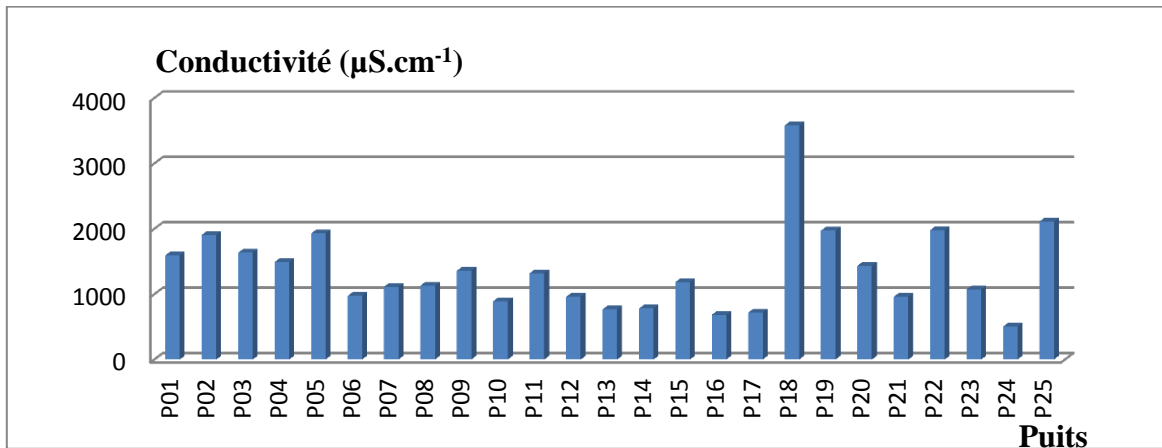


Figure 5 : Variation de la teneur en Oxygène dissous dans les eaux de puits des différentes stations

### 3.1.4. La conductivité électrique (CE)

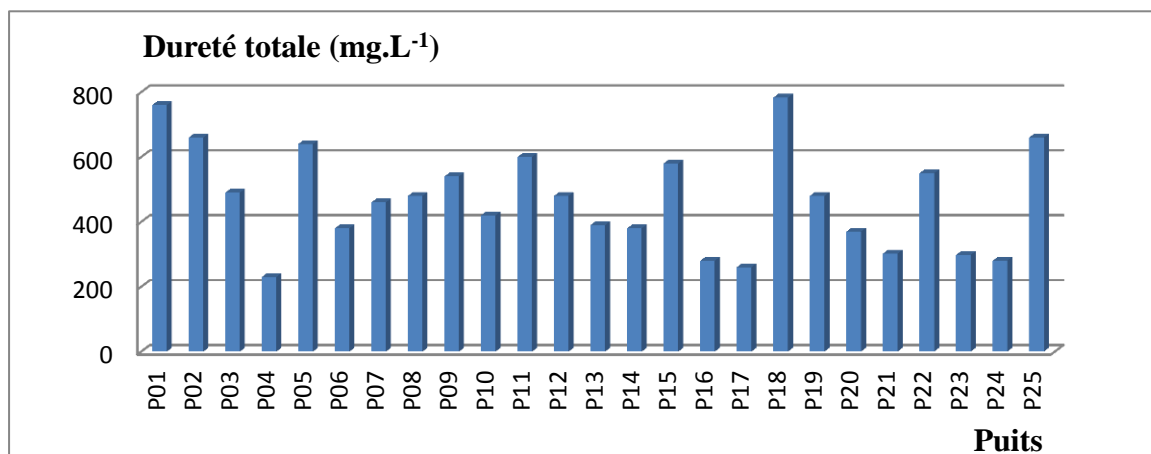
La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. Elle détermine la teneur globale des minéraux présents dans une solution [16]. Les eaux analysées présentent une conductivité électrique qui varie de 504  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  à 3580  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  (Fig.6). Toutes les valeurs ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité fixée à 2800  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  [14], excepté le puits P18 qui affiche une valeur trop élevée (3580  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ). Cette valeur importante semble résulter du lessivage de la roche réservoir au sein de laquelle les eaux séjournent [1].



