

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**

**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**  
**Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques**

**DEPARTEMENT D'AGRONOMIE**



# **MEMOIRE**

**de fin d'études en vue de l'obtention du**

**Diplôme de Master en Sciences Agronomiques.**

**Option : Management de la qualité totale et sécurité des aliments**

## **Thème**

Etude comparative de la qualité microbiologique et physico-chimique de trois eaux (eau minérale naturelle, eau de source et eau du robinet)

**Réalisé par :** M<sup>lle</sup> ISSAOUN Massicilia

M<sup>lle</sup> : TAIBI Meriem

**Soutenu :** 03/07/2016 devant le jury:

**Président :** Mr DJENANE D. Professeur (UMMTO)

**Promotrice :** Mme REMANE Y. Maitre assistante B (UMMTO)

**Co-promoteur :** Mr TABDJI B.

**Examineurs:** Mr AMIR Y. Professeur (UMMTO)

Mr ARKOUB M. Maitre assistant B (UMMTO)

**2015/2016**

## **Remerciements**

*Nos remerciements s'adressent à Mme Y. REMANE pour avoir dirigé ce travail par de précieux conseils et orientations. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde et sincère reconnaissance.*

*Notre profonde gratitude va à Mr B. TABDJI pour avoir proposé ce travail, et pour sa patience et ses conseils, on lui doit l'essentiel de notre formation scientifique.*

*Nos remerciements vont également à Mr D. DJENANE pour avoir fait l'honneur de présider le jury.*

*Nous remercions aussi Mr Y. AMIR et Mr M. ARKOUB d'avoir bien voulu juger ce travail.*

*Nos vifs remerciements vont également à tous le personnel du laboratoire central de l'ADE pour leur aide dans la réalisation de ce travail.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à toute l'équipe du laboratoire de l'entreprise «Lalla Khedidja», pour l'accueil cordial et l'attention avec laquelle ils ont soutenu notre travail et de nous avoir fait part de leurs connaissances et leur expérience.*

*Enfin, nous tenons à remercier chaleureusement toutes les personnes qui nous ont aidés partiellement ou substantiellement à réaliser ce travail.*

***Merci à tous.***

## ***Dédicaces***

*Je dédie ce travail à:*

*A la source de la tendresse, ma mère.*

*A mon père, qui m'a appris que la patience est le Secret du succès.*

*A mon frère Nabile*

*A mes sœurs, Razika et Sara.*

*A mes oncles*

*A ma grande mère ET mes tantes*

*A la mémoire de mon grand père*

*A mes cousins et cousines.*

***Meriem***

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes très chers parents, qui m'ont toujours soutenu pendant de longues années d'études et que je remercie énormément.*

*A la mémoire de ma grande mère.*

*A mon cher frère **Rafik** qui ma beaucoup aidé pendant la dernière phase de rédaction, et qui ma soutenu tout au long de mes études.*

*A mes chers frères : **Youcef** et **Malik** qui mon apporté un soutien morale.*

*A mon cher ami **Belaid TABDJI** qui ma aidé et encouragé à réaliser ce travail et que je remercie pour sa gentillesse, son attention et sa patience.*

*Tous (tes) mes amis (es).*

***Massilia***

**°C** : Degré Celsius.

**°F** : Degré français.

**ADE** : Algérienne Des Eaux.

**ADN** : Acide désoxyribose Nucléique

**BCPL** : Bouillon Lactosé au Pourpre de Bromocrésol.

**BLVB** : Bouillon Lactosé au Vert Brillant.

**CEE** : Communauté Economique Européenne.

**CMA** : Concentration Maximale Admissible.

**CMA** : Concentration Maximale Admissible.

**COD** : Concentration d'Oxygène Dissous.

**Cond** : Conductivité.

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

**E. coli** : *Escherichia. coli*.

**EDTA** : Acide Ethylène Diamine Tétra acétique.

**EVA** : Ethyl Violet Azide de sodium.

**ISO** : Organisation Internationale de Normalisation.

**JORA** : Journal Officiel de la République Algérienne.

**K j** : Kilojoule.

**Kcal** : Kilocalorie.

**N** : Normalité.

**NA** : Normes Algériennes.

**NET** : Noir ériochrome T.

**NF** : Normes Françaises.

**NG** : Niveau Guide.

**NPP** : Nombre Plus Probable.

**NTU** : Unité de Turbidité Néphélométrique.

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

**PEHD:** Polyethylene Haute Densité.

**pH :** Potentiel d'Hydrogène.

**PVC :** Polychlorure de vinyle.

**SAEMO :** Société Algérienne d'Eau Minérale d'Oumalou.

**SM :** Solution Mère.

**TA :** Titre Alcalimétrique.

**TAC :** Titre Alcalimétrique Complet.

**TBA :** Sels Biliaire.

**TGEA :** Tryptone Glucose Extrait d'AGAR.

**TH :** Titre Hydrométrique.

**TSA :** Milieu digestat tryptique.

**TSC :** Tryptose Sulfite Cyclosérine.

**TSN :** Tryptose Sulfite Néomycine.

**TTC :** Tétracycline Tryptophane.

**UV :** Ultra violet.

**VF :** Viande Foie.

**Figure 1 :** Le cycle de l'eau

**Figure 2 :** La molécule d'eau

**Figure 3 :** Les différentes formes du chlore dans l'eau

**Figure 4 :** Le réseau réacteur

**Figure 5 :** Représentation schématique de la formation et de la structure d'un biofilm au sein d'un réseau de distribution d'eau potable

**Figure 6 :** Recherche et dénombrement des germes totaux

**Figure 7 :** Dénombrement des *E.coli* et des bactéries Coliformes par filtration

**Figure 8 :** Dénombrement des coliformes et des *E.coli* sur milieu liquide

**Figure 9 :** Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

**Figure 10:** Recherche et dénombrement des *Clostridium* sulfito-réducteurs

**Tableau I :** Classification des eaux minérales selon la thermalité (DURIN, 1986)

**Tableau II :** Classification chimique des eaux minérales (CEE, 1980)

**Tableau III :** Relation entre teneur en eau et apport énergétique de divers aliments (ABRAHAM, 1999)

**Tableau IV :** Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité (SAMAKE, 2002).

**Tableau V :** classification des eaux selon leur pH (C.I.E, 2005).

**Tableau VI :** Résultats de la mesure du pH

**Tableau VII :** Teneurs en conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

**Tableau VIII :** Les valeurs de la turbidité (NTU)

**Tableau IX :** Teneurs en chlorures (mg/l)

**Tableau X :** Résultats de la dureté totale exprimée en mg/l de  $\text{CaCO}_3$

**Tableau XI :** Qualité d'une eau selon la dureté (TARDAT, 1992)

**Tableau XII :** Résultats du dosage du calcium exprimé en mg/l

**Tableau XIII :** Résultats du dosage du magnésium exprimés en mg/l

**Tableau XIV :** Teneur en TAC en (mg/l de  $\text{CaCO}_3$ )

**Tableau XV :** Les teneurs en bicarbonates (mg/l)

**Tableau XVI :** Teneur en fer en (mg/l)

**Tableau XVII :** Teneurs en Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) exprimés en mg/l

**Tableau XVIII :** Résultats du dosage des sulfates exprimés en mg/l

**Tableau XIX :** Teneur en sodium exprimé en mg/l

**Tableau XX:** Résultats du dosage du Potassium exprimés en mg/l

**Tableau XXI :** Teneurs en résidu sec en mg/l

**Tableau XXII :** Récapitulatif des résultats d'analyses physico-chimiques.

**Tableau XXIII :** Tableau récapitulatif de la qualité bactériologique des différentes eaux analysées

**Tableau XXIV :** Récapitulatif des résultats d'analyses microbiologiques

# Sommaire

## Introduction

## Partie bibliographique

### Chapitre I : Généralités sur les eaux

#### I- Définition

##### I-1- Eau

##### I-2- Le cycle de l'eau

##### I-3- La molécule d'H<sub>2</sub>O

##### I-4- Eau potable

##### I-4-1- Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

##### I-4-2- Selon la Communauté Economique Européenne (CEE)

##### I-5- Eau minérale naturelle

##### I-5-1- Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

##### I-5-2- Selon la Communauté Economique Européenne (CEE)

##### I-5-3- Selon les textes réglementaires français

##### I-6- Eau de source

#### II- Particularités des eaux minérales

#### III- Classification des eaux embouteillées

##### III-1- Les eaux rendues potables

##### III-2- Les eaux aromatisées

##### III-3- Les eaux de source

##### III-4- Les eaux minérales naturelles

##### III-5- Les propriétés de l'eau

##### III-5-1- L'eau dans l'organisme humain

##### III-5-2- L'eau dans les aliments

##### III-5-3- Sur le plan nutritionnel

##### III-5-4- Sur le plan réglementaire

## **Chapitre II : Caractéristiques générales**

### I- Paramètre organoleptiques

#### I-1- Couleur

#### I-2- Odeur

#### I-3- Saveur

### II- Les paramètres physico-chimiques

#### II-1- Température

#### II-2- Conductivité

#### II-3- Le pH

#### II-4- Les résidus secs

#### II-5- Minéraux de l'eau

##### II-5-1- Cations

##### II-5-2- Anions

#### II-6- Minéralisation globale

### III- Les paramètres indicateurs de pollution chimiques

#### III-1- Nitrites

#### III-2- Nitrates

#### III-3- Phosphates

### IV- Eléments considérés comme indésirables

### V- Eléments considérés comme toxiques

### VI- Caractéristiques bactériologiques

#### VI-1- Microflore de l'eau

#### VI-2- Les principaux germes recherchés dans l'eau

### VII- Les polluants de l'eau

#### VII-1- Polluants physiques

#### VII-2- Polluants chimiques

#### VII-3- Polluants biologiques

## **Chapitre III : Traitement de l'eau**

Introduction

I- Prétraitement

I-1- Le dégrillage

I-2- Le dessablage

I-3- Le tamisage

I-4- L'aération

I-5- La Peroxydation

II- Traitement physico-chimique de l'eau

II-1- La coagulation

II-2- La floculation

II-3- La décantation

II-4- La filtration

III- La désinfection

III-1- Définition

III-2- Effet bactéricide et effet rémanent

III-2-1- Effet bactéricide

III-2-2- Effet rémanent

III-3- Conditions générales pour une bonne désinfection

III-4- Agents de la désinfection

III-4-1- Le chlore

III-4-2- Désinfection par l'ozone

III-4-3- Désinfection par le rayonnement ultraviolet

III-4-4- Désinfection par le dioxyde de chlore (ClO<sub>2</sub>)

## **Chapitre IV : Dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution**

Introduction

I- Dégradations dues à la croissance et à la prolifération des germes dans les réseaux

I-1- Origines

I-2- Facteurs favorables

I-3- Formation du biofilm et caractéristiques

I-4- Conséquences

I-5- Facteurs favorisant l'altération de la qualité dans les réserves et les conduites

I-5-1- Facteurs favorisant le développement des biofilms

I-5-2- Autres causes d'altération de la qualité

I-6- Les micro-organismes rencontrés

II- Dégradation de la qualité physico-chimique de l'eau potable

III- Dégradation de la qualité de l'eau par les composés relâché par les canalisations

IV- Cas particuliers

V- Mesures pour limiter les risques de dégradation de la qualité de l'eau

## **Partie expérimentale**

### **Chapitre V : Matériel et méthodes**

Introduction

1- Présentation du laboratoire de l'ADE

2- Présentation des deux unités

3- Echantillonnage

3-1- Echantillons destinés aux analyses physico-chimiques

3-2- Echantillons destinés aux analyses bactériologiques

3-3- Transport des échantillons

4- Méthodes d'analyses

4-1- Méthodes d'analyses physico-chimiques

I- Analyses électrochimiques

I-1- Détermination du pH

I-2- Détermination de la conductivité

I-3- Détermination de la turbidité

II- Analyses volumétriques

II-1- Dosage des chlorures «Méthode de MOHR»

II-2- Dosage de la somme du calcium et magnésium (dureté totale TH)

II-3- Détermination de la dureté calcique

II-4- Détermination de la dureté magnésienne

II-5- Détermination de l'alcalinité

II-5-1- Détermination du TA

II-5-2- Détermination du TAC

II-6- Détermination de la teneur en hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

III- Analyses spectrophotométriques

III-1- Détermination du fer par la méthode à l'orthophénanthroline

III-2- Dosage de l'ammonium

III-3- Dosage des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

III-4- Dosage des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) par la méthode au salicylate de sodium

III-5- Dosage des sulfates par la méthode néphélométrique

IV- Analyses photométriques

IV-1- Dosage du sodium et de potassium par la photométrie de flamme

IV-2- Détermination des phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

V- Détermination du résidu sec total

4-2- Méthodes d'analyses microbiologiques

4-2-1- Dénombrement des microorganismes revivifiables (germes totaux) à 22°C et à 37°C

4-2-2- Recherche et dénombrement des coliformes et d'*E.coli* présumées

4-2-3- Recherche des Streptocoques fécaux

4-2-4- Recherche et dénombrement des *Clostridium* Sulfito-Réducteurs

**Chapitre VI : Résultats et discussion**

I- Interprétation des résultats physico-chimiques

I-1- pH

I-2- Conductivité

I-3- Turbidité

I-4- Chlorures (Cl<sup>-</sup>)

I-5- Dureté totale (TH)

I-6- Calcium (Ca<sup>2+</sup>)

I-7- Magnésium

I-8- Titre alcalimétrique complet (TAC)

I-9- Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

I-10- Fer (Fe<sup>2+</sup>)

I-11- Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

I-12- Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

I-13- Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

I-14- Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

I-15- Sodium (Na<sup>+</sup>)

I-16- Potassium (K<sup>+</sup>)

I-17- Phosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)

I-18- Résidu sec à 180°C

II- Interprétation des résultats microbiologiques

**Conclusion générale**

**Bibliographie**

**Annexes**

L'eau douce est l'élément le plus essentiel à la vie. Il est admis que l'apparition de la vie sur terre est liée à la présence d'eau, celle-ci représente un pourcentage très important dans la constitution de tous les êtres vivants. La molécule d'eau est l'association d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène sous le symbole H<sub>2</sub>O. L'eau en tant que liquide est considérée comme un solvant universel, elle se congèle à 0°C, elle peut devenir vapeur à 100°C qui est sa température d'ébullition, mais ces principales caractéristiques sont qu'elle est inodore, incolore et sans goût (GERARD, 1999).

L'eau n'est pas un produit commercial comme un autre, elle doit être considérée comme un héritage noble qu'on doit protéger pour les générations futures, défendu et traité comme tel. Sans cette matière simple et complexe en même temps la vie sur terre n'aurait jamais existé. De nos jours, l'eau est devenue une ressource rare, menacée et coûteuse qui représente «un enjeu mondiale».

Cependant l'accroissement de la demande en eau au fil des ans, et les risques de pollution et autres formes d'agression mettant cette source en péril et constituent une menace à la qualité de nos réserves d'eau. Eléments naturels, l'eau fait l'objet d'une surveillance attentive à travers le monde. Son importance pour la préservation de la santé publique détermine de vastes programmes de surveillance tant à l'échelle nationale qu'au plan international. La surveillance de la conformité de l'état des sources, des installations hydrauliques, des réseaux de distributions et de la qualité de l'eau est une activité fondamentale de prévention, elle est d'un intérêt primordial et stratégique pour la préservation de l'état de la santé de la population.

Les autorités sanitaires ont précisé, au travers des législations, les valeurs limites des paramètres les plus importants, valeurs à ne pas dépasser pour pouvoir qualifier une eau de potable. On pourrait donc dire qu'il n'existe pas d'eau potable, mais seulement d'eau conforme aux normes.

La recherche d'une eau pure débute avec le temps préhistorique, et l'on a retrouvé des traces de traitement de l'eau dans les textes médicaux sanscrits et des inscriptions égyptiennes (BOULANGE et *al*, 1992). On n'ignorait pas non plus les propriétés bienfaisantes pour la santé, que possèdent les eaux minérales et l'eau de certaines sources, ainsi, nombreuses ont été et sont encore utilisées dans le traitement des maladies : eaux sulfureuses (affections rhinopharyngées et maladies de la peau) ; eaux bicarbonatées ou magnésiennes (syndromes gastro-intestinaux, lithiases) ; eaux très peu minéralisées (diurèse)... etc.

Pour répondre à une grande partie des besoins en eau, plusieurs sources importantes en eau potable ont été exploitées par réseau de distribution, d'où l'évolution en vente des eaux minérales et de sources dans le temps.

Dans notre travail nous nous sommes intéressés au contrôle de la qualité, au point de vue physico-chimique et bactériologique de trois eaux, une eau minérale et une eau de source embouteillées et vendue sous la dénomination d'eau minérale naturelle «Lalla Khedidja» et

d'eau de source «Sidi-Rached» ainsi qu'une eau de consommation qui alimente la région de «Boghni», et ceci au regard des normes nationales et internationales dont le but est de déterminer celle qui est plus proche aux normes et donc la plus proche à la consommation humaine.

## **I- Définition**

### **I-1- Eau**

L'eau est un corps incolore, claire, inodore, de saveur agréable, et liquide aux températures ordinaires, résultante de la combinaison d'une molécule d'oxygène et deux molécules d'hydrogène et qui peut dissimuler un certain nombre de corps (KETTAB, 1992).

L'eau est un facteur essentiel pour la vie, se trouve presque partout sur terre et constitue un composé essentiel pour tous les organismes vivants (SAMAKE, 2002).

### **I-2- Le cycle de l'eau**

L'eau fait partie d'un cycle naturel en perpétuel mouvement entre la terre et l'atmosphère. Elle s'évapore constamment au-dessus des océans, des lacs et des forêts. Elle devient par la suite condensée sous forme de nuage et elle est transportée dans le ciel par les vents. Les nuages précipitent sous forme de pluie, neige ou grêle sous l'action de phénomènes météorologiques complexes, où interviennent surtout les vents et les différences de températures (BOUZIANI, 2000). (fig.1).

Les eaux passent par différentes étapes tout le long du cycle. Elles deviennent eaux océaniques, eaux atmosphériques, eaux de surface ou eaux souterraines (CHOMPOUX et TOUTAN, 1988).

L'eau arrive au sol où elle s'infiltré et devient eau souterraine, l'excédent qui tombe au sol ruisselle et se retrouve dans les cours d'eau et les lacs et finalement dans la mer (ECCP, 1990).