**Figure 6 :** Variation de la Conductivité électrique des eaux de puits des différentes stations

### 3.1.5. La dureté totale

Dans la plupart des cas, la dureté est surtout due aux ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  auxquels s'ajoutent quelquefois les ions  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  et  $\text{Sr}^{2+}$ . La variation de la dureté totale (TH) constatée dans les eaux des différents puits peut être liée à la nature du sol dans la région. Les valeurs enregistrées varient entre  $230 \text{ mg.L}^{-1}$  à  $760 \text{ mg.L}^{-1}$  (Fig.7). Ce paramètre présente une grande variation qui serait liée à la nature lithologique de la formation aquifère et en particulier à sa composition en magnésium et en calcium. Selon les normes algériennes relatives à la potabilité des eaux, la dureté totale ne doit pas dépasser la valeur de  $500 \text{ mg.L}^{-1}$  [14], ainsi les eaux de puits de la région sont caractérisées par une dureté totale moyenne à élevée.



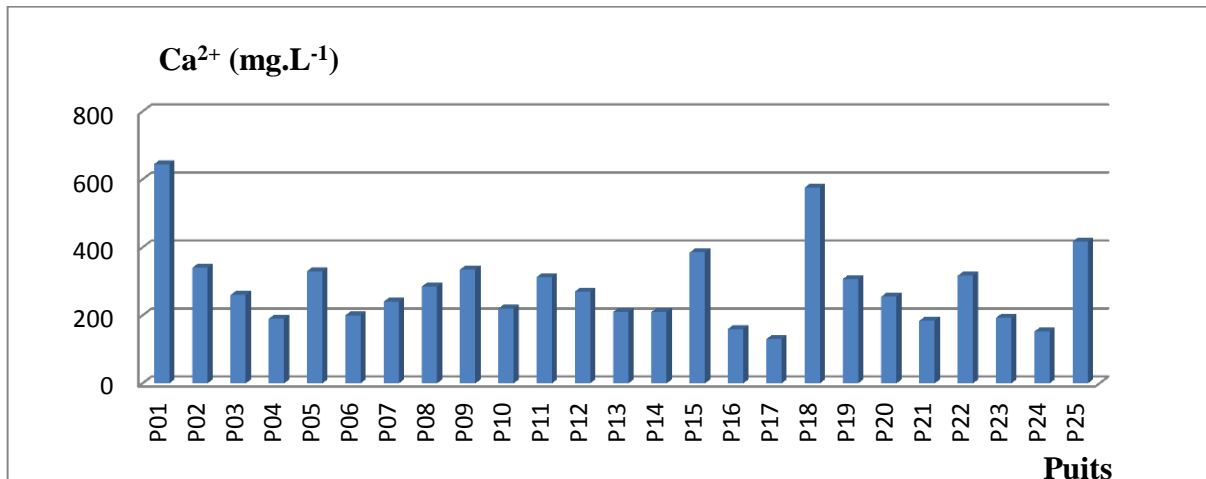
**Figure 7 :** Variation de la Dureté Totale des eaux de puits des différentes stations

### 3.1.6. Le calcium

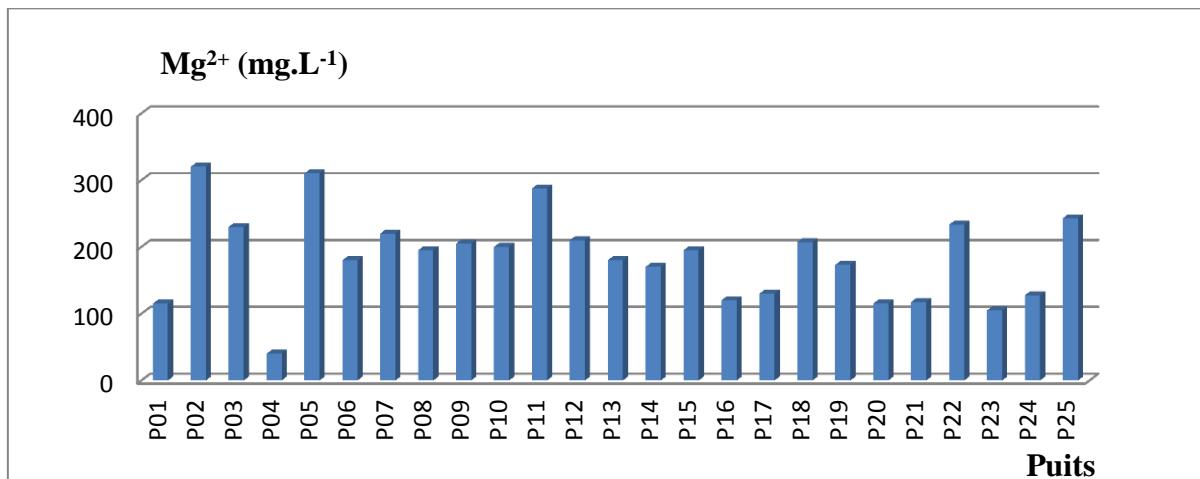
C'est un métal alcalin terreux ; composant majeur de la dureté de l'eau. Sa teneur varie essentiellement selon la nature des terrains traversés [12]. Le calcium est retrouvé dans les eaux qui ont traversé des roches calcaires. Avec le magnésium, il est responsable de la dureté de l'eau [17]. En comparaison avec les normes algériennes de potabilité fixée pour le calcium soit  $200 \text{ mg.L}^{-1}$ , 72% des eaux de puits contrôlées présentent des teneurs élevées en  $\text{Ca}^{2+}$  (Fig.8). Cette pollution peut être d'origine industrielle et urbaine [18].