Au contact des minerais du sol qu'elles vont dissoudre, les eaux de pluie vont se charger au fur et à mesure de quantités d'éléments minéraux (BOUZIANI, 2000).

La végétation participe aussi au cycle de l'eau car elle capte l'eau des précipitations (feuilles) ou du sol et elle en restitue une partie à l'atmosphère par l'évaporation ou la transpiration (ECCP, 1990).

L'eau ne se perd pas, elle ne se crée pas non plus, elle se transforme, passant au cours de son cycle de l'état liquide ou solide. Nous buvons la même eau que buvaient les dinosaures, il y a 150 millions d'années. C'est toujours la même eau, en même quantité, qui circule depuis la nuit des temps (C.I.Eau, 2000).

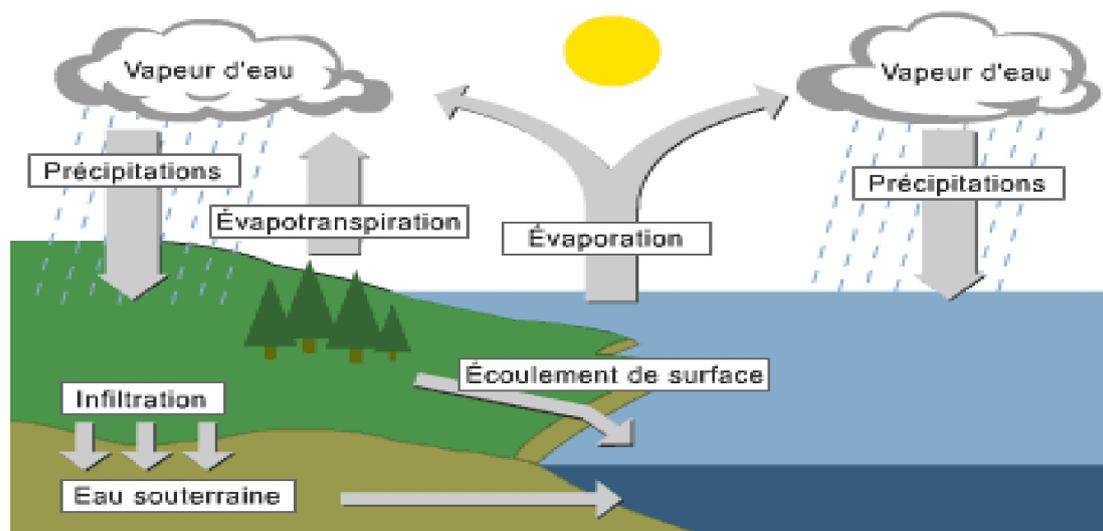


Figure 1 : Le cycle de l'eau (Encyclopédie Encarta, 2005)

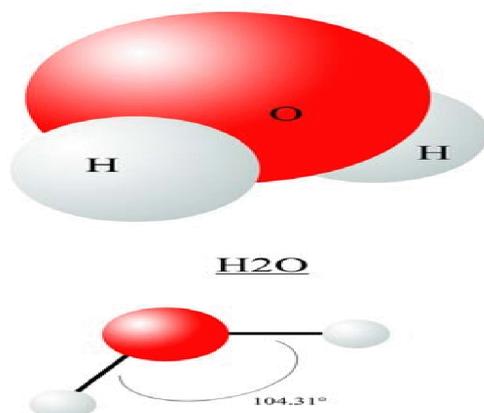


Figure 2 : La molécule d'eau (Encyclopédie Encarta, 2005)

### **I-3- La molécule d'H<sub>2</sub>O**

Sous une apparente simplicité, trois atomes dont deux d'hydrogènes et un oxygène, l'eau cache des propriétés d'une richesse exceptionnelle dues en particulier à sa structure spatiale. (fig. 2).

La molécule d'eau compose un tétraèdre dont l'un des sommets est libre, seulement occupé par le doublet électronique libre de l'atome d'hydrogène.

Les polarités des liaisons atomiques permettent d'établir différents types de liaisons réversibles, qui sont pour une grande part responsables des extraordinaires propriétés de l'eau (C.I.Eau<sub>a</sub>, 2004).

### **I-4- Eau potable**

#### **I-4-1- Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)**

L'eau potable doit être exempte de micro-organismes pathogènes et de substances toxiques en vue de préserver la santé du consommateur, mais elle peut contenir une certaine quantité de sels minéraux et de micro-organismes saprophytes. Elle doit par ailleurs être limpide, incolore et ne représente aucun goût ni odeur désagréable (OMS, 1986).

#### **I-4-2- Selon la Communauté Economique Européenne (CEE)**

L'eau potable est toute eau qui ne porte pas atteinte à la santé du consommateur quelque soit son âge ou son état physiologique, et ce à court comme à long terme. Les caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques doivent être conformes à des normes de potabilité (RAMBAUD, 1992).

### **I-5- Eau minérale naturelle**

#### **1-5-1- Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)**

Les eaux minérales naturelles relèvent des normes du Codex Alimentarius (de 1980, révisé en 1997 et en 2001), qui définit une eau minérale comme étant une eau provenant de la nappe souterraine et tenue à l'écart de tout risque de pollution.

Elle est caractérisée par sa teneur en certains sels minéraux, les proportions relatives de ces sels, la présence d'oligo-éléments ou d'autres constituants ainsi que par une composition stable et constante dans son débit et température. Elle n'est soumise à aucun traitement autre que la séparation des constituants instables (RAMBAUD, 1992).

### **I-5-2- Selon la Communauté Economique Européenne (CEE)**

La CEE a publié le 15/07/1980 une directive au rapprochement des législations concernant l'exploitation et la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles.

Elle définit l'eau minérale naturelle comme une eau microbiologiquement saine bénéficiant d'une protection efficace de la source contre tout risque de contamination.

Par ailleurs, elle précise que l'eau minérale naturelle se distingue nettement de l'eau de boisson ordinaire, et ceci par:

- Sa nature, caractérisée par sa teneur en minéraux et oligo-éléments ;
- Sa pureté originelle.

Les deux caractéristiques sont conservées intactes en raison de l'origine souterraine et les conditions dans lesquelles est captée l'eau.

Elle précise également que la composition, la température à l'émergence et les autres caractéristiques essentielles doivent témoigner, dans le cadre des fluctuations naturelles connues, d'une stabilité. Cependant elle ne doit subir aucun traitement autre que la séparation des constituants instables (Directives CEE, 1980; RAMBAUD, 1992).

### **I-5-3- Selon les textes réglementaires français**

La législation française définit l'eau minérale naturelle comme étant une eau profonde qui peut contenir certains éléments en concentration supérieure à la concentration autorisée pour les eaux potables et qui sont douées de propriétés thérapeutiques reconnues.

Elle est distribuée en bouteille avec parfois certains traitements bien définis comme décantation naturelle, deferrisation par simple aération (Décret français, 1980; RAMBAUD, 1992).

### **I-6- Eau de source**

D'origine exclusivement souterraine, bactériologiquement saine et naturellement potable, elle est apte à la consommation humaine sans traitement chimique.

Elle doit être conforme aux normes de potabilité, par contre elle n'est pas tenue d'avoir des caractéristiques stables.

C'est une eau très souvent faiblement minéralisée, à ce titre elle convient parfaitement aux nourrissons comme aux adultes (Décret français, 1980; DEGEMENT, 1989; PERRIER, 1997).

## II- Particularités des eaux minérales

Essentiellement trois particularités distinguent les eaux minérales des autres eaux qualifiées d'ordinaires: la particularité géologique (origine), la composition et les effets physiologiques et thérapeutiques (DURIN, 1986).

Elles ont été longtemps considérées comme des eaux liées au magma profond et plus ou moins apparentées au volcanisme. A quelques exception près, elles sont en fait des eaux de pluie infiltrées dans les sols, elles seront ramenées brusquement à la surface à la faveur d'un accident géologique (RAMBAUD, 1992).

Tout au long de son parcours l'eau perd certains de ses constituants, elle en conserve d'autres mais en acquiert aussi de nouveaux, issus des roches traversées. La composition chimique de l'eau dépend de la nature de ces roches lessivées, la température à laquelle se font les échanges eau-roche ainsi que le temps de contact, ce qui explique que chaque eau minérale est spécifique (DEGREMENT, 1989; DURIN, 1986; RAMBAUD, 1992).

Avant d'accorder le titre envié d'eau minérale naturelle, l'eau doit se présenter devant la législation qui se montre rigoureuse, elle fait l'objet d'essais thérapeutiques et observations cliniques par des organismes spéciaux.

## III- Classification des eaux embouteillées

On compte quatre catégories d'eaux embouteillées: les eaux de source, les eaux minérales et aromatisées, et les eaux rendues potables.

### III-1- Les eaux rendues potables

C'est sous cette dénomination qu'elles sont mises en circulation. D'origine non indiquée, elles ont été rendues potables par traitement, leur composition peut varier selon la saison et selon la provenance de l'eau (Décret français, 1980; EVIAN, 1997; RAMBAUD, 1992).

### III-2- Les eaux aromatisées

Ce sont des boissons à l'eau minérale et aux extraits naturels de citron, d'orange ou de menthe non sucrées, plates ou gazeuses (EVIAN, 1997).

### III-3- Les eaux de source

Elles ne peuvent subir aucun traitement ni adjonction autres que ceux autorisés à savoir: séparation des éléments instables et la sédimentation des matières en suspension par décantation ou filtration, qui ne doit pas avoir pour but ou effet de modifier la composition de l'eau (Décret français, 1980).

### III-4- Les eaux minérales naturelles

Elles se différencient des autres eaux par un ensemble de propriétés (origine, mode de gisement...) responsable des caractéristiques physiques, chimiques des quelles dépendent leurs effets physiologiques et thérapeutiques (DURIN, 1986). Elles ne font l'objet d'aucun traitement et n'ont pas à répondre aux critères physico-chimiques de potabilité, ainsi la teneur en certains minéraux peut être bien supérieure aux normes sans pour autant avoir un effet nocif sur la santé des consommateurs (CEE, 1980).

Elles sont classées en fonction de critères physiques telle que la température (Tableau I) ou de critères chimiques (Tableau II).

**Tableau I: Classification des eaux minérales selon la thermalité (DURIN, 1986)**

Classe d'eau	Température d'émergence
Eau froide	Moins de 20°C
Eau hypothermale	20°C à 35°C
Eau thermale	35°C à 50°C
Eau hyperthermale	Plus de 50°C

**Tableau II: Classification chimique des eaux minérales (CEE, 1980)**

Classe d'eau	Critère chimique
Oligominérale ou faiblement Minéralisée	La teneur en sels minéraux, calculée comme résidu fixe (à 180°C), n'est pas supérieure à 500 mg/l.
Très faiblement minéralisée	La teneur en sels minéraux, calculée comme résidu fixe (à 180°C), n'est pas supérieure à 50mg/l.
Riche en sels minéraux	La teneur en sels minéraux, calculée comme résidus fixe (à 180°C), n'est pas supérieure à 1500mg/l.
Bicarbonatée	La teneur en bicarbonate est supérieure à 600mg/ (en HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).
Sulfatée	La teneur en sulfates est supérieure à 200mg/l (en SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).
Chlorurée	La teneur en chlorures est supérieure à 200mg/l (en Cl <sup>-</sup> ).
Calcique	La teneur en calcium est supérieure à 150mg/l (en Ca <sup>2+</sup> ).
Magnésienne	La teneur en magnésium est supérieure à 50mg/l (en Mg <sup>2+</sup> ).
Fluorée	La teneur en fluor est supérieure à 1mg/l (en F <sup>-</sup> ).
Ferrugineuse	La teneur en fer bivalent est supérieure à 250 mg/l (en Fe <sup>2+</sup> ).
Acidulée	La teneur en gaz carbonique libre est supérieure à 250 mg/l (en CO <sub>2</sub> ).
Sodique	La teneur en sodium est supérieure à 200mg/l (en Na <sup>+</sup> ).
Convient pour un régime pauvre en sodium	La teneur en sodium est inférieure à 20 mg/l (en Na <sup>+</sup> ).

## III-5- Les propriétés de l'eau

### III-5-1- L'eau dans l'organisme humain

L'eau est quantitativement le constituant majoritaire du corps humain. Elle représente au moyenne 61% de sa masse, ce qui correspond à 97% pour le fœtus de deux mois, 75% pour le nouveau-né, 65% pour l'adulte et 55% pour la personne âgée.

L'eau est le garant de l'équilibre physiologique. Elle sert en particulier à éliminer les substances toxiques et à réguler la température. Elle intervient dans de nombreuses réactions métaboliques.

Le capital hydrique fait l'objet d'un ajustement permanent mais ne peut varier que de façon très limitée : il suffit de perdre 15% de cette eau pour être en danger de mort (CIEau<sup>a</sup>, 2004).

### III-5-2- L'eau dans les aliments

C'est à leur teneur en eau que les aliments doivent de nombreuses caractéristiques.

Les aliments (surtout les fruits, le lait, les légumes, les viandes et les poissons) nous apportent environ un litre d'eau par jour. Pour compenser les 2,5 litres d'eau que notre corps élimine quotidiennement (urine, sueur, respiration etc.), il nous faut absorber 1,5 litres d'eau supplémentaire (BARADUC, 2004).

### III-5-3- Sur le plan nutritionnel

On constate évidemment une indiscutable corrélation inverse entre apport énergétique d'un aliment et sa teneur en eau (tableau III).

Cette relation est mise à profit, dans la prescription de régimes hypocaloriques et ceci en consommant des rations isoponderales mais hypocalorique donc riche en eau (ABRAHAM, 1999).

### III-5-4- Sur le plan réglementaire

Une teneur en eau maximale peut être imposée par les normes (exemple : 16% pour le beurre, 14% pour les tourteaux destinés à l'alimentation du bétail, etc.) ou découler des codes d'usage ou de bonnes pratiques dont la transgression peut entraîner des réfractions de prix (céréales) (ABRAHAM, 1999).

**Tableau III** : Relation entre teneur en eau et apport énergétique de divers aliments

(ABRAHAM, 1999)

<b>Aliment</b>	<b>Pour 100 grammes Kcal</b>	<b>Pour 100 grammes Eau</b>
Tomate crue	19	93,8
Carotte crue	31	89,2
Pomme de terre (cuite à l'eau)	81	78,3
Pomme de terre (frite)	274	46
Pastèque	30	92
Poire	50	84,7
Biscotte	368	6
Pains (baguette)	271	29
Lait écrémé	34	91
Lait entier	63	88
Margarine	744	16,5
Huiles végétales	899	Traces
Eau	0	100

1 Kcal = 4,18 Kj.

## I- Paramètre organoleptiques

### I-1-Couleur

La couleur de l'eau est généralement due à la présence de certaines impuretés minérales (fer, manganèse) mais également à certaines matières organiques comme les substances humiques provenant de la décomposition de la matière végétale, des algues pouvant aussi donner une coloration variable selon leur pigmentation (DEGREMENT, 2005).

### I-2-Odeur

L'eau potable doit être inodore, la présence d'odeurs peut être due au plancton, à l' $H_2S$  pour les eaux souterraines et aux micro-organismes (LANOIX et ROY, 1976).

### I-3-Saveur

Une eau potable de bonne qualité présente une saveur faible et agréable (RAMADE, 1998).

Une eau renfermant une concentration élevée en chlorure est dite saumâtre, en magnésium, amère et si elle est chargée en fer, elle sera métallique. S'ils y a absence de sels minéraux habituels et d'anhydride carbonique, cette eau sera fade (RODIER et *al*, 2005).

## II-Les paramètres physico-chimiques

### II-1-Température

La température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine et moins profonde (RODIER et *al*, 2005).

Une température élevée favorise la croissance de micro-organismes et en même temps intensifie les odeurs, saveurs et couleurs, et aggrave les problèmes de corrosion dans les canalisations (LOUMI, 1988).

La température d'une eau devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air (RODIER et *al*, 2005)

### II-2-Conductivité

L'eau est légèrement conductrice. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique, augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et varie en fonction de la température (REJSEK, 2002 ; DEGREMENT, 2005). La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau (tableau IV), (LOUMI, 1998).

**Tableau IV** : Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité (SAMAKE, 2002).

Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à $20^\circ\text{C}$	Minéralisation
Cond < 100	Eau de minéralisation très faible
$100 \leq \text{Cond} \leq 200$	Eau de minéralisation faible
$200 \leq \text{Cond} \leq 400$	Eau de minéralisation peu accentuée
$400 \leq \text{Cond} \leq 600$	Eau de minéralisation moyenne
$600 \leq \text{Cond} \leq 1000$	Eau de minéralisation importante
Cond $\geq 1000$	Eau de minéralisation excessive

### II-3- le pH

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Les eaux très calcaires ont un pH élevé et celles provenant de terrains pauvres en calcaire ou siliceux ont un pH faible (REJSEK, 2002).

Le contrôle du pH permettra de maintenir une eau à l'équilibre, en évitant qu'elle soit agressive ou incrustante ; lorsque le pH est au dessous de 6,5 on a affaire à une eau agressive qui provoque un effet corrosif sur les canalisations, et peut conduire à la dissolution de métaux toxiques, tel que le plomb, pH égale à 9, limite au dessus de laquelle l'eau est trop alcaline. Le tableau V répertorie les différentes eaux selon leur pH (C.I.Eau, 2005).

**Tableau V** : classification des eaux selon leur pH (C.I.E, 2005).

pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
$7 < \text{pH} < 8$	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
$5,5 < \text{pH} < 8$	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

### II-4- Les résidus secs

La détermination des résidus permet d'estimer en matières dissoutes et en suspension d'une eau, pour des valeurs inférieurs à 600mg/l, l'acceptabilité par le consommateur est bonne au dessus de 1200 mg/l l'eau devient désagréable (RODIER, 1984).

## II-5-Minéraux de l'eau

### II-5-1- Cations

#### ➤ Calcium

Le calcium est l'un des éléments constitutifs majoritaires des roches carbonatées. La concentration en calcium dans les eaux souterraines est contrôlée par la solubilité de certains minéraux. C'est le composant majeur de la dureté de l'eau. Des concentrations en calcium de plus de 200mg/l diminuent les possibilités d'utilisations de l'eau (Formation de dépôts calcaires) (COLLIN, 2004).