### 3.1.7. Le magnésium

C'est un élément significatif de la dureté de l'eau, il donne un goût désagréable à l'eau [12]. Selon les normes algériennes de l'eau potable pour le magnésium ( $150 \text{ mg.L}^{-1}$ ) [14], les valeurs enregistrées dans la majorité des puits dépassent cette norme avec un maximum de  $320 \text{ mg.L}^{-1}$  dans l'eau du puits P02. La valeur la plus faible ( $40 \text{ mg.L}^{-1}$ ) est observée dans les eaux du puits P04 (Fig.9). Selon Nouayti *et al.* [1], La source du magnésium semble être liée au contact des eaux avec les roches calcaires et dolomitiques.



**Figure 8 :** Variation de la teneur en Calcium dans les eaux de puits des différentes stations



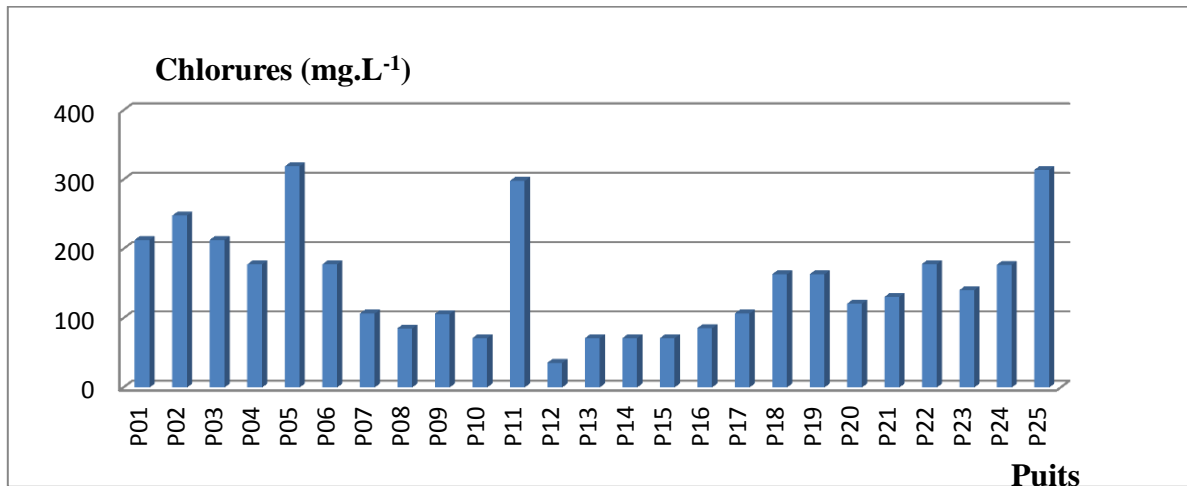
**Figure 9:** Variation de la teneur en Magnésium dans les eaux de puits des différentes stations