#### ➤ Magnésium

Les minéraux magnésiens sont moins solubles que les minéraux contenant du calcium (COLLIN, 2004). Des concentrations élevées en magnésium influencent le goût de l'eau et présente un éventuel effet laxatif (SAMAKE, 2002).

#### ➤ Sodium

Des valeurs élevées en sodium peuvent avoir une origine d'ordre géologique ou être dues à une contamination.

Des teneurs dépassant 200 mg/l provoquent déjà des modifications perceptibles du goût (SAMAKE, 2002). Une teneur trop élevée en sodium peut être à l'origine de troubles, en particulier, augmentation de la tension artérielle, accroissement des symptômes de certaines maladies telle que les néphrites (COURT, 1986 ; DESJARAINS, 1990).

#### ➤ Potassium

Le potassium est principalement présent dans les roches ignées et dans les argiles. Malgré son abondance, le potassium est généralement peu concentré dans les eaux naturelles, dans les minéraux argileux, cette particularité s'explique par la difficulté de mobilisation de l'ion  $K^+$ .

Dans les eaux souterraines, la concentration, en potassium ne dépasse généralement pas  $10 \text{ mg.l}^{-1}$  (CHERY, 2006)

### II-5-2- Anions

#### ➤ Chlorures

Très répandus dans la nature, dans les roches, ils sont sous forme de chlorure de sodium (NaCl), de chlorure de potassium (KCl). Dans l'eau les chlorures sont toujours à l'état ionique.

Les chlorures présents dans une eau peuvent avoir plusieurs origines :

- percolation de l'eau au travers de terrains salés ;
- infiltration d'eaux marines dans la nappe souterraine ;
- rejets humains ;
- industries extractives comme des mines de potasse ou des salines.

Dans les régions littorales, les pluies apportent des chlorures d'origine océanique qui peuvent s'accumuler en surface par évaporation puis être entraînées dans les aquifères (REJSEK, 2002).

### ➤ Sulfates

Ils proviennent principalement des gypses présents dans le sol, peuvent aussi provenir de lessivage des sulfates de l'air par les précipitations (RAMADE, 1998).

La présence des sulfates donne un goût amer à l'eau et comme les sulfates ne sont pratiquement pas assimilables, une eau contenant une teneur élevée produira des effets laxatifs chez l'homme (MABILLOT, 1986).

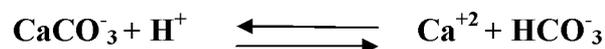
Ils pénètrent dans les membranes cellulaires et sont rapidement éliminés par les reins.

Les concentrations élevées de sulfates peuvent contribuer à la corrosion des systèmes de distribution (SAMAKE, 2002).

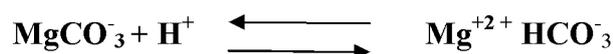
### ➤ Bicarbonates

La plupart des eaux naturelles ont un pH compris entre 4,5 et 8,3 et leur alcalinité est attribuée essentiellement aux bicarbonates (TARDAT, 1992).

Les bicarbonates proviennent de la dissolution des carbonates de calcium et de magnésium selon les réactions chimiques suivantes :



Ou:



Ces réactions, nécessitent donc la présence de  $\text{CO}_2$  dans l'eau, en effet le  $\text{CO}_2$  provient de l'air et de l'activité intense des bactéries dans le sol.

## II-6- Minéralisation globale

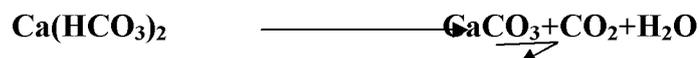
La minéralisation totale est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles. Elle est en fonction de la géologie des terrains traversés (RODIER *et al*, 2005).

Les eaux circulant dans un sous-sol sablonneux ou granitique sont peu minéralisées, tandis que celles circulant dans des sols à roches sédimentaires le sont nettement plus (DEGREMENT, 2005).

### ❖ Dureté totale ou titre hydrométrique (TH)

La dureté ou titre hydrométrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium, manganèse. (RODIER *et al*, 2009). Dans une eau naturelle, on peut distinguer différents types de dureté :

- dureté totale (TH<sub>T</sub>) : somme des concentrations en calcium et magnésium ;
- dureté calcique (TH<sub>Ca</sub>) : concentration globale en calcium ;
- dureté magnésienne (TH<sub>Mg</sub>) : concentration globale en magnésium (REJSEK, 2002) ;
- dureté temporaire : due au bicarbonate de calcium et de magnésium, ainsi dite parce que l'ébullition la fait disparaître selon la réaction :



- la dureté Permanente est due principalement aux chlorures et aux nitrates de calcium et magnésium qui ne précipitent pas lors de l'ébullition (CHEFTEL, 1977 ; DEFRANCESCHI, 1996).

### ❖ Titre alcalimétrique (TA)

Le TA correspond donc à la somme des concentrations des ions carbonates (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) et des ions hydroxydes (OH<sup>-</sup>). Mais, à partir du seul résultat de la mesure, il n'est pas possible de différencier la part du TA qui correspond aux carbonates de celle qui correspond à la concentration en ions hydroxyde. Pour évaluer précisément ces concentrations, on doit recourir à des calculs quelque peu rebutants utilisant d'autres données telles que le pH et le TAC. (RODIER *et al*, 2009)

En l'absence de sels interférents tels que ceux indiqués ci-dessus, le TA correspond à la somme :

$$TA = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}_2\text{CO}_3] - [\text{H}_3\text{O}^+]$$

### ❖ Titre alcalimétrique complet (TAC)

Correspond à la tenure totale en hydroxyde, carbonates, hydrogencarbonates. (RODIER, 1984).

## III-Les paramètres indicateurs de pollution chimiques

### III-1-Nitrites

Les nitrites sont également assez largement présents mais à des niveaux bien moindres que les nitrates. Elles proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques, les nitrites peuvent provoquer dans certains cas des phénomènes de méthémoglobinisation pouvant aller parfois jusqu'à l'asphyxie chez les bébés nourris au biberon (SAMAKE, 2002).

### III-2-Nitrates

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organique ou, des engrais de synthèse ou naturels. Les nitrates proviennent également de l'oxydation de l'ammoniaque.

Matières organiques et microorganismes → ammoniaque → nitrites → nitrates

(SAMAKE, 2002).

Des concentrations en nitrates supérieure à 50mg/l sont à l'origine de méthémoglobinémie (cyanose) des nourissants, voir de cancer (DEGREMENT, 2005).

### III-3-Phosphates

Leur présence dans les eaux naturelles est liée aux terrains traversés et à la décomposition de la matière organique

Les eaux de surface ou de nappes peuvent être contaminées par des rejets industriels ou par le lessivage de terres cultivées renfermant des engrais phosphatés ou traitées par certains pesticides. (CHAMPIAT et LARPENT, 1994).

## IV-Eléments considérés comme indésirables

### ➤ Fer

La présence du fer dans les eaux souterraines a de multiples origines : le fer, sous forme de pyrite ( $\text{FeS}_2$ ), est couramment associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes, argiles) et aux roches métamorphique (CHERY, 2006).

Suivant la teneur en fer bivalent pour des eaux souterraines de type réductrices, un trouble, une coloration jaune et avec le temps une précipitation d'hydroxyde de fer peut de produire après contact avec l'oxygène de l'air. Un développement de bactéries dépendantes du fer est aussi possible. En conséquence, le goût pourrait être défavorablement influencé et l'apparition de résidus bruns ou noirs peut avoir lieu (RODIER et *al*, 2005).

### ➤ Cuivre

Dans les eaux souterraines, les teneurs normales en cuivre sont en-dessous de 0.005 mg/l (COLLIN, 2004). Le cuivre peut présenter des concentrations élevées provenant d'installations en cuivre, constatée essentiellement dans l'eau stagnante (C.I .Eau, 2005).

### ➤ Aluminium

Peut aboutir dans l'eau par l'intermédiaire d'agents de floculation ou d'anodes en aluminium (protection cathodique contre la corrosion) (SAMAKE, 2002).

## V- Eléments considérés comme toxiques

Selon DEGUMENT (2005), les éléments considérés comme toxiques dans les eaux destinées à la consommation humaines sont :

### ➤ Antimoine

L'Antimoine est suspecté d'influencer la composition du sang, il est limité à 5 $\mu\text{g/l}$  dans l'eau potable par l'OMS.

### ➤ Baryum

Le Baryum est généralement d'origine naturelle, ce métal pourrait provoquer des problèmes cardiovasculaires et sa présence dans l'eau potable et réglementée à 0,7  $\mu\text{g/l}$ .

### ➤ Sélénium

Le Sélénium est très répondu dans la nature, il est toxiques pour l'homme au niveau du foie, des angles et des cheveux, le sélénium est limité dans les eaux potables à une concentration de 10 $\mu\text{g/l}$  par l'OMS.

### ➤ Fluor

Les sources principales de fluor dans les eaux souterraines sont les roches sédimentaires mais également les roches magmatiques et certains filons. Les zones de thermalisme sont aussi concerné (HILLEL, 1988).

Le Fluor est reconnu comme un élément essentiel pour la prévention des caries dentaires (dentifrices fluorés). Cependant une ingestion régulière d'eau dont la concentration en fluor est supérieur à 2mg/l (OMS) peut entraîner des problèmes de fluorose osseuse et dentaire (coloration en brune des dents pouvant évoluer jusqu'à leur pertes). Les enfants sont particulièrement vulnérables à cette atteinte (SAMAKE, 2002).

## VI- Caractéristiques bactériologiques

### VI-1- Microflore de l'eau

D'après GALZY et GUIRAUD (1998) la microflore de l'eau est constituée de trois types de germes :

#### ➤ Germes typiquement aquatique

Ce sont des cyanobactéries qui sont des algues microscopique, et des bactéries (Vibrions, Pseudomonas, etc.). Ces germes aquatiques sont présent dans les nappes en contaminant le réseau d'adduction les parois de canalisations leur servant parfois habitat

#### ➤ Germes tellurique

Sont des bactéries sporulées (Bacillus, Clostridium) ou appartenant au genre Streptomyces et des spores fongiques. Elles sont présentes parfois dans les nappes en contaminant le réseau en mauvais état.

#### ➤ Germes de pollution humaine et animale

Ce sont des germes souvent pathogènes et essentiellement d'origine intestinale ; il s'agit d'entérobactéries (*E.coli*), *Clostridium perfringens*, *Vibrion cholerae* ...

On peut également rencontrer dans l'eau des protozoaires et autres parasites (Kystes de l'amibe), et des virus (poliomyélite, hépatite virale A et B ...).

## VI-2- Les principaux germes recherchés dans l'eau

### ➤ Coliformes

Le terme « coliforme » regroupe un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant à la famille des enterobacteriaceae (RODIER *et al.*, 2005).

Ce sont des organismes en forme de bâtonnet, non sporogènes, facultativement anaérobies, ils comprennent les genres : *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* et *Enterobacter*, *Yersinia*, *Serratia* (ROUX, 1989).

Les coliformes sont intéressants car un très grand nombre d'entre eux vivent en abondance dans les matières fécales des animaux et de ce fait, constituent des indicateurs fécaux de première importance (RODIER *et al.*, 2005).

### ➤ *Streptocoque fécaux*

Ce sont des bactéries cocci en chaînette, regroupés sous le terme de « streptocoques » les germes essentiels du groupe sont : *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. durans*, *E. hirae*, *Streptococcus* bovins, *S. equinus* (ROUX, 1989).

Ces streptocoques sont généralement pris comme indicateurs de pollution fécale, car tous ont un habitat fécal (RODIER *et al.*, 2005).

### ➤ *Clostridium sulfito-réducteur*

Ces sont des bactéries anaérobies strictes, sporulantes, sulfito-réductrices, considérées comme témoin de pollution fécale.

La forme sporulée, beaucoup plus résistante que les formes végétatives, permet de déceler une pollution fécale ancienne (ROUX, 1989).

Les *Clostridium*s sulfito-réducteurs (CSR) étant pratiquement toujours présents dans les rivières et le sol, leur absence dans une nappe sous-jacente, et surtout l'absence de leurs spores, constituent un bon signe de l'efficacité de filtration naturelle (RODIER *et al.*, 2005).

### ➤ Staphylocoques pathogènes

Ce sont des bactéries qui appartiennent à la famille des Bacillaceae, les infections engendrées par cette espèce sont dues, principalement, à des souches de *S. aureus*, mais aussi à d'autres espèces de staphylocoques d'origine humaine, parfois pathogènes opportunistes (*S. epidermidis*, *S. saprophyticus*...) : infections cutanées, infections septicémique redoutable, infections liés à la consommation d'eau et d'aliment contaminés (DELARRAS, 2003).

### ➤ Salmonelles

Ce sont des coccobacilles appartenant à la famille des Entérobacteraceae, généralement considérés comme pathogènes bien que leur virulence et leur pathogénicité varient énormément : fièvre typhoïde, gastro-entérites, toxi-infections alimentaires

Humains et animaux peuvent éliminer dans les selles des salmonelles non seulement en cas de maladies mais aussi en tant que porteurs asymptomatiques. Les salmonelles peuvent donc être présentes dans l'eau des égouts, agricoles et domestiques, les eaux douces, y compris les eaux potables et les nappes phréatiques, ainsi que l'eau de mer (BOURGEOIS et LEVEAU, 1980 ; RODIER *et al*, 2005)

### ➤ Vibrions

Les vibrions font partie de la famille de Vibrionaceae. Dans les pays où le choléra a pratiquement disparu, il est rare que la recherche du vibron cholérique dans les eaux d'alimentation présente un intérêt. Leur recherche se fait uniquement en cas de présence d'un cas suspect (DELARRAS, 2003).

## VII- Les polluants de l'eau

### VII-1- Polluants physiques

#### ➤ La chaleur

Elle provoque une élévation non négligeable de la température, elle affecte les diverses propriétés de l'eau telle que l'évaporation, elle diminue la solubilité de l'oxygène dans l'eau et y augmente l'activité biologique. Elle conduit donc à une asphyxie des cellules vivantes en aérobiose et elle diminue la transparence ainsi que la lumière pénétrant dans l'eau par la croissance anarchique de végétaux tels que des algues. Elle augmente les effets des toxiques minéraux ou organiques (FREDOT, 2005).

#### ➤ Matière en suspension

Ce paramètre englobe tous les éléments en suspension dans l'eau, dont la taille permet leur rétention sur un filtre de porosité donnée ou leur rassemblement, sous forme de culot, par centrifugation.

Elles déterminent la turbidité de l'eau. Elles limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, diminuent la teneur en oxygène dissout et nuisent au développement de la vie aquatique (DELARRAS, 2003).

### ➤ Radioactivité

La pollution radioactive est susceptible de provenir des différentes opérations du cycle combustible ; extraction et traitement des minerais, fonctionnement des réacteurs, transport et traitement des combustibles usés (DEFRANCESCHI, 1996).

## VII-2- Polluants chimiques

### ❖ Les sels minéraux et composés organiques

- ✓ les nitrates et les nitrites : ils sont très solubles et favorisent la multiplication des algues responsables d'une eutrophisation de l'eau c'est-à-dire de la disparition de l'oxygène dissout.
- ✓ les phosphates (essentiellement les polyphosphates) : ils sont utilisés au niveau industriel et domestique, ils favorisent la multiplication bactérienne et donc augmentent les besoins en traitement et purification.
- ✓ les phénols et diphénols : ils se complexent sous forme de chlorophénols lors de la chloration de l'eau et lui donnent un goût désagréable (FREDOT, 2005).

### ❖ Les micropolluants

Les micropolluants tels que le sélénium, les métaux lourds, les cyanures, l'arsenic et les composés organohalogénés volatils ou haloformes (FREDOT, 2005).

## VII-3- Polluants biologiques

D'après FREDOT (2005) les polluants biologiques se résument comme suit :

### ➤ Les parasites

- Les protozoaires : leur kystes contaminent l'eau en particulier ceux de l'amibe dysentérique qui est responsable comme son nom l'indique de dysenteries.
- Les vers parasites : il s'agit des douves (trématode), du bothriocéphale (cestode), de certains nématodes (Ascaris, Oxyures...).

### ➤ Les bactéries

Tels qu'*Escherichia coli* entérotoxique, *salmonella typhi* et paratyphi, *Vibrio cholera*, *shigella sonnei*, campylobacter jejuni, streptocoque angineux, staphylocoques pathogènes...

### ➤ Les virus

De nombreux virus peuvent contaminer l'eau. Il s'agit essentiellement du virus de l'hépatite A, du virus de la poliomyélite, d'entérovirus, de virus responsable de gastroentérites aiguës graves (rotavirus et virus de Norwalk).

## Introduction

Les eaux destinées à la consommation, qu'elles soient d'origine superficielle ou profonde, sont souvent trop chargées en particules ou en polluants divers. Avant leur utilisation et leur distribution aux consommateurs, elles doivent impérativement faire l'objet de plusieurs procédés de traitement et de désinfection.

Les procédés de traitement et de désinfection varient selon le type de ressource hydraulique disponible et en fonction des moyens et du niveau technologique.

Une eau de consommation fait l'objet en premier lieu, d'un prétraitement que l'on complète par l'application des procédés de traitement physiques (techniques séparatrices) et chimiques (oxydation).

Enfin, avant d'être consommée, l'eau du réseau de distribution, (ou bien d'autres sources), doit nécessairement subir une désinfection par une méthode appropriée.

## I- Prétraitement

Dans le processus de traitement des eaux, les prétraitements représentent la première phase. Ils servent à :

- Soulager le traitement (élimination des particules les plus grossières et invisibles comme le plancton, des gaz en excès) ;
- Protéger les ouvrages de : sable-limons, algues et de la corrosion (CO<sub>2</sub>).

### I-1- Le dégrillage

Il permet de supprimer les gros objets susceptibles de boucher ou d'endommager les différentes unités de l'installation, troncs d'arbres, branches, etc.

### I-2- Le dessablage

Il est prévu pour éliminer les graviers, sables, particules plus au moins fines de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes contre l'abrasion.

### I-3- Le tamisage

Il a pour but d'arrêter les débris végétaux ou animaux, des algues, herbes, etc.

### I-4- L'aération

Elle sert à :

- Éliminer des gaz en excès (H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>), Fe, etc. dans le cas des eaux souterraines principalement ou pour l'élimination biologique de l'ammoniaque ;
- Enrichir l'eau en oxygène (MRE, 2003).