### 3.1.8. Les chlorures

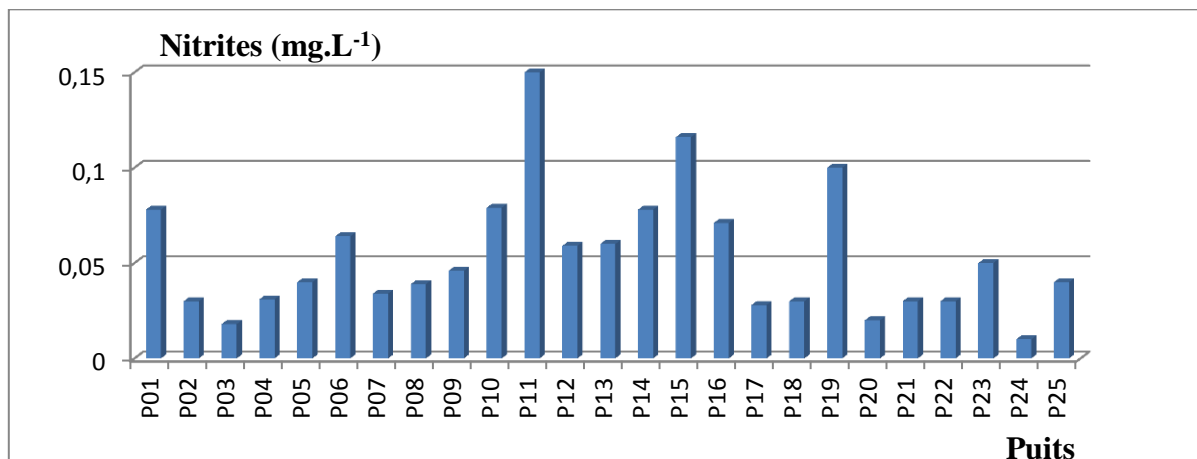
L'ion chlorure n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Il constitue un bon indicateur de la pollution [19]. Les concentrations en chlorures dans les eaux analysées oscillent entre 35,5 mg.L<sup>-1</sup> et 319 mg.L<sup>-1</sup> (Fig.10). La valeur maximale (319 mg.L<sup>-1</sup>) a été enregistrée au niveau du puits P05. Ces valeurs de chlorures sont considérées normales étant donné que la norme algérienne pour les chlorures est fixée à 500 mg.L<sup>-1</sup> [14]. D'autre part, Andrews *et al.* [20] ont mentionné que les ions chlorures, à une concentration supérieure à 250 mg.L<sup>-1</sup>, altère la saveur de l'eau, ce qui peut entraîner une dégradation de la qualité de l'eau.

### 3.1.9. Les nitrites

Une teneur d'azote nitreux supérieure à 0,10 mg.L<sup>-1</sup> peut faire soupçonner un apport d'eaux riches en matières organiques en voie de décomposition [12]. Cette teneur ne devrait pas être dépassée dans le cas d'une eau d'origine profonde. Dans notre étude, les nitrites ont été détectés dans les eaux des 25 puits, dont 3 présentent des teneurs supérieures à la normale (0,1 mg.L<sup>-1</sup>) [14] (Fig.11). La pollution nitrique de ces eaux souterraines étudiées serait due aux déchets des animaux, au fumier ou aux engrais chimiques utilisés dans la fertilisation des terres agricoles avoisinantes aux puits [6,9]. Les valeurs élevées en nitrites au niveau de la région d'étude sont similaires à ceux trouvées en milieu professionnel à Godomey, au Bénin [19].



**Figure 10 :** Variation de la teneur en chlorures dans les eaux de puits des différentes stations



**Figure 11 :** Variation de la teneur en Nitrites dans les eaux de puits des différentes stations

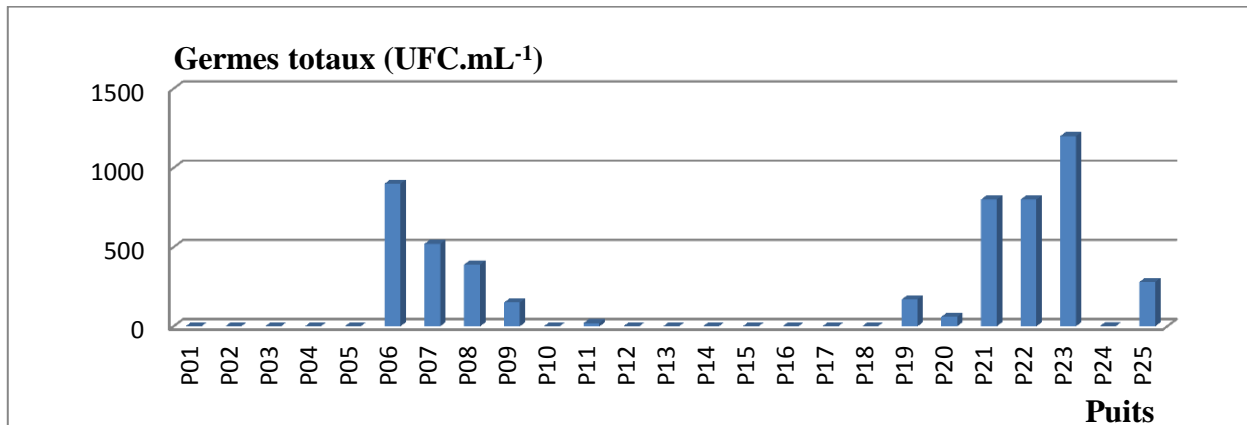
### 3.2. Paramètres bactériologiques

#### 3.2.1. Dénombrement des Germes Totaux

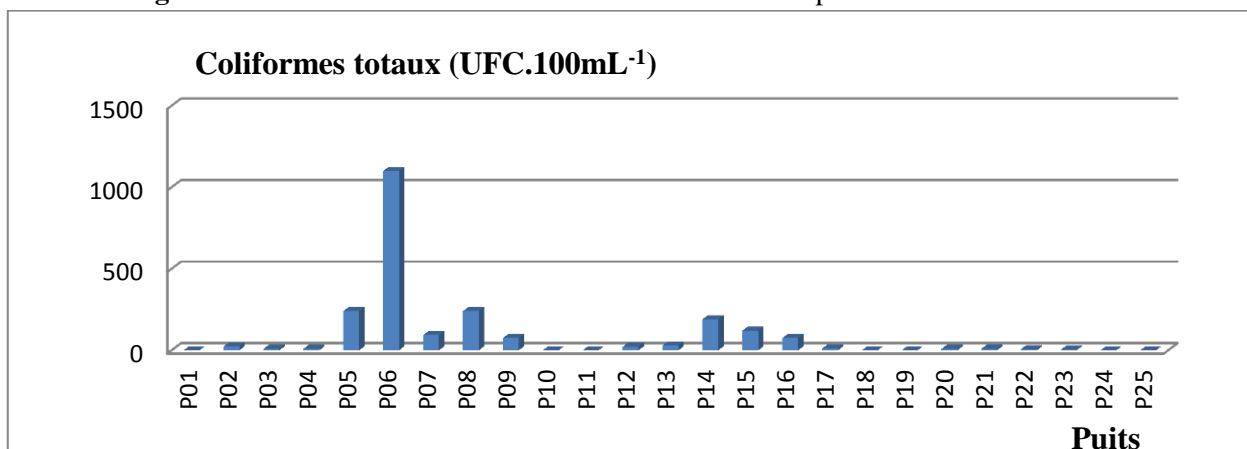
Le dénombrement des germes aérobies mésophiles ou germes totaux est utilisé comme indicateur de pollution et également comme indicateur d'efficacité de traitement, en particulier des traitements physiques tels que la filtration par le sol, qui devrait entraîner soit une très forte diminution de la concentration bactérienne par rapport à l'entrée, soit même une absence de bactéries [21]. Les résultats montrent que sur les 25 puits contrôlés, 12 contiennent dans leurs eaux des germes totaux (Fig.12). La concentration de cette flore varie entre 1 UFC.mL<sup>-1</sup> et 1200 UFC.mL<sup>-1</sup>. La contamination de ces eaux par les germes totaux pourrait être due à la mauvaise protection des puits (puits à ciel ouvert), la méconnaissance des règles élémentaires d'hygiène, la pollution avoisinante (élevage des bétails, existence des fosses septiques et des latrines) et l'absence d'un réseau d'assainissement [8].

#### 3.2.2. Dénombrement des Coliformes Totaux

D'après la figure 13, 48% des puits contrôlés renferment des coliformes totaux dans leurs eaux dont les valeurs varient entre 11 UFC.100mL<sup>-1</sup> et 11x10<sup>2</sup> UFC.100mL<sup>-1</sup>. Ces valeurs sont élevées en comparaison avec les normes de l'OMS (<10 UFC.100ml<sup>-1</sup>) [22]. Cette contamination peut être causée par les rejets domestiques, par l'existence des puits à proximité des fosses septiques et d'une infiltration d'eau de surface dans les puits. Ces causes rejoignent celles détectées dans l'étude menée par El Haissoufi *et al.* [21] sur la pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès au Maroc.