## I-5- La Peroxydation

Elle est pratiquée en début de traitement, la peroxydation a plusieurs objectifs :

- L'élimination de l'azote ammoniacal ;
- L'élimination du fer et de manganèse ;
- L'élimination de la couleur ;
- L'amélioration de la clarification
- Le maintien de la propreté des installations de traitement

## II- Traitement physico-chimique de l'eau

Pour le traitement physico-chimique de l'eau destinée à la consommation, plusieurs techniques spécifiques sont utilisées, selon la provenance de l'eau et selon ses caractéristiques physico-chimiques.

### II-1- La coagulation

Processus comportant en premier lieu la déstabilisation des matières en suspension organiques, minérales et les substances colloïdales, et en second lieu leur agrégation en petits-amas ou flocon (KETTAB, 1992).

Ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques. Les principaux coagulants utilisés sont le sulfate d'alumine,  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ , l'aluminate de sodium  $NaAlCO_2$ , le chlorure d'aluminium  $AlCl_3$  etc. (DESJARDAINS, 1990).

### II-2- La floculation

Processus de grossissement et d'uniformisation des flocons sous l'influence d'une agitation lente. Elle complète la phase de coagulation et vise à assurer une grande cohésion du floc et une meilleure vitesse de sédimentation (C.I. Eau b, 2004).

Le floc ainsi formé, peut décanter, flotter ou filtrer (coagulation sur filtre), suivant le procédé de filtration le plus adapté (CARDOT, 1999).

### II-3- La décantation

Elle réalise la séparation gravitaire des matières insolubles dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Les particules s'accumulent au fond du bassin de décantation d'où on les extrait périodiquement.

Dans le cas de particules de densité inférieure à celle de l'eau, le procédé de filtration est à appliquer (DESJARDAINS, 1990 ; CARDOT, 1999).

## II-4- La filtration

La filtration est un procédé permettant la séparation solide liquide au travers d'un milieu poreux (sable). Elle permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et indirectement de certains goûts et odeurs (DESJARDAINS, 1990).

## III- La désinfection

### III-1- Définition

C'est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation avant distribution. Elle permet d'éliminer les micro-organismes pathogènes de l'eau. Il peut subsister dans l'eau quelques germes banals car la désinfection n'est pas une stérilisation (CARDOT, 1999).

### III-2- Effet bactéricide et effet rémanent

La désinfection des eaux comporte deux étapes importantes correspondant à deux effets différents d'un désinfectant donné.

#### III-2-1- Effet bactéricide

Capacité de détruire les germes en une étape donnée du traitement.

#### III-2-2- Effet rémanent

C'est un effet du désinfectant qui se maintient dans le réseau de distribution et permet de garantir la qualité biologique de l'eau. C'est à la fois un effet bactériostatique contre les reviviscences bactériennes et un effet bactéricide contre les pollutions faibles et ponctuelles survenant dans le réseau (C.I. Eau b, 2004).

### III-3- Conditions générales pour une bonne désinfection

L'eau doit être de bonne qualité, la teneur en matières en suspension doit être aussi réduite que possible et au maximum égale à 1mg/l. En effet, bactéries et micro-organismes peuvent s'agglomérer sur les matières en suspension qui les protègent de l'effet des désinfectants. L'eau va consommer le résiduel du désinfectant ce qui permet la reviviscence éventuelle de bactéries (C. I. Eau b, 2004).

### III-4- Agents de la désinfection

#### III-4-1- Le chlore

Le chlore est de nos jours le plus employé de tous les oxydants utilisés en désinfection. La modicité de son coût, sa simplicité d'emploi et sa rémanence dans les réseaux de distribution sont les arguments principaux en faveur de son utilisation (HASLAY et LECLERC, 1993).

Les produits chimiques les plus utilisés pour obtenir une désinfection des eaux par le chlore sont : le chlore gazeux,  $\text{Cl}_2$ , les hypochlorites de sodium  $\text{NaOCl}$ , et le bioxyde de chlore  $\text{ClO}_2$ , parmi ces produits c'est le chlore gazeux auquel on a recouru le plus pour la désinfection des eaux potables (DESJARDAINS, 1990).

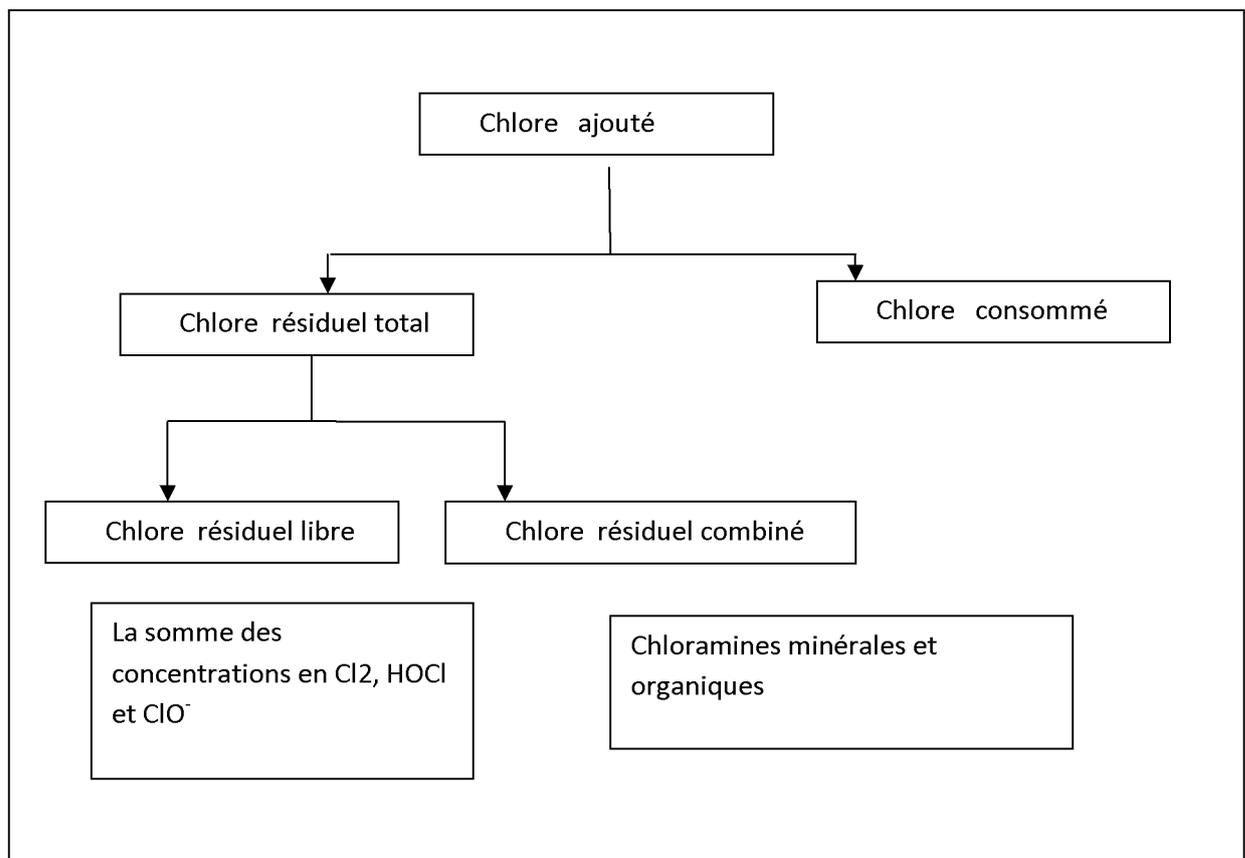
### ➤ Demande en chlore

Dans la pratique, la demande en chlore d'une eau doit être mesurée dans des conditions expérimentales qui dépendent des données locales (temps de séjour en réservoir de stockage, temps de séjour en réseau).

### ➤ Chlore résiduel

Le chlore actif total représente l'ensemble du chlore actif libre et du chlore actif combiné.

La teneur en chlore résiduel décroît tout au long du réseau de distribution. Elle est inévitablement plus élevée dans l'eau d'alimentation des habitations situées au début du réseau et faible (ou absente parfois quand l'eau est surchargée en matières organiques) dans l'eau des domiciles en fin du réseau (BOUIAZANI, 2000). En tenant compte de toutes les formes présentes en solution, on a dû définir quelques notes (fig.3).



**Figure 3** : Les différentes formes du chlore dans l'eau (CHEFTEL H. et CHEFTEL J-C. ; 1983 ; CARDOT, 1999).

### III-4-2- Désinfection par l'ozone

Il est à la fois un oxydant et un désinfectant puissant. On doit en tenir compte pour le choix de matériaux ; le verre et la porcelaine résistent à l'oxydation.

Cette propriété permet de réduire la couleur, les goûts et les odeurs, les ions de fer et de manganèse. Associé à l'eau oxygénée, il intervient dans l'élimination des pesticides. Il ne réagit pas avec l'ammonium et ne permet pas son élimination.

Son pouvoir désinfectant est 10 à 100 fois supérieur à celui du chlore et ce pour tous les types de microorganismes. Il est aussi efficace pour les kystes et les spores plutôt résistants. Il n'est cependant pas rémanent et on est obligé d'ajouter le chlore comme résiduel (CARDOT, 1999 ; DESJARDINS, 1997 ; MASSCHELEIN, 1996).

### III-4-3- Désinfection par le rayonnement ultraviolet

La désinfection par rayonnement est un procédé photochimique. Les atomes et les molécules subissent des modifications photochimiques lorsqu'ils absorbent les photons. La portion qui a une action germicide est celle des UV dont les longueurs d'ondes sont comprises entre 220 et 280 nm. Le rayonnement absorbé doit être suffisamment élevé pour changer l'énergie dans les atomes et molécules vitaux : pour les bactéries : 260-265 nm ; les parasites et les virus : 220 nm. Cependant une eau de forte turbidité amoindrit l'absorption.

La désinfection par rayonnement UV offre l'avantage de ne pas avoir la formation des produits chimiques secondaires. On doit cependant ajouter un résiduel pour éviter une réviviscence ou contamination bactérienne dans le réseau car il n'est pas rémanent.

Mode d'action germicide : l'altération photochimique de l'ADN empêche une multiplication bactérienne ou virale normale. Néanmoins si l'irradiation n'est pas assez puissante, une dénaturation de l'ADN par les enzymes est possible (CARDOT, 1999 ; DESJARDINS, 1997 ; MASSCHELEIN, 1996).

### III-4-4-La désinfection par le dioxyde de chlore (ClO<sub>2</sub>)

Le dioxyde de chlore comme certains de ses dérivés n'ont pas de propriétés directement désinfectantes. Le chlorite est légèrement bactéricide notamment pour *Streptococcus faecalis* mais son action est lente. Il l'est encore plus pour *Pseudomonas putida*. Il est par contre efficace pour prévenir la reviviscence bactérienne. Le dioxyde de chlore a une large plage d'utilisation de pH allant de 6 à 10. Par contre, il ne réagit pas avec l'ammonium et ne permet donc pas son élimination. Son action germicide est liée à l'augmentation de perméabilité de la couche lipidique qui facilite l'accès du ClO<sub>2</sub> aux molécules cellulaires vitales. L'action bactéricide est probablement liée à la réaction du ClO<sub>2</sub> avec les acides aminés vitaux (CARDOT, 1999 ; DESJARDINS, 1997 ; MASSCHELEIN, 1996).

## Introduction

Le réseau de distribution de l'eau potable est souvent décrit comme un véritable réacteur, où l'eau et son contenant (conduites...) sont le siège d'interactions physico-chimiques et biologiques. (fig.4)

L'eau du robinet peut avoir une qualité très éloignée de celle issue de l'usine de production. Une bonne connaissance des facteurs qui peuvent influencer la qualité de l'eau dans les réseaux est indispensable afin d'anticiper et d'éviter des problèmes potentiels (MRE, 2003).

Le réseau de distribution amène l'eau de l'installation de traitement au consommateur. Sa conception et ses dimensions dépendront de la topographie du lieu où se situe la communauté à desservir et de l'importance de celle-ci. L'objectif doit toujours être d'assurer aux consommateurs un approvisionnement suffisant et ininterrompu tout en évitant la contamination en aval de l'installation de traitement.

Les réseaux de distribution sont particulièrement vulnérables à la contamination lors des baisses de pression, notamment dans les pays en développement où l'alimentation est souvent intermittente (OMS, 2000)

## I- Dégradations dues à la croissance et à la prolifération des germes dans les réseaux

### I-1- Origines

Elles peuvent être diverses :

- mauvais rinçage des filtres (passage d'œufs ou des spores) ;
- aération de l'eau ;
- réparation des canalisations à la suite de casse ou de fuites ;
- pression faible : risque d'infiltration par les joints ou défectuosité du réseau (O.I.Eau, 1999)

### I-2- Facteurs favorables

- Désinfection défectueuse.
- Présence de matière organique.
- Présence d'ammoniaque.

### I-3- Formation du biofilm et caractéristiques

La biomasse libre dans le réseau se fixe sur les parois des canalisations, quelle soit morte ou vivante et constituera un premier support pour le développement de couches supérieures plus actives. Si ces organismes rencontrent des conditions ambiantes satisfaisantes le développement du biofilm peut avoir lieu (MRE, 2003). (fig.5).

Le biofilm devient alors un système dynamique où s'installe une chaîne alimentaire complexe. Cet habitat est le lieu privilégié de métabolisme, reviviscence, croissance et mort (avec un recyclage des nutriments) (MRE, 2003).

### I-4- Conséquences

- Détérioration de la qualité microbiologique de l'eau.
- Accroissement de la consommation en chlore, conduisant à une disparition du chlore résiduel nécessaire à maintenir en conduite.
- Formation de sous-produits organochlorés sapides et/ou toxique.
- Apparition de mauvais goût.
- Augmentation des risques de reviviscence bactérienne et en particulier de bactéries blessées lors de la désinfection.
- Variation du pouvoir oxydo-réducteur de l'eau.
- Développement possible de bactéries dénitrifiantes entraînant la formation de nitrites (risques de dépassement de la limite de qualité, soit  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (**Site Web 1**).

### I-5- Facteurs favorisant l'altération de la qualité dans les réserves et les conduites

#### I-5-1- Facteurs favorisant le développement des biofilms

- Augmentation de la température de l'eau.
- Vitesse d'écoulement faible ( $<0,1 \text{ m.s}^{-1}$ ).
- Temps de séjour longs dans les parties du réseau à faible consommation ou surdimensionnées.
- Matériaux des conduites favorisant l'adhésion bactérienne.
- Apports de matières organiques.

### I-5-2- Autres causes d'altération de la qualité

- Au niveau des réservoirs :
  - introduction d'eau de pluie après ruissellement et entraînement de matières par lessivage des couvertures présentant des défauts d'étanchéité. Conséquences : Contamination microbiologique, augmentation de la turbidité.
  - pénétration d'insectes, d'oiseaux, ... par des orifices mal protégés ou non étanches (trappes d'accès). Conséquences : Apport de matières organiques, contamination microbiologique.
  - stagnation de l'eau dans certaines zones (zones mortes) du fait d'une mauvaise circulation entre l'entrée et la sortie. Conséquences : Altération générale de la qualité de l'eau.
  - exposition à la lumière du jour favorisant le développement d'algues. Conséquences : Apport de matières organiques.
  - accumulation des dépôts suite au non observation des consignes d'entretien (vidanges et nettoyages périodiques non effectués). Conséquences : Contamination organoleptiques et microbiologiques.
- Au niveau des réseaux :
  - mauvais choix des matériaux ou des revêtements entraînant des relâchements et des corrosions, favorisant l'adhésion des micro-organismes. Conséquences : Pollutions toxiques et organoleptiques, coloration de l'eau.
  - présence de zones à faible vitesse d'écoulement ou à long temps de séjour du fait d'un mauvais dimensionnement et de non mise en place de remèdes. Conséquences : Altération générale de la qualité de l'eau.
  - vieillissement des conduites entraînant un contact avec l'environnement extérieur du fait de cassures, d'augmentation de la porosité. Conséquences : Pollutions microbiologiques.
  - retours d'eau lors de la mise en dépression ou de la vidange des conduites, mise en pression du réseau intérieur provoquant l'introduction de substances indésirable. Conséquences : Pollutions toxiques, microbiologiques, organoleptiques
- Lors des interventions sur les réservoirs et les conduites si les procédures de remise en exploitation ne sont pas respectées, en particulier en ce qui concerne la désinfection avant remise en exploitation. Conséquences : Contamination microbiologique. **(Site Web 2).**

### I-6- Les micro-organismes rencontrés

Les organismes susceptibles d'être présents dans les réseaux de distribution couvrent une large partie de la classification des êtres vivants, incluant les bactéries (*Pseudomonas*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Leptothrex*...) virus, champignons et organismes pluricellulaires (O.I.Eau, 1999).

## II- Dégradation de la qualité physico-chimique de l'eau potable

### ➤ Production de goût

Deux types de goût peuvent être attribués aux bactéries :

- goût de moisi, de vase ou de terre dus à des métabolites de micro-organismes tels qu'*Actinomycetes*, *Streptomyces* etc. ;
- goût et odeurs de sulfures dus à la réduction biologique de  $\text{SO}_4^{2-}$  en  $\text{S}^-$ , la prolifération de bactérie qui consomme de l'oxygène dissous et rend l'eau réductrice.

## III- Dégradation de la qualité de l'eau par les composés relâché par les canalisations

Différents types de canalisation peuvent être utilisés :

- acier, fer et fonte revêtue (ciment, bitume, époxydes) ;
- plomb puis cuivre, fer noir, fer galvanisé, PVC, PEHD pour les branchements particuliers (O.I.Eau, 1999)

### ➤ Divers types de corrosion

La corrosion est une perte de métal, elle est souvent responsable de la présence de fer, plomb, cuivre, cadmium, et de zinc dans l'eau. Ces corrosions peuvent être d'origine chimique, physique et aggravées par des phénomènes biologiques :

- corrosion constante à pH faible ;
- corrosion par piqûres (anode/cathode) qui peuvent être dus à des chlorures, à des concentrations élevées en oxygène ;
- corrosion galvanique au contact de deux métaux différents ; la température favorise ce type de corrosion ;
- corrosion bactérienne, les bactéries augmentent les vitesses de réaction ;
- vitesse de circulation de l'eau trop élevée (phénomène d'érosion).

Hormis, les perforations franches qui provoquent des fuites vers l'extérieur, les autres phénomènes modifient l'eau servie, l'utilisateur voit apparaître des eaux de teintes diverses allant du rouge au noir ainsi que des particules en suspension (LARGUIER et MONTOUT, 1981 ; O.I.Eau, 1999)

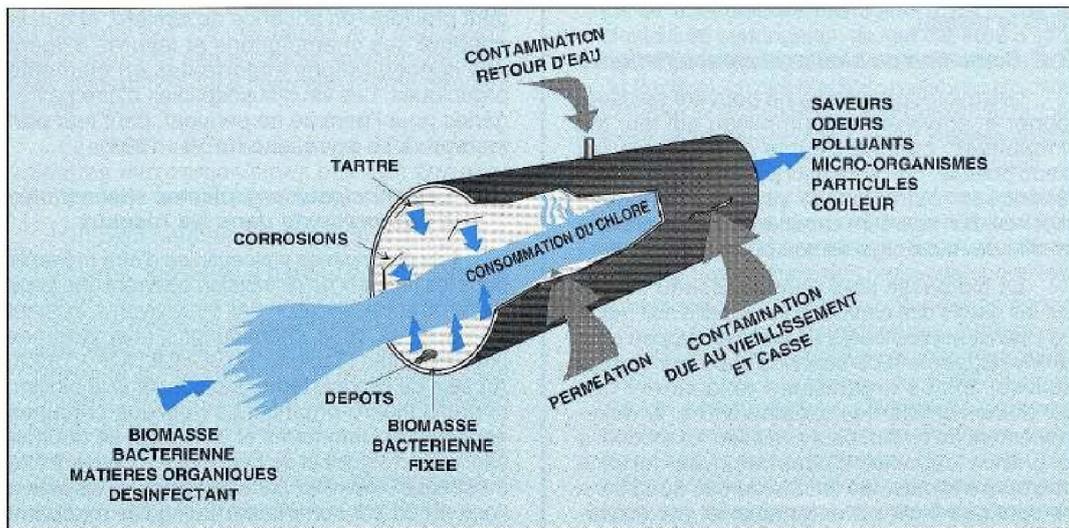


Figure 4 : Le réseau réacteur (O.I.Eau, 1999)

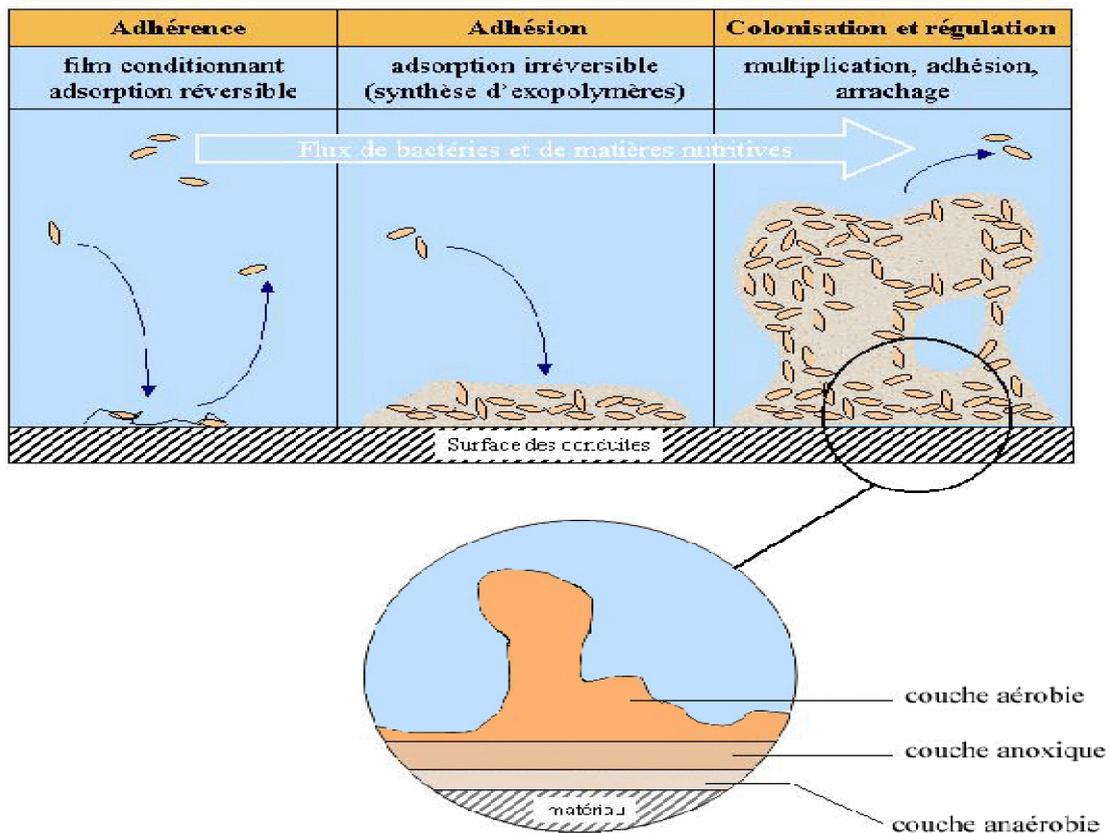


Figure 5 : Représentation schématique de la formation et de la structure d'un biofilm au sein d'un réseau de distribution d'eau potable (Center for Biofilm Engineering, Université du Montana).

## IV- Cas particuliers

1- Les retours d'eau : peuvent être dus :

- une baisse de pression (service intermittent) ;
- une rupture des canalisations (PISSAUY et *al*, 1996)

2- Cas des réservoirs : les réservoirs peuvent induire une dégradation de la qualité de l'eau pendant son stockage si :

- ils sont mal couverts ou non couverts ;
- il peut y avoir introduction d'animaux qui se noient ;
- il peut avoir infiltration des eaux de pluies ou de ruissellement (O.I.Eau, 1999)

## V- Mesures pour limiter les risques de dégradation de la qualité de l'eau

L'eau mise en distribution doit satisfaire à certaines exigences afin de limiter les risques de dégradation de ses qualités lors de son stockage et de son transport avant d'aboutir aux robinets des consommateurs :

- Elle doit être légèrement incrustante afin de permettre la formation d'une couche protectrice de carbonate de calcium. Elle ne doit donc jamais présenter un caractère agressif vis-à-vis de cette couche, ni être corrosive vis-à-vis des métaux. Pour des eaux très incrustantes, il sera envisagé un adoucissement partiel par décarbonatation.
- Sa turbidité doit être améliorée le plus possible vers 0,2 NTU au point de mise en distribution. Pour cela il peut être fait appel à des techniques séparatives membranaires, comme l'ultrafiltration. De plus les procédures de lavage et de remise à l'égout des premières eaux produites après un lavage, ou laisser à l'arrêt pendant un certain temps un filtre qui vient d'être lavé (période de maturation).
- La teneur en ammonium doit être la plus réduite possible et tendre vers 0,1 mg.L<sup>-1</sup> (référence de qualité) grâce à la mise en œuvre d'une filtration biologique.
- Il doit être mis en œuvre tous les moyens permettant de réduire les teneurs en micro-organismes et en matières organiques biodégradables afin de limiter au maximum la formation de biofilms. Une technique efficace consiste en une intégration suivie d'une filtration biologique sur charbon actif en grains. Ce procédé élimine l'inconvénient de l'oxydation pratiquée seule, qui transforme une partie du COD réfractaire en COD biodégradable et donc en éléments nutritifs pour les micro-organismes.
- Installation de poste de rechloration à envisager pour des réseaux très étendus (**Site Web 2**).

## Introduction

Ce travail a pour objectif principale la comparaison de la qualité microbiologique et physico-chimique de trois eaux à savoir l'eau minérale naturelle «Lalla Khedidja», eau de source «Sidi Rached» et l'eau de robinet de la région de Boghni, dans le but de déterminer celle qui répond aux normes et la plus convenable à la consommation humaine ; pour cela une série d'analyses physico-chimiques et bactériologiques sont effectuées au niveau du laboratoire central d'analyse des eaux de l'Algérienne des eaux, et aux niveau du laboratoire de l'unité d'embouteillage des eaux minérales naturelles «Lalla Khedidja».

### 1- Présentation du laboratoire de l'ADE

Le laboratoire central de l'ADE, est localisé au niveau de l'unité de Tizi-Ouzou. Sa mission est l'autocontrôle, c'est-à-dire contrôler les eaux distribuées sur le plan physico-chimique et bactériologique en se référant aux méthodes normalisées et il couvre toute la wilaya de Tizi-Ouzou.

### 2- Présentation des deux unités

#### ➤ Lalla Khedidja

L'unité d'eau minérale «Lalla Khedidja» de Cevital située au pied du mont Djurdjura dans la commune d'Agouni Gueghrane, à environ 35 Km au Sud-ouest du chef lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou, puise son eau de la source Thinzer située au flan du mont Kouriet.

L'eau de Lalla Khedidja prend son origine au plus haut sommet des montagnes du Djurdjura. Pour parler de ses caractéristiques, il s'agit d'une eau oligominérale non gazeuse, riche en minéraux essentiels à la vie, réputée pour sa légèreté et sa pureté. C'est une eau de montagne dont le parcours géologique est protégé contre toute pollution. Elle est ainsi directement embouteillée sans subir aucun traitement chimique. En Avril 2005, la célèbre eau minérale prend sa place sur le marché.

#### ➤ Sidi-Rached

L'unité d'eau de source «Sidi-Rached» de Sarl SAEMO (Société Algérienne d'Eau Minérale d'Oumalou), est née au cœur des montagnes de Djurdjura dans la commune d'Ait-Oumalou, à environ 30 Km du chef lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou.

La source Sidi-Rached est puisée à une forte profondeur. Pour parler de ces caractéristiques, il s'agit d'une eau pure, légère minéralisée et aussi non gazeuse. C'est une eau provenant d'une unité qui se situe sur un site bien protégé, avec une organisation spécifique. Elle est directement embouteillée sans subir aucun traitement chimique. En Janvier 2007, l'eau de source Sidi-Rached pénètre le marché national.

Notre étude expérimentale s'est déroulée d'avril à juin 2016. Les différentes analyses ont été effectuées dans les laboratoires suivants :

- Le laboratoire central de l'ADE «Algérienne Des Eaux», localisé au niveau de l'unité de Tizi-Ouzou. Sa mission est de contrôler les eaux distribuées sur le plan physico-chimique et bactériologique.
- Le laboratoire de contrôle de la qualité de l'unité d'embouteillage des eaux minérales naturelles «Lalla Khedidja».

### **3- Echantillonnage**

L'échantillonnage est primordial car il conditionne la pertinence de l'analyse. Il doit être représentatif, homogène et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau.

A fin de pouvoir classer les trois eaux étudié et de contrôler leur stabilité physico-chimique et bactériologique, nous avons analysé cinq prélèvements.

#### **3-1- Echantillons destinés aux analyses physico-chimiques**

Les échantillons prélevés de l'eau de robinet ont été effectués après avoir laissé couler l'eau pendant au moins 5 minutes pour permettre le renouvellement de l'eau des canalisations. Des bouteilles d'un litre et demi sont rincées plusieurs fois avec de l'eau à analyser puis remplies totalement pour éviter la pénétration de l'air.

A l'exception de l'eau minérale naturelle «Lalla Khedidja» et de l'eau de source «Sidi-Rached» des bouteilles d'un litre cinq sont directement utilisées sans effectuer aucun prélèvement.

#### **3-2- Echantillons destinés aux analyses bactériologiques**

Le récipient utilisé doit assurer une fois bouché, une protection totale contre toute contamination. Il ne doit pas céder à l'échantillon de substances toxiques vis-à-vis des bactéries. Il est conseillé d'utiliser des flacons en verre (250 ml). Avant prélèvement, ces flacons doivent être :

- lavés soigneusement avec un détergent et eau de Javel ;
- rincé avec de l'eau du réseau puis avec de l'eau distillée ;
- séchés ensuite bouchés et finalement stérilisés.

La stérilisation des flacons se fait dans un autoclave en le maintenant à une température de 120°C, pendant au moins 15 minutes. Au moment du prélèvement, ouvrir le robinet, laisser l'eau couler pendant environ 5 minutes.

Désinfecter le robinet soit en passant une tige de coton imbibé d'éthanol à 90 %, ou une flamme d'un chalumeau pendant au moins 2 minutes. Procéder au flamage du goulot du flacon avant et après remplissage.

Les flacons sont remplis au 3/4. Ceci afin de maintenir en vie les bactéries aérobies et de pouvoir agiter et mélanger l'échantillon avant analyse.

Les prélèvements doivent être scellés et munis d'une étiquette portant le code pour faciliter leur identification.

### 3-3- Transport des échantillons

Les prélèvements sont immédiatement acheminés vers le laboratoire dans des glacières à 4°C. Afin de maintenir la composition initiale de l'échantillon, le temps qui s'écoule entre le prélèvement et l'analyse doit être réduit au minimum.

L'analyse bactériologique doit débiter dans un délai maximal de 8 heures après le recueil de l'échantillon.

## 4- Méthodes d'analyses

### 4-1- Méthodes d'analyses physico-chimiques

Les techniques analytiques utilisées pour la détermination des paramètres physico-chimiques sont les suivantes :

#### I- Analyses électrochimiques

##### I-1- Détermination du pH (NF T90-008)

###### ➤ Principe

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène  $[H^+]$  présent dans l'eau.

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel-KCl saturé). Plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions  $H^+$ .

- **Appareil** : pH Mètre.
- **Electrode** : Electrode de pH combinée.
- **Réactifs**

Tampon pH = 9

Tampon pH = 7

Tampon pH = 4

➤ **Mode opératoire**

• **Etalonnage du pH mètre**

L'étalonnage de l'équipement se fait selon l'instruction de travail du pH mètre concerné. L'électrode doit rester tremper dans du KCl à 3 mol/l.

• **Dosage de l'échantillon**

- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser
- Mettre un agitateur avec une faible agitation
- Tremper l'électrode dans le bêcher
- Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation
- Noter le pH

• **Enregistrement du résultat**

Les résultats sont reportés sur le formulaire du laboratoire puis dans une trame informatique.

## I-2- Détermination de la conductivité (NF T90-031)

➤ **Principe**

La conductivité électrique d'une eau est une mesure du courant électrique conduit par les ions présents dans l'eau. Elle dépend de la concentration, nature des ions, de la température et la viscosité de la solution.

La conductivité d'une solution est définie comme la conductivité 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 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de la conductivité électrique est le siemens par mètre (S/m), mais elle est généralement exprimée en micro-siemens par centimètre ( $\mu\text{S/cm}$ ).

- **Appareil** : Conductimètre.
- **Electrode** : Electrode de conductivité.

➤ **Mode opératoire**

- Opérer de la verrerie rigoureusement propre et rincée, avant usage, avec de l'eau distillée
- Rincer plusieurs fois la cellule à conductimètre, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à analyser
- Faire la mesure dans un deuxième récipient en prenant soin que les électrodes de platine soient complètement immergées
- Agiter 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

### I-3- Détermination de la turbidité (NF T90-033)

#### ➤ Principe

La turbidité d'une eau est causée par des matières non dissoutes (limon, argile, algue, grain de silice...). Celles-ci atténuent la radiation incidente et les particules insolubles diffusent la radiation de façon inégale. L'appareil employé fonctionne sur le principe de la mesure diffusée. La longueur d'onde de la radiation incidente est de 860 nm comme recommandé dans la méthode ISO 7027 et ce, afin d'éviter l'influence des matières dissoutes absorbant la lumière. La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute.

- **Appareil** : Turbidimètre.

#### ➤ Mode opératoire

- Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec du papier hygiénique, avec l'échantillon d'eau à analyser
- Bien homogénéiser et effectuer rapidement la mesure
- Vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure
- Exprimer directement le résultat en NTU

## II- Analyses volumétriques

### II-1- Dosage des chlorures «Méthode de MOHR» (NF T 90-014)

#### ➤ Principe

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

#### ➤ Mode opératoire

- Prendre 25 ml d'eau à analyser
- Ajouter à l'aide d'une pipette 1 ml d'indicateur  $K_2Cr_2O_7$
- Titrer par addition progressive de nitrate d'argent jusqu'à obtention d'une coloration à peine brunâtre ou mieux
- Noter le volume moyen de la chute de burette.

## II-2- Dosage de la somme du calcium et magnésium (dureté totale TH) (ISO 6059)

### ➤ Principe

Titration par complexométrie des ions calcium et magnésium avec une solution aqueuse de sel disodique d'acide éthylène-diamine tétraacétique (EDTA) à un pH de 10. L'indicateur utilisé est le noir ériochrome T, qui donne une couleur rose en présence des ions calcium et magnésium.

Lors du titrage avec l'EDTA la solution vire en bleu vert.

### ➤ Mode opératoire

- Prélever 100 ml d'eau à analyser
- Ajouter 5 ml de solution tampon et quelques mg d'indicateur coloré NET
- Verser la solution d'EDTA jusqu'au virage de rouge au bleu vert
- Vérifier qu'une goutte d'EDTA ne produit plus de tache bleu-verdâtre
- Noter le volume (V) de la solution d'EDTA versée

## II-3- Détermination de la dureté calcique ( $\text{TH}_{\text{Ca}^{++}}$ ) (ISO 6058)

### ➤ Principe

Le principe est identique à celui de la méthode complexométrique, décrite pour la dureté totale, toutefois, comme le dosage se fait à un pH élevé (pH= 12-13), le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'intervient pas. Par ailleurs, l'indicateur choisi ne se combine qu'avec le calcium.