**Figure 12 :** Variation des Germes totaux dans les eaux de puits des différentes stations



**Figure 13 :** Variation des Coliformes totaux dans les eaux de puits des différentes stations

### 3.2.3. Dénombrement des Coliformes Fécaux (*E. coli*)

L'espèce *E. coli* permet de mettre en évidence une pollution d'origine fécale. 68% des puits contrôlés sont dépourvus de ce germe de contamination fécale, alors qu'elle est présente dans les eaux des autres puits avec des nombres variant de 4 UFC.100mL<sup>-1</sup> enregistrés dans le puits N° 12 à 93 UFC.100mL<sup>-1</sup> dans le puits N° 08 (Fig.14). Ce germe provient exclusivement des intestins d'animaux à sang chaud, y compris les humains et, sa présence est l'indicateur le plus précis de la contamination fécale. D'après les prospections dans les sites des puits contrôlés, cette contamination serait due au fumier, aux fosses septiques, aux latrines et aux déchets de toute nature existants dans les terrains avoisinants les puits. Cette forte concentration en coliformes fécaux (*E. coli*) dans la région d'étude est proche de celle trouvée au niveau d'une nappe en Côte d'Ivoire [4].

### 3.2.4. Dénombrement des Streptocoques Fécaux

La recherche des Streptocoques Fécaux dans les eaux de puits analysées a montré que 24% en sont contaminées. La concentration de ces germes dans ces eaux varie entre 1 UFC.100mL<sup>-1</sup> et 210 UFC.100mL<sup>-1</sup> (Fig.15). Ces eaux renfermant des streptocoques fécaux sont donc non potables dans la mesure où les normes locales [14] et françaises [23] exigent l'absence totale de cette flore dans les eaux destinées à la consommation. D'après les travaux de Youmbi *et al.* [24], la présence en nombre important de streptocoques fécaux dans les eaux de puits atteste la contamination des eaux par les matières fécales stockées dans les latrines.

### 3.2.5. Dénombrement des Clostridium Sulfito-réducteurs

Les bactéries anaérobies sulfito-réductrices sont absentes dans 84% des eaux de puits analysées. Dans les 16% des puits restants, l'analyse a révélé la présence de ces germes dans les eaux avec des valeurs allant de 6 UFC.20mL<sup>-1</sup> à 20UFC.20mL<sup>-1</sup> (Fig.16) et sont donc considérées comme non conformes aux normes locales [25], qui recommandent un nombre maximal de 5 UFC.20mL<sup>-1</sup> d'eau.

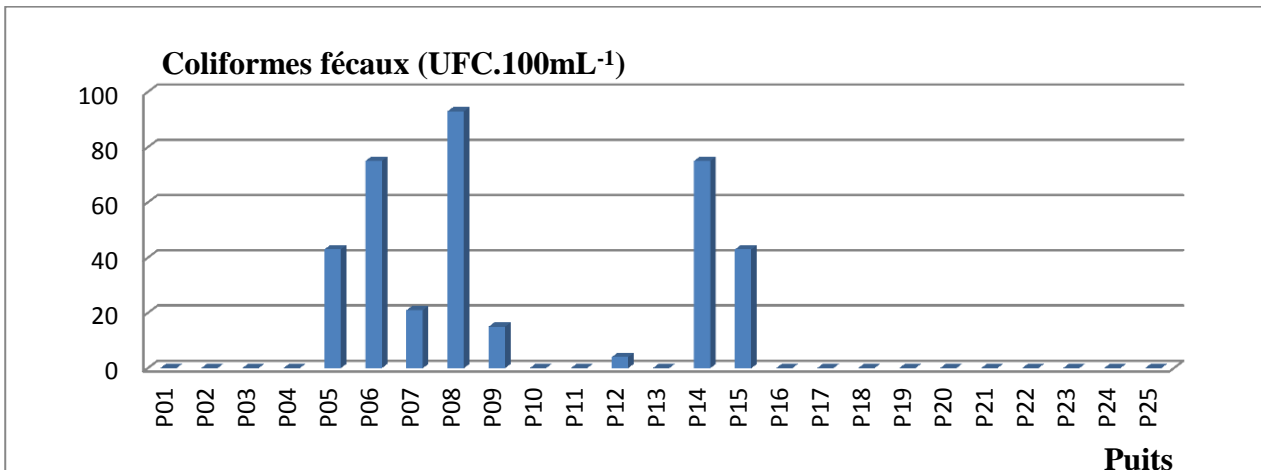


Figure 14: Variation des Coliformes fécaux dans les eaux de puits des différentes stations