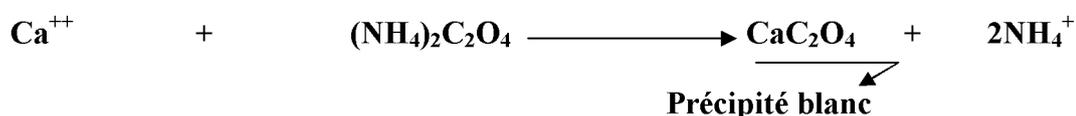
### ➤ Mode opératoire

- Dans un Erlen de 250 ml, verser 50 ml d'eau à analyser
- Ajouter 2 ml de NaOH (1N) et 0,1 g d'indicateur murexide
- Titrer avec la solution d'EDTA (0,02 N), jusqu'au virage du rose au pourpre
- Noter le volume (V) de la chute de la burette qui correspond à la solution d'EDTA versée

## II-4- Détermination de la dureté magnésienne ( $\text{TH}_{\text{Mg}^{++}}$ ) (ISO 6058)

### ➤ Principe

Pour déterminer la teneur en ions  $\text{Mg}^{++}$  dans l'eau, il est nécessaire d'éliminer les ions de  $\text{Ca}^{++}$ . Cette opération s'effectue à l'aide des sels oxalique  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  ou  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , selon les réactions suivantes :





➤ **Mode opératoire**

- A l'aide d'une pipette de 50 ml, verser l'échantillon d'eau à analyser dans un Erlen de 250 ml
- Ajouter 3 à 4 ml de la solution de sel oxalique à 25°-30°C
- Filtrer le précipité blanc de  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  qu'il faut laver avec quelques ml d'eau distillée au dessus de l'entonnoir, puis additionner l'eau de lavage au filtrat
- Ajouter par la suite 5ml de la solution ammoniacal et 7 à 8 gouttes d'indicateur noir ériochrome
- Titrer l'eau à analysée avec la solution de complexon III ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ) à 0,02N
- Noter le volume moyen versé

## II-5- Détermination de l'alcalinité (RODIER 9<sup>ème</sup> EDITION)

➤ **Principe**

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaires pour neutraliser, aux niveaux de pH 8,3 et 4,3 le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

### II-5-1- Détermination du TA

➤ **Mode opératoire**

- Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une capsule de porcelaine blanche de 12 cm de diamètre environ
- Ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénolphthaléine, une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul, ce qui se produit en général pour les eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8,3
- Verser en suite doucement l'acide dans la capsule à l'aide d'une burette
- Agiter constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution (pH 8,3)
- Noter le volume (V) d'acide utilisé pour obtenir le virage

### II-5-2- Détermination du TAC

➤ **Mode opératoire**

- Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration
- Ajouter 2 gouttes de méthylorange et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'au virage de couleur jaune orangé (pH 4,3)

- S'assurer qu'une goutte d'acide en excès provoque le passage de la coloration du jaune au rose orangé (pH 4)
- Noter le volume  $V'$  le nombre de millilitres d'acide 0,02N versé depuis le début du dosage
- Retrancher de ce volume 0,5 ml, quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur, qui est un peu plus faible que le pH de neutralisation exacte de l'hydrogénocarbonate

## II-6- Détermination de la teneur en hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

La détermination de l'alcalinité totale (TA) et l'alcalinité en sels minéraux permet d'évaluer les teneurs en  $\text{HCO}_3^-$  :

$$\text{HCO}_3^- \text{ en mg/l} = \text{TAC (meq/l)} \times 61$$

## III- Analyses spectrophotométriques

### III-1- Détermination du fer par la méthode à l'orthophénanthroline (ISO 6332)

#### ➤ Principe

Addition d'une solution de phénanthroline 1.10 à une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe rouge-orange à une longueur d'onde de 510nm.

Pour le dosage du fer total et du fer total dissous, du chlorhydrate d'hydroxylamine est ajouté pour réduire le  $\text{Fe}^{3+}$  et  $\text{Fe}^{2+}$ .

#### ➤ Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser dans un Erlen Meyer de 100 ml
- Ajouter 1 ml de la solution de chlorhydrate d'hydroxylamine et mélanger soigneusement
- Ajouter 2 ml de tampon acétate
- Ajouter 2 ml de la solution 1.10 de phénanthroline et conserver à l'obscurité pendant 15 min
- Enfin passer au spectrophotomètre pour la mesure à la longueur d'onde de 510 nm.
- Noter le résultat en mg/l. (Annexe I)

### III-2- Dosage de l'ammonium (RODIER 9<sup>ème</sup> édition)

#### ➤ Principe

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme un catalyseur, les ions ammonium traités par une solution de chlore et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage par spectrophotométrie d'absorption moléculaire.

#### ➤ Mode opératoire

- Introduire dans une fiole conique de 100 ml, 20 ml d'eau à analyser puis poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage
- Préparer de la même façon un témoin avec 20 ml d'eau permutée
- Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 630 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin
- Se rapporter à la courbe d'étalonnage (Annexe IV).

### III-3- Dosage des nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) (ISO 5667)

#### ➤ Principe

Les nitrites réagissent avec le Sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après copulation avec le N1 Naphtyléthylènediamine dichlorure donne naissance à une coloration rose mesurée à 543 nm.

#### ➤ Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser
- Ajouter 1 ml du réactif mixte
- Attendre 10 mn
- Effectuer la lecture à 543 nm, puis exprimer le résultat en mg/l

### III-4- Dosage des nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) par la méthode au salicylate de sodium (T90-012)

#### ➤ Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosoulate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

#### ➤ Mode opératoire

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75-88°C (ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) et laisser refroidir
- Reprendre le résidu avec 2 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> puis laisser reposer environ 10 mn

- Ajouter 15 ml d'eau distillée
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415 nm
- Exprimer le résultat en mg/l

### III-5- Dosage des sulfates par la méthode néphélométrique (NF T90-40)

#### ➤ Principe

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum, le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween 20 ou de polyvinyl-pyrrolidone. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre

#### ➤ Mode opératoire

- Introduire dans un tube 50 ml d'eau à analyser
- Ajouter 1 ml de HCL 1/10
- Ajouter la solution de chlorure de baryum + Tween 20
- Préparer dans les mêmes conditions un tube témoin en remplaçant l'eau à analyser par l'eau permutée
- Agiter énergiquement et laisser reposer 15 min, puis agiter de nouveau et faire les lectures à la longueur d'onde de 650 nm
- Tenir compte de la valeur lue pour le témoin
- Se reporter à la courbe d'étalonnage (Annexe I).

## IV- Analyses photométriques

### IV-1- Dosage du sodium/potassium par la photométrie de flamme (ISO 9964/3)

#### ➤ Principe

La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles, connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino-terreux.

Les éléments à analyser (sodium, potassium, calcium... etc.) sont généralement sous forme de sels. L'analyse se fait en partant de leurs solutions.

#### ➤ Mode opératoire

Suivre toutes les étapes de la mise en marche de photomètre :

- Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert (POWER)
- Ouvrir le robinet de la bouteille de gaz
- Passer aux échantillons inconnus jusqu'à ce que la valeur affichée sur l'écran soit stable (3 essais pour chaque échantillon).

- A la fin du dosage et par mesure de sécurité, il faut toujours fermer la bouteille de gaz propane en premier lieu ensuite l'appareil et la pompe

#### IV-2- Détermination des phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (ISO N° 6878)

##### ➤ Principe

Formation en milieu acide d'un complexe avec molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium. Réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption l'une vers 700 nm, l'autre plus importante à 880 nm.

##### ➤ Mode opératoire

- Prendre 40 ml d'eau à analyser
- Ajouter 1 ml d'acide ascorbique
- Ajouter 2 ml du réactif mixte
- Attendre 10 mn le temps du développement de la couleur bleu
- Effectuer la lecture à une longueur d'onde de 880 nm
- Exprimer le résultat directement en mg/l (Annexe IV).

#### V- Détermination du résidu sec total (RODIER 9<sup>ème</sup> édition)

##### ➤ Principe

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes en suspension d'une eau. La détermination du résidu sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée préalablement à la mesure, le résidu correspond alors aux matières dissoutes.

Une certaine quantité d'eau est évaporée dans une capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé.

##### ➤ Mode opératoire

- Tarer une capsule préalablement lavée, rincée à l'eau distillée et desséchée dans une étuve à 105°C jusqu'à masse constante
- Peser à 0,1 mg près le poids de la tare  $P_0$ , après refroidissement au dessiccateur
- Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée et déverser le dans la capsule
- Porter cette dernière à l'étuve à 105°C pendant 24 heures
- Laisser refroidir pendant  $\frac{1}{4}$  d'heure au dessiccateur
- Refaire la pesée à 0,1 mg près jusqu'à un poids constant
- Noter le nouveau poids  $P_T$  de la capsule
- Déterminer la teneur en résidu sec par la différence des deux poids (Annexe I).

## 4-2- Méthodes d'analyses microbiologiques

L'analyse bactériologique a pour but de mettre en évidence la présence de bactéries qui modifient l'aptitude d'une eau à une utilisation donnée, elle consiste en la recherche et la numération de la flore totale de l'eau (ROUX, 1987)

Cette flore est composée de micro-organismes banaux et de germes pathogènes. Ces derniers sont d'origine fécale dont le dénombrement est facilité par l'utilisation de germes indicateurs de pollution. Ceux-ci sont régis par quatre facteurs : la spécificité, la sensibilité et l'importance quantitative ainsi que la résistance (FCE, 2003)

Pour l'étude de la qualité d'une eau, il y a lieu de choisir le type d'analyse adéquat, dans notre cas, nous avons pratiqué une analyse complète, comportant les phases suivantes :

- numération « totale » des germes à 37°C et 22°C ;
- recherche et numération des coliformes totaux avec identification des *E. coli* ;
- recherche et numération des streptocoques fécaux ;
- recherche et dénombrement des spores de *Clostridium sulfito-réducteur*.

### ❖ Méthode de dénombrement sur membrane filtrante

Le dénombrement est basé sur une filtration d'un volume donné d'échantillon d'eau à travers une membrane filtrante de porosité (0,45 µm) suffisante pour retenir les bactéries, la membrane est placée ensuite sur un milieu gélosé est incubée à une température appropriée, puis on procède au comptage direct.

### ❖ Méthode de dénombrement par inoculation sur milieu liquide (RODIER *et al*, 2009)

Cette méthode de routine, consiste en la recherche et le dénombrement des bactéries coliformes, coliformes thermo tolérants et des *Escherichia coli* dans les eaux destinées à la consommation humaine, en milieu liquide par la technique du nombre le plus probable (NPP).

On suppose que, pendant l'incubation chaque tube ayant reçu un ou plusieurs microorganismes avec l'inoculum présentera une croissance qui va provoquer ou non des modifications caractéristiques dans le milieu. Compte tenu que certains tubes sont négatifs, le nombre le plus probable de microorganismes dans une quantité spécifiée d'échantillon peut être estimé à partir du nombre et de la répartition des tubes positifs.

#### 4-2-1- Dénombrement des microorganismes revivifiables (germes totaux) à 22°C et à 37°C (NF EN ISO 6222)

##### ➤ Principe

Cette méthode consiste en une estimation du nombre total des germes dans l'eau. L'ensemencement se fait par incorporation dans un milieu gélosé non sélectif (TGEA) et la lecture est réalisée après incubation à 22°C pour les germes saprophytes et à 37°C pour les germes pathogènes.

##### ➤ Milieu de culture

Gélose à l'extrait de levure.

##### ➤ Mode opératoire

- A partir de l'eau à analyser (SM = 1) et/ou des dilutions décimales  $10^{-1}$  et  $10^{-2}$ , porter aseptiquement 1 ml en double dans deux boîtes de Pétri vides, numérotées et préparées à cet usage comme l'indique la figure n° 6 ci-après.
- Compléter ensuite avec environ 19 ml de gélose TGEA fondue puis refroidie à  $45 \pm 2^\circ\text{C}$ . Le temps qui s'écoule entre le moment où l'on a distribué l'inoculum dans la boîte et celui où le milieu est coulé ne doit excéder 15 minutes.
- Faire ensuite des mouvements circulaires et des va-et-vient en forme de «8» pour permettre de se mélanger à la gélose, sur une surface fraîche et horizontale.
- Laisser solidifier les boîtes sur pailleasse, puis rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose ou de gélose blanche, cette deuxième couche à un rôle protecteur contre les contaminations externes diverses.
- Les boîtes seront partagées en deux séries distinctes :
  - La première série sera incubée à  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant  $68 \pm 4$  heures,
  - La deuxième série sera incubée à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant  $44 \pm 4$  heures.

##### ➤ Lecture et interprétation

Les colonies de microorganismes revivifiables apparaissent en masse sous formes lenticulaires et bien distinctes.

- Retenir les boîtes contenant moins de 300 colonies, au niveau de deux dilutions successives. Il faut qu'une boîte referme au moins 15 colonies.
- Calculer en suite la valeur du nombre  $\underline{N}$ , de microorganismes revivifiables à  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  à part et celle du nombre  $\underline{N}$  de microorganismes revivifiables à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  à part, en tant que moyenne pondérée, à l'aide de l'équation suivante :

$$N = \frac{\Sigma c}{1,1 \times d}$$

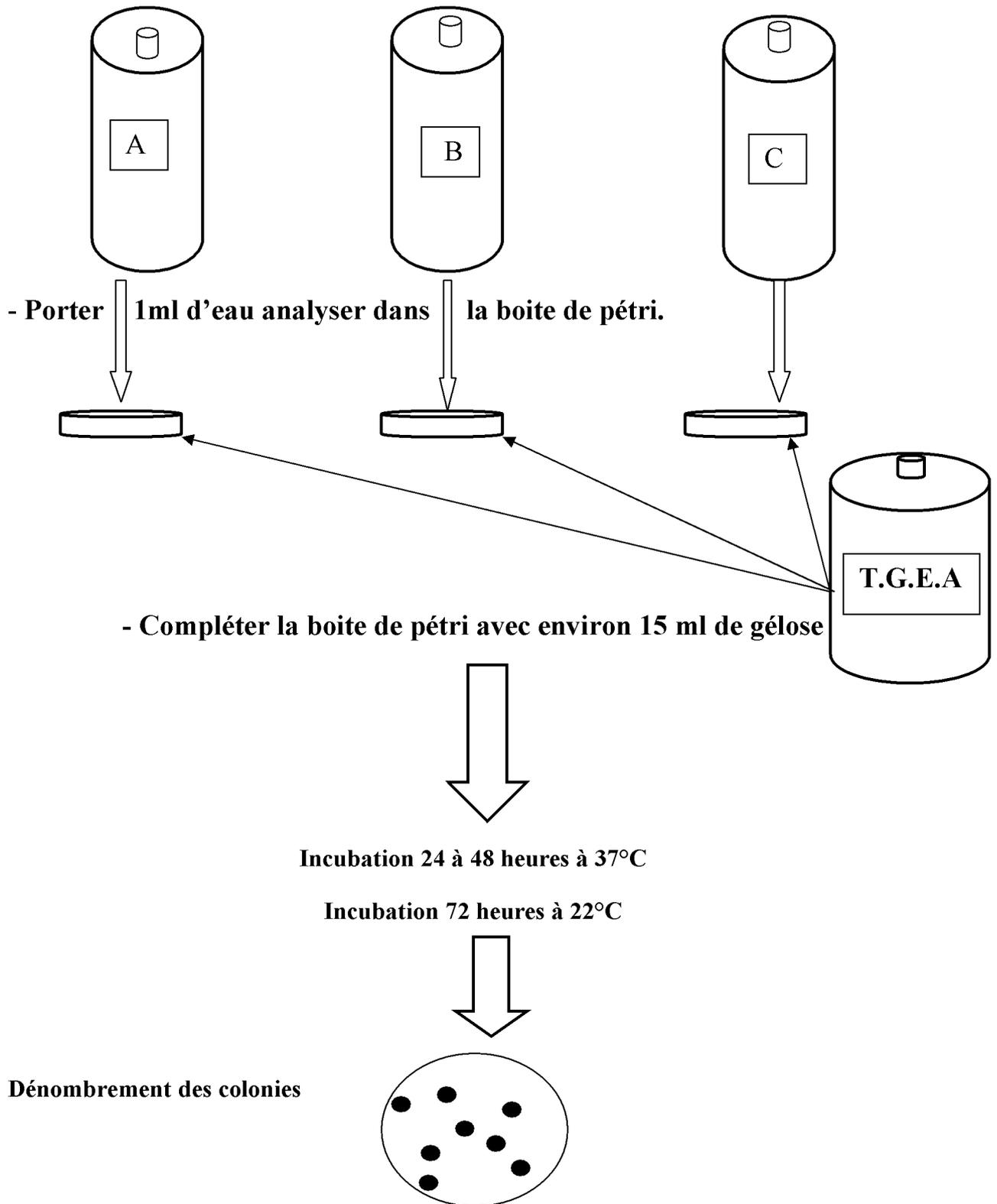


Figure 6 : Recherche et dénombrement des germes totaux

## 4-2-2- Recherche et dénombrement des coliformes et d'*E.coli* présumées (NF EN ISO 9308-1)

### a) Méthode de dénombrement par filtration sur membrane

#### ➤ Principe

Il s'agit là d'une méthode de référence qui consiste en la recherche et le dénombrement des *Escherichia Coli* et des bactéries coliformes éventuellement présentes dans les eaux destinées à la consommation humaine, par comptage des colonies obtenues en milieu solide après 24 à 48 heures d'incubation en aérobiose à  $36\pm 2^\circ\text{C}$  puis à  $42\pm 2^\circ\text{C}$ .

La présente méthode est recommandée pour les eaux peu contaminées.

#### ➤ Milieu de culture

Gélose Endo, qui ne laisse guère croître que les colonies coliformes

#### ➤ Mode opératoire

La recherche des bactéries coliformes par filtration sur membrane nécessite une préparation au préalable, qui se déroule selon les étapes suivantes

#### Essai standard

- Tout d'abord, il faudrait stériliser l'entonnoir en acier inoxydable ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen.
- Les refroidir tout de suite après, avec l'eau à analyser si en dispose en quantité suffisante ou bien avec de l'eau distillée stérile.
- Mettre en place de façon aseptique une membrane d'une porosité nominale de  $0,45\mu$  entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Fixer ce dispositif avec la pince correspondante.
- Déposer ensuite aseptiquement 100 ou 250 ml d'eau à analyser, selon les types d'eaux à analyser, devant un bec bunsen
- Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane
- Retirer l'entonnoir puis transférer immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince à bouts arrondis stérile, sur la surface d'une plaque de gélose TTC préalablement préparée. Cette dernière sera incubée couvercle en bas à  $36\pm 2^\circ\text{C}$  pendant  $21\pm 3$  heures voire  $44\pm 4$  heures et servira à la recherche des bactéries coliformes, suivi de l'identification biochimique des *Escherichia Coli*.

## Essai rapide

- Un deuxième test dit test rapide peut être effectué parallèlement à l'essai standard et dans les mêmes conditions. Il consiste à filtrer une seconde fois 100 à 250ml d'eau à analyser selon les types d'eau à analyser, devant un bec bunsen à travers une seconde membrane qui sera placée dans un premier temps sur une plaque de gélose TSA à la caséine à incuber couvercle en bas d'abord à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant 4 à 5 heures puis transférer la membrane sur gélose TBA enrichie en sels biliaries à incuber à  $44 \pm 0,5^\circ\text{C}$  pendant 19 à 20 heures. Cette méthode sert à la recherche sélective des *Escherichia coli*.

### ➤ Lecture et interprétation

#### 1) Essai standard

- Après la période d'incubation spécifiée, dénombrer les colonies caractéristiques qui se présentent sous forme de petites colonies lisses légèrement bombées à contours réguliers et pigmentées en jaune orangé ou en jaune (lactose positif). Repiquer de façon aléatoire 5 à 10 colonies à des fins de confirmations basées sur le test à l'oxydase d'une part et la production d'indole d'autre part.

#### Test à l'oxydase

Pour les besoins de ce test, effectuer tout d'abord un repiquage sur gélose TSA à la caséine de 5 à 10 colonies à incuber à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant  $21 \pm 2$  heures, puis effectuer le test de l'une des façons suivantes :

- Imbiber un disque d'oxydase avec une goutte d'eau distillée stérile puis déposer une colonie caractéristique.
- Verser deux à trois gouttes du réactif à l'oxydase préparé extemporanément (Tétraméthyle-p-phénylènediamine) sur un papier filtre puis étaler dessus une partie de la culture.

Dans les deux cas la réaction positive et immédiate et se traduit par un virage au bleu violet foncé. Pour les *E.coli* la confirmation est basée sur la production d'indole et sa mise en évidence.

### Test à l'indole

- Pour cela transférer chaque colonie caractéristique séparément (5 à 10) dans un tube contenant 3ml de bouillon au tryptophane. Bien triturer la colonie dans le milieu puis incubé se dernier à  $44 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant  $21 \pm 3$  heures puis rechercher la production d'indole en ajoutant deux à trois gouttes du réactif de kowacs, la coloration rouge à la surface du bouillon traduit la production d'indole à partir du tryptophane présent dan le milieu.

### En conclusion

- Est considérée comme bactérie coliforme, toute colonie caractéristique (jaune), dépourvue de l'enzyme oxydase et non productrice d'indole.
- Est considérée comme bactérie *Escherichia coli*, toute colonie caractéristique (rouge), dépourvue de l'enzyme oxydase, mais productrice d'indole à  $44^\circ\text{C}$ .

Calcul de la valeur **a** du nombre de bactéries coliformes ou des *E.coli* : le résultat final sera exprimé selon l'équation mathématique suivante :

$$a = \frac{b}{A} \quad C$$

**b** : nombre de colonies répondant positivement aux critères de test de confirmation.

**A** : nombre de colonies repiquées (5 à 10 colonies).

**C** : nombre total de colonies caractéristiques trouvées dans la boîte.

### 2) Essai rapide

Après la période d'incubation spécifiée, transférer la membrane sur un papier filtre imbibé de réactif de Kowacs puis l'irradier sous une lampe UV pendant 10 à 30 minutes.

Sont considérer comme des *Escherichia coli*, les colonies qui prennent une coloration rouge : à dénombrer. Le nombre d'*Escherichia coli* sera rapporté à 100 ou 250 ml d'eau à analyser.

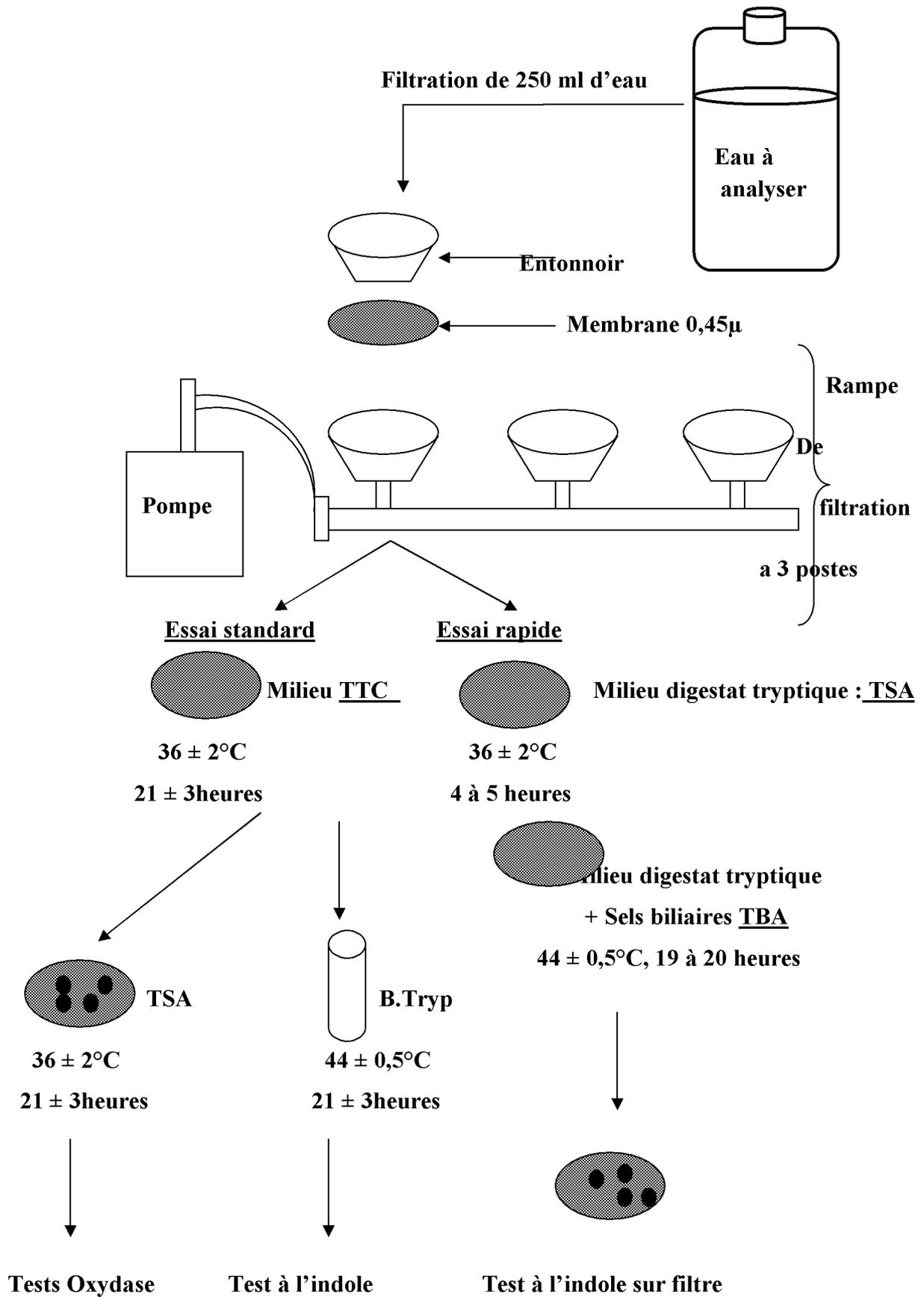


Figure 7 : Dénombrement des E.coli et des bactéries Coliformes par filtration

## b) Méthode de dénombrement par inoculation en milieu liquide

### ➤ Principe

La technique consiste à ensemercer l'eau à analyser dans des séries de tubes contenant du bouillon lactosé, muni d'une cloche de Durham permettant de mettre en évidence la fermentation de lactose avec production de gaz.

Dans un deuxième temps, on effectue un repiquage à partir des tubes positifs, sur milieu Schubert muni d'une cloche de Durham pour mettre en évidence la production de l'indole et de gaz à 44°C par les *Escherichia coli* présumés.

### ➤ Milieu de cultures et réactifs

- Milieu d'inoculation : Bouillon au pourpre de bromocrésol (B.C.P.L).
- Milieu de confirmation :- bouillon lactosé bilié au vert brillant (B.L.V.B) ;
  - milieu de Schubert ;
  - réactifs : Kovacs

### ➤ Mode Opérateur

La recherche et le dénombrement des bactéries coliformes, coliformes thermo-tolérants et des *Escherichia Coli* dans les eaux en milieu liquide par la technique du NPP, se fait en deux étapes consécutives :

- Le test de présomption : réservé à la recherche des coliformes,
- Le test de confirmation : réservée à la recherche des coliformes thermo tolérants et *Escherichia Coli*.

### 1) Test de présomption

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :

- 50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham
- 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham
- 5 fois 1ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham

Chasser l'air éventuellement présent dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

**➤ Lecture**

Seront considérés comme positif + ; les tubes présentant à la fois :

- ✓ Un dégagement du gaz (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche).
- ✓ Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu).

Ces deux caractères étant témoins de la fermentation du lactose dans les conditions opératoires décrites.

La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady NPP (voir l'annexe N°3).

**2) Test de confirmation**

Chacun des milieux « positifs » de la première étape est repiqué avec une pipette Pasteur, sur un tube de bouillon lactosé bilié au vert brillant, incubé à 37°C pendant 24 heures et un tube d'un milieu Schubert incubé à 44°C durant 24 heures, permettant d'obtenir ainsi simultanément les NPP de coliformes totaux et d'*E.coli* présumés.

**➤ Lecture**

Seront considérés comme positif + ; les tubes présentant à la fois :

- ✓ Un dégagement du gaz
- ✓ Un anneau rouge ou rose en surface, témoin de la production d'Indole par *Escherichia Coli* après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kowacs (voir l'annexe N°2).
- ✓ La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady NPP (voir l'annexe N°3).
- ✓ en tenant compte du fait qu'*Escherichia coli* est à la fois producteur de gaz et d'indole à 44 °C.
- ✓ Utilisation d'un seul tube confirmatif (Dénombrement d'*E.coli*).

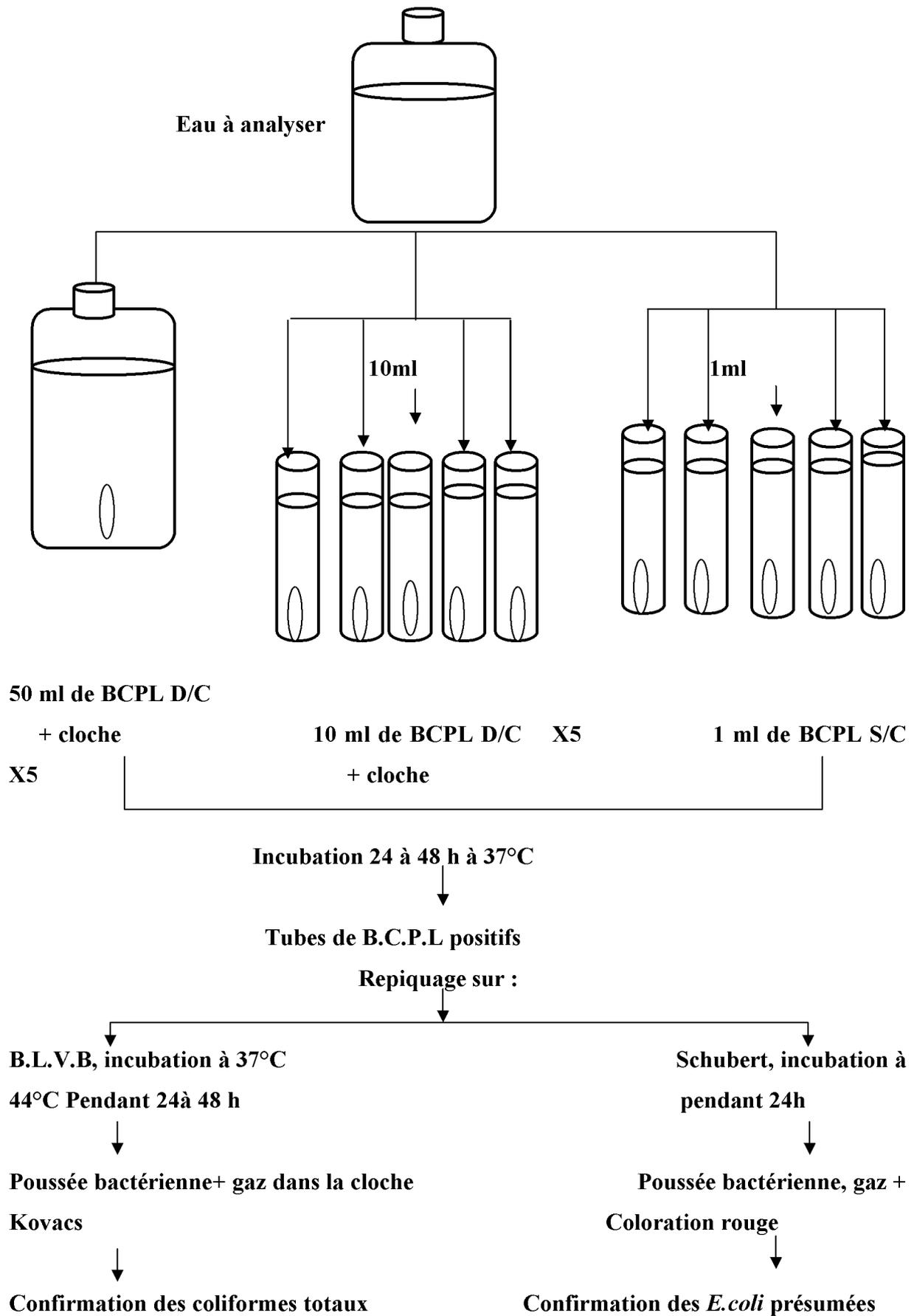


Figure 8 : Dénombrement des coliformes et des *E.coli* sur milieu liquide

### 4-2-3 Recherche des Streptocoques fécaux (NF V 08-051)

#### a) Méthode par filtration sur membrane

##### ➤ Principe

Le dénombrement des streptocoques fécaux est basé sur la filtration d'un volume donné contenant d'échantillon d'eau à travers une membrane filtrante, la membrane est placée sur un milieu sélectif de l'azoture de sodium (destiné à inhiber la croissance des bactéries gram négatives) et du chlorure de triphényl-2, 3,5 tétrazolium comme indicateur incolore, réduit en rouge par les streptocoques fécaux.

Après incubation, toutes les colonies développées qui présentent une couleur rouge, marron ou rose, soit en leur centre soit à leur périphérie, sont dénombrées comme streptocoques fécaux.

##### ➤ Milieu de culture : Slanetz

##### ➤ Mode opératoire

- Filtrer un volume adéquat d'eau à analyser (100 ml)
- Placer la membrane filtrante sur la gélose précitée.
- Incuber les à  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  pendant  $44 \pm 4$  heures

##### ➤ Dénombrement

Après incubation, dénombrer toutes colonies apparues présentant une coloration rouge, marron ou rose, soit en leur centre soit à leur périphérie. Considérer ces colonies comme streptocoques fécaux présumés.

#### b) Méthode de dénombrement sur milieu liquide

##### ➤ Milieux de culture

- Milieu d'inoculation : Bouillon glucosé à l'acide de sodium (Rothe).
- Milieu de confirmation : Litsky (E.V.A).

##### ➤ Mode opératoire

La recherche et le dénombrement des streptocoques dans les eaux, se fait en deux étapes consécutives :

- Le test de présomption : réservé à la recherche présomptive des streptocoques.
- Le test de confirmation : réservé à la confirmation réelle des streptocoques

### ➤ Test présomptif

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :

- 50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu Rothe D/C.
  - 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe D/C
  - 5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe S/C
- Bien mélanger le milieu et l'inoculum.  
L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

### ➤ Lecture

Seront considérés comme positif, les tubes présentant à la fois

- ✓ Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu pendant cette période est présumé contenir un streptocoque fécal.
- ✓ La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP.

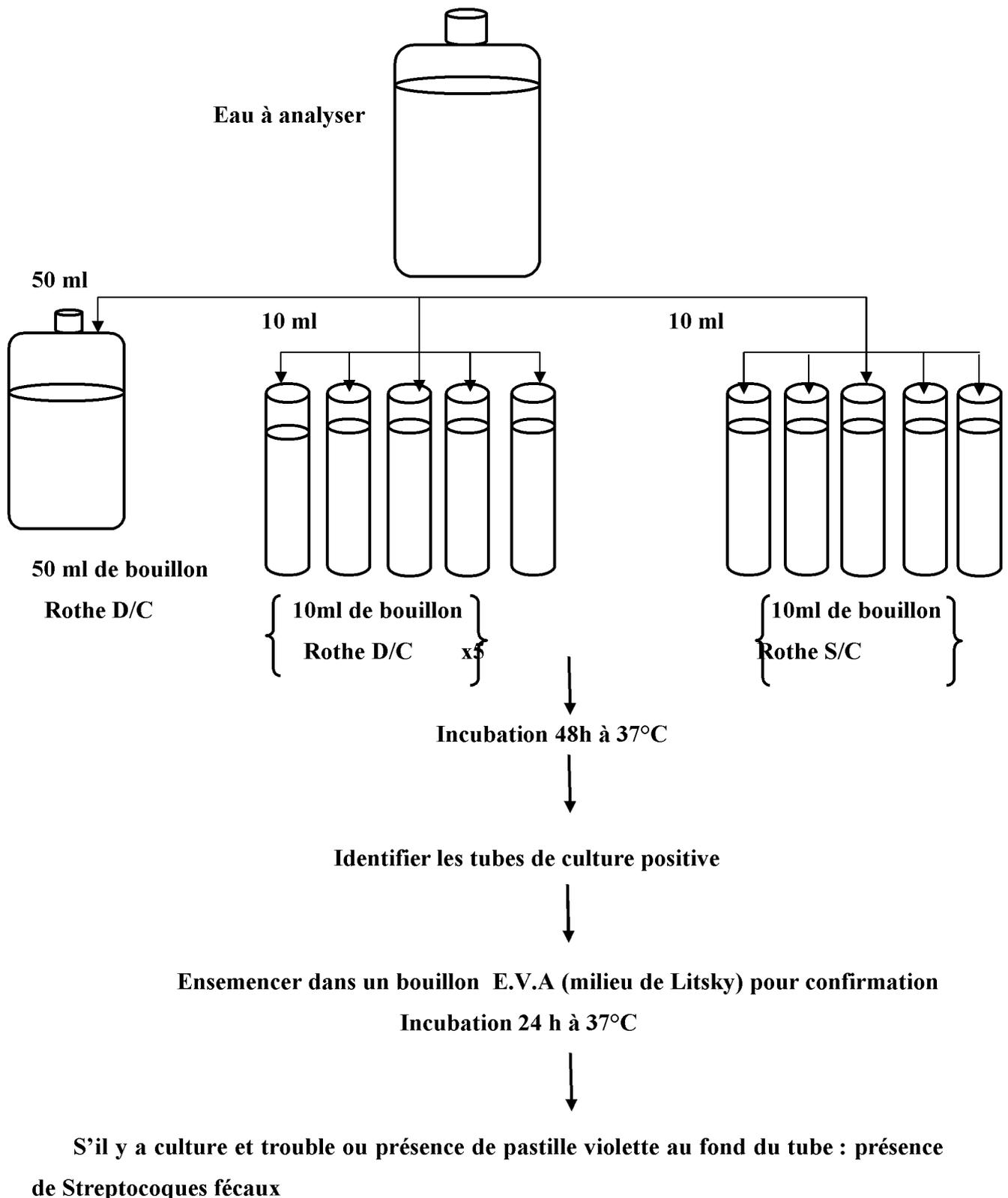
### ➤ Test de confirmation

Le test de confirmation est basé sur la confirmation des Streptocoque fécaux éventuellement présents dans le test de présomption. Les tubes de ROTHE positifs, après l'agitation, prélever de chacun d'eux quelques gouttes à l'aide d'une pipette Pasteur donc faire l'objet d'un repiquage dans un tube contenant le milieu LITSKY EVA (voir l'annexe N°2) (figure N°9) : Bien mélanger le milieu et l'inoculum et l'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures.