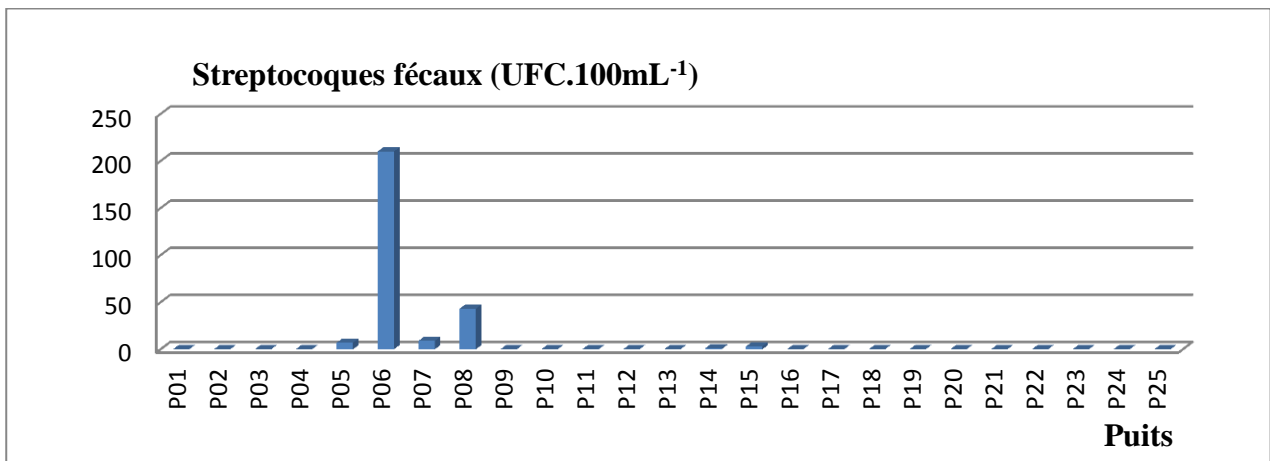


Figure 15 : Variation des Streptocoques fécaux dans les eaux de puits des différentes stations

Selon Guessoum *et al.* [8], la présence des spores des Anaérobies sulfito-réducteurs dans une eau naturelle fait penser à une contamination fécale et en l'absence de bactéries Coliformes, à une contamination ancienne. Elles sont très persistantes et leur présence est un bon indicateur de la vulnérabilité des aquifères et des puits [26].

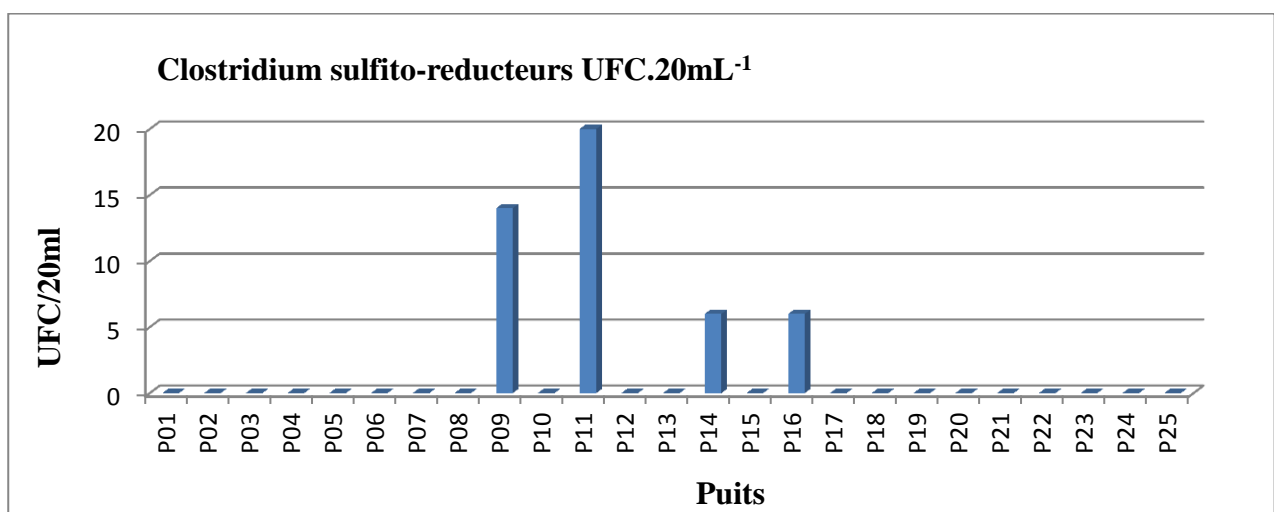


Figure 16 : Variation des Clostridium sulfito-réducteurs dans les eaux de puits des différentes stations

## Conclusion

La contamination aussi bien chimique que bactériologique des eaux de puits contrôlées est bien présente. Les eaux analysées de beaucoup de puits ont des propriétés physico-chimiques qui ne sont pas conformes aux normes locales et internationales notamment pour les paramètres suivants : la dureté totale, les ions calcium et magnésium, la conductivité et les nitrites, et font qu'elles ne sont pas recommandées pour la consommation humaine. Sur le plan bactériologique, presque 50% des eaux de puits analysées sont souillées par les germes de contamination fécale et ne peuvent donc pas être consommées. Le danger de cette pollution chimique et bactériologique constitue sans aucun doute une menace pour les habitants qui puisent l'eau nécessaire de la majeure partie de leurs besoins à partir de ces puits. Afin d'éviter tout risque sanitaire lors de la consommation de ces eaux, il est recommandé de les traiter à l'échelle familiale par l'utilisation d'hypochlorite, de concevoir et mettre en place un réseau d'assainissement pour l'évacuation des eaux usées, de bien gérer les ordures ménagères et l'utilisation des fertilisants agricoles.

**Remerciements-** Nos remerciements vont à l'ensemble des techniciens qui ont contribué dans la réalisation de toutes les analyses liées à cette étude.

## Références

1. Nouayti N., Khattach D., Hilali M., *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (4) (2015) 1068-1081.
2. Fakih lanjri A., Brigui J., El Cadi A., Khaddor M., Salmoune F., *Mater. Environ. Sci.* 5 (S1) (2014) 2230-2235.
3. Boualla N., Saad F.H., *Sci. Lib. Edit. Mersen.* 3 (2011) 1-10.
4. Aka N., Bamba S.B., Soro G., Soro N., *Larhy. Journ.* 16 (2013) 31-52
5. Ahoussi K.E., Koffi Y.B., Kouassi A.M., Soro G., Biemi J., *J. Appl. Biosci.* 63 (2013) 4703-4719.
6. Lagnika M., Ibikounle M., Montcho J.C., Wotto V.D., Sakiti N.G., *J. Appl. Biosci.* 79 (2014) 6887 - 6897.
7. Amadou H., Laouali M.S., Manzola A., *Larhy. Journ.* 20 (2014) 25-41.
8. Guessoum H., Benbrahim F., Halilat M.T., Laouar F., Bensalama M., Darem S., *Inter. Journ. Environ. Water.* 3 (2014) 35-43.
9. Degbey C., Makoutode M., Fayomi B., Brouwer C., *J. Int. Santé. Trav.* 1(2010) 15-22.
10. Remini B., 2010, *Larhy. Journ.*, (8) (2010) 27-46.
11. National Health Foundation, 4. *Ed. Brasilia :Funasa*, (2013)18-20.
12. Rodier J., Legube B., Merlet N., *Ed. Dunod.*(2009) 78- 1368.
13. Google Earth, (2015).
14. Normes algériennes, *Journ. Offi. Repu. Algeri.* 125(2011) 7-25.
15. Belghiti. L, Chahlaoui A., Bengoumi D., El Moustaine R., *Sci. Lib. Edit. Mersen.* 5 (2013) 2-17.
16. Bremaude C., Claisse J.R., Leulier F., Thibault J., Ulrich E., *Ed. Educagri.* (2006) 220-221.
17. Queneau P., Et Hubert J., *So. Fr. De L'hydrol. Et Climato. Médic.* (2009) 175-220.
18. Bouchelaghem S., Benzara S., Meradi W., Rezkallah S., *Inter. Journ. of Innova.Sci. Resea.*3(1)(2014)71-74.
19. Chaker H.K., Slimani A., *Th. Master, Livest. Res. Rural. Develop.*26 (2) (2014).
20. Andrews B.F., Campbell D.R., Thomas P., *Lancet.* 2 (2009) 64-79.
21. El Haissoufi H., Berrada S., Merzouki M., Aabouch M., Bennani L., Benlemlih M., Idir M., Zanibou A., Bennis Y., El Oualilalami A., *Microbiol. Ind. San. Environn.* 5 (1) (2011) 37-68.
22. OMS., 1 (1994) 202.
23. AFNOR, (1997) 656.
24. Youmbi J.G.T., Feumba R., Njitat V.T., Marsily G., Ekodeck G.E., *Elsevier. Masson SAS.* (2013) 310–316.
25. Normes algériennes, *Ed. Ianor.* (1992) 5-7.
26. Travel A., *Reus. Avicul.* 121 (2006) 21-23.

(2016) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>