### ➤ Lecture

Seront considérés comme positif, les tubes présentant à la fois :

- ✓ Un trouble microbien.
- ✓ Une pastille violette (blanchâtre) au fond des tubes.
- ✓ La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP (voir l'annexe N°3), le nombre de streptocoque fécaux sont par 100 ml de l'eau analysé.



**Figure 9 :** Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

#### 4-2-4- Recherche et dénombrement des *Clostridium* Sulfito-Réducteurs

##### ➤ Principe

Cette méthode consiste en la recherche et le dénombrement des spores des bactéries anaérobies sulfito-réductrices et de *Clostridium* sulfito-réducteurs dans les eaux destinées à la consommation humaine, par incorporation en gélose en tubes profonds.

##### ➤ Milieu de culture et réactifs

- Gélose viande- foie
- Solution de sulfite de sodium
- Solution d'alun de fer

##### ➤ Mode opératoire

A partir de l'eau à analyser :

- Transférer environ 25 ml dans un tube stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 75°C pendant 15 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des bactéries anaérobies sulfito-réductrices éventuellement présentes. Un autre flacon rempli d'une autre eau servira de témoin de température.
- Après chauffage, refroidir immédiatement le flacon destiné à l'analyse, sous l'eau du robinet.
- Répartir ensuite le contenu de ce tube dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5 ml par tube.
- Ajouter environ 18 à 20 ml de gélose Tryptose Sulfite Cyclosérine ou Tryptose Sulfite Néomycine ou encore gélose Viande Foie, fondue puis refroidie à  $47 \pm 1^\circ\text{C}$  additionnée de leurs additifs spécifiques.
- Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant d'introduire des bulles d'air et de l'oxygène.
- Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes environ, puis incuber à :
  - $44 \pm 4^\circ\text{C}$ , pendant  $20 \pm 4$  heures, dans le cas de la gélose TSC ou TSN.
  - $36 \pm 2^\circ\text{C}$ , pendant  $44 \pm 4$  heures, dans le cas de la gélose Viande Foie.

##### ➤ Lecture et interprétation

- La première lecture doit absolument être faite après 16 heures car très souvent les spores des bactéries anaérobies sulfito-réductrices sont envahissantes auquel on se trouvera en face d'un tube complètement noir rendant ainsi l'interprétation difficile voir impossible et l'analyse sera à refaire en utilisant des dilutions décimales de  $10^{-1}$  voir  $10^{-2}$ , la deuxième lecture se fera après 24 heures et la troisième et dernière après  $44 \pm 4$  heures.
- Dénombrer toute colonie noire de 0,5 mm de diamètre, ayant poussée en masse et rapporter le nombre total des colonies dans les 4 tubes dans 20 ml d'eau à analyser.

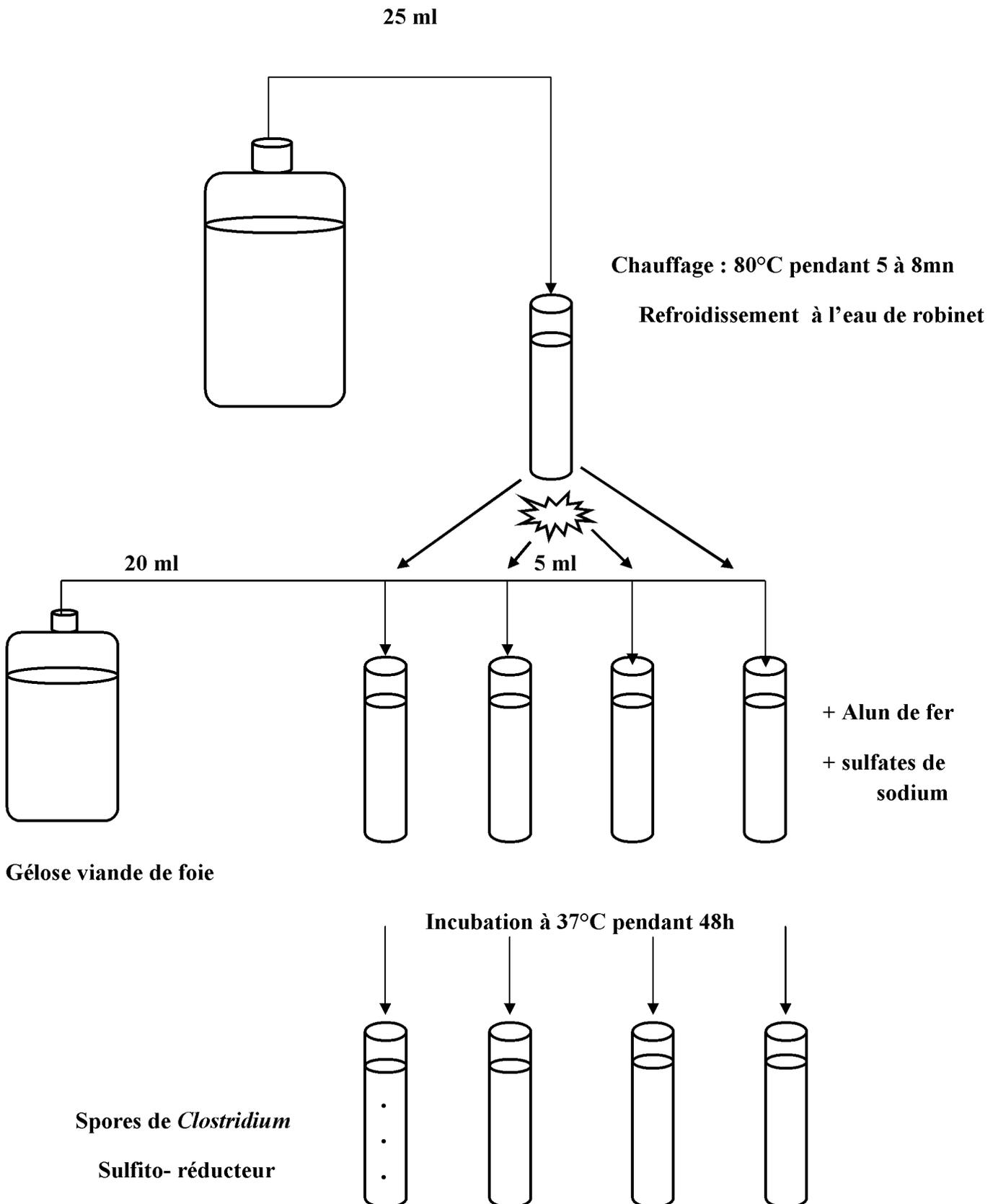


Figure 10 : Recherche et dénombrement des *Clostridium* sulfito-réducteurs

## Chapitre VI : RESULTATS ET DISCUSSION

### I. Interprétation des résultats physico-chimiques

#### I.1. pH

##### a) Résultats

Tableau VI : Résultats de la mesure du pH

Echantillon	Valeur expérimentale	JORA (N°27 du 26 avril 2006)	OMS
Eau de consommation de la région de Boghni	7,79	6,5 - 8,5	6,5 – 8,5
Lalla Khedidja	7,56		
Sidi-Rached	7,46		

##### b) Discussions

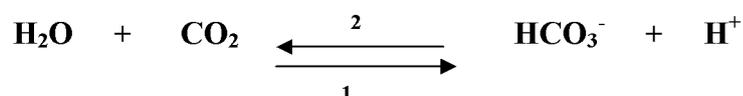
Les valeurs obtenues sont comprises entre 7,46 et 7,79 elles se situent dans les limites requises pour les eaux de consommations.

Les eaux analysées (minérale, de source, de consommation) présentent un pH assez stable (6,5 – 8,5).

Cette stabilité est due à la présence de l'acide carbonique dans l'eau qui confère à celle-ci des propriétés analogues à celles des solutions tampons (DEFRANCESHI, 1996).

Notons qu'il y a des différences de 0,07 à 0,34 entre les valeurs retrouvées et celles indiquées sur l'étiquette de l'emballage, notamment pour l'eau de source Sidi-Rached et l'eau minérale Lalla Khedidja.

Cela pourrait être lié à la température d'analyse, car toute augmentation de température entraîne une diminution du CO<sub>2</sub> de l'eau par phénomène de dégazage, par conséquent une augmentation du pH par suite du déplacement de l'équilibre dans le sens 2, selon la réaction suivante :



## I.2. Conductivité

### a) Résultats

Tableau VII : Teneurs en conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

Echantillon	Valeur expérimentale	JORA (N°27 du 26 avril 2006)	OMS
Eau de consommation de la région de Boghni	1181	2800	2800
Lalla Khedidja	525		
Sidi-Rached	693		

### b) Discussions

La conductivité électrolytique est la capacité d'une solution à conduire le courant électrique par les ions. Elle présente l'intérêt de déceler les variations de composition pouvant survenir du fait d'infiltration d'eaux superficielles, de minéralisations différentes et ainsi souvent polluées. Selon TARDAT (1992), la conductivité augmente beaucoup, lorsque la température s'accroît. Ce phénomène s'explique par le fait que la mobilité des ions augmente à cause de la diminution de la viscosité.

La conductivité des eaux analysées varient entre 525 et 1181  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Les valeurs obtenues ne dépassent pas les normes fixées par l'OMS et le JORA.

On remarque une importante élévation de la conductivité dans l'eau de consommation de la région de Boghni par rapport au deux autres eaux analysées, qui pourrait s'expliquer par la présence d'ions libérés par la corrosion des conduites ou à l'élévation de la teneur de quelques ions tels que les chlorures provenant du traitement par le chlore.

### I.3. Turbidité

#### a) Résultats

Tableau VIII : Les valeurs de la turbidité (NTU)

Echantillon	Valeur expérimentale	JORA (N°27 du 26 avril 2006)	OMS
Eau de consommation de la région de Boghni	0,33	2	-
Lalla Khedidja	0,01		
Sidi-Rached	0,30		

#### b) Discussions

La turbidité est due à la présence de matières en suspension entraînées dans les eaux (GREGORIO et *al*, 2007).

Les eaux analysées ont une turbidité assez faible qui ne dépasse pas la norme fixée par le JORA N°27 du 26 avril 2006.

La valeur enregistrée au niveau de l'eau de consommation de la région de Boghni, permet de penser au succès de la désinfection.

Les deux autres eaux analysées (minérale et de source) se caractérisent par une turbidité faible, cela impliquerait que les sources sont bien protégées des eaux de ruissellement.

### I.4. Chlorures (Cl)

#### a) Résultats

Tableau IX : Teneurs en chlorures (mg/l)

Echantillon	Valeur expérimentale	JORA (N°27 de 2006)	OMS
Eau de consommation de la région de Boghni	180,46	200 à 500	200
Lalla Khedidja	14,91		
Sidi-Rached	49,07		

## b) Discussions

Les teneurs en chlorures obtenues sont conformes aux normes, elles varient entre 14,91 et 180,46 mg/l.

On remarque que l'eau minérale naturelle Lalla Khedidja renferme une faible quantité en chlorures par rapport aux autres eaux analysées, cela pourrait s'expliquer par le parcours de cette eau, qui serait réduit, et un séjour dans la nappe, d'une courte durée, ce qui ne permet pas par conséquent à cette eau de dissoudre davantage de chlorures.

La teneur élevée enregistrée pour l'eau de consommation de la région de Boghni qui est une eau traitée, pourrait s'expliquer par l'adjonction de l'hypochlorite de sodium pour la désinfection de l'eau, et cette teneur dépend du temps de contact de l'eau avec le désinfectant au moment du traitement.

## I.5. Dureté totale (TH)

### a) Résultats

Tableau X : Résultats de la dureté totale exprimée en mg/l de CaCO<sub>3</sub>

Echantillon	Valeur expérimentale	JORA (N°27 de 2006)	OMS
Eau de consommation de la région de Boghni	434	100 à 500	500
Lalla Khedidja	145		
Sidi-Rached	352		

## b) Discussions

Les ions de calcium (Ca<sup>2+</sup>) et de magnésium (Mg<sup>2+</sup>) sont responsables de la dureté de l'eau (RODIER et coll, 2005).

Selon la classification de TARDAT (Tableau XII), toutes les eaux analysées sont de nature très dure, à l'exception de l'eau minérale naturelle «Lalla Khedidja» qui est classée comme eau dure, car son parcours est assez court. Cependant elles restent tout à fait conformes aux normes qui limitent la concentration en CaCO<sub>3</sub> à 500mg/l.

Par contre en ce qui concerne l'eau de source et l'eau de consommation, les résultats nous indiquent qu'il s'agit d'eau très dure, cela pourrait s'expliquer, par la nature du sol de la nappe que traverse ces eaux (calcaireux et gypseux). D'autres paramètres peuvent également influencer, tels que la température et la pluviométrie qui peuvent favoriser la précipitation et la dissolution de certains sels.

Tableau XI : Qualité d'une eau selon la dureté (TARDAT, 1992)

Qualité de l'eau	Dureté totale en mg/l de CaCO <sub>3</sub>
Eau douce	<60
Eau légèrement dure	60 - 120
Eau dure	120 - 180
Eau très dure	>180
Valeur optimale	≈ 80

## I.6. Calcium (Ca<sup>2+</sup>)

### a) Résultats

Tableau XII : Résultats du dosage du calcium exprimé en mg/l

Echantillon	Valeur expérimentale	JORA (N°27 de 2006)	OMS
Eau de consommation de la région de Boghni	108,22	75 - 200	200
Lalla Khedidja	46		
Sidi-Rached	132,26		

### b) Discussions

Le calcium provient de la dissolution du carbonate de calcium contenue dans la roche traversée par les eaux de la nappe (DEFRANCESHI, 1996).

Selon la législation européenne, une eau est dite calcique lorsque son taux de Ca<sup>2+</sup> est supérieur à 150 mg/l, ce qui n'est pas le cas des eaux analysées.

L'eau minérale «Lalla Khedidja» présente une teneur relativement moyenne en calcium, contrairement aux teneurs auxquelles on devrait s'attendre de part la nature caractéristique de la chaîne montagneuse Djurdjura qui présente des roches riches en calcaire (roches carbonatées). La déficience en calcium pourrait s'expliquer par l'écoulement rapide des eaux, ce qui limiterait le temps de contact avec les roches.

L'eau de source «Sidi-Rached» présente une teneur assez élevée par rapport à l'eau minérale analysée, ceci peut indiquer que la composition de cette eau en calcium est sujette

aux variations climatiques entre autre, la chute des pluies et neige ainsi que la géologie des terrains traversés.

Notons qu'il y a des différences de 2,12 à 7 mg/l entre les valeurs retrouvées et celles indiquées sur l'étiquette de l'emballage, notamment pour l'eau de source Sidi-Rached et l'eau minérale Lalla Khedidja.

La valeur élevée enregistrée dans l'eau de consommation de la région de Boghni est due à l'utilisation de l'hypochlorite de calcium comme désinfectant, qui est à l'origine de l'augmentation de la teneur en calcium dans cette eau traitée.

## I.7. Magnésium

### a) Résultats

Tableau XIII : Résultats du dosage du magnésium exprimés en mg/l

Echantillon	Valeur expérimentale	JORA (N°27 de 2006)	OMS
Eau de consommation de la région de Boghni	28,87	150	NG = 30
Lalla Khedidja	8,4		
Sidi-Rached	5,35		

### b) Discussions

Les teneurs en magnésium répondent aux normes requises pour les eaux de consommation. On constate une augmentation de la teneur en magnésium dans l'eau de la région de Boghni, ceci serait dû aux précipitations qui entraînent le lessivage des terrains traversés qui sont de nature calcaire.

Concernant l'eau minérale «Lalla Khedidja» et l'eau de source «Sidi-Rached», les valeurs indiquées sur l'étiquette présentent des légères différences par rapport à celles retrouvées. Ce qui pourrait être due aux erreurs de manipulation. Sachant que le magnésium est calculé à partir de la dureté totale et de la dureté calcique lesquelles sont dosées par méthode volumétrique ce qui accumule le taux d'erreur du TH et du calcium.

## I.8. Titre alcalimétrique complet (TAC)

### a) Résultats

Tableau XIV : Teneur en TAC en (mg/l de CaCO<sub>3</sub>)

Echantillon	Valeur expérimentale	JORA (N°27 de 2006)	OMS
Eau de consommation de la région de Boghni	162,8	500	-
Lalla Khedidja	190		
Sidi-Rached	270		

### b) Discussions

Le titre alcalimétrique (TA) est nul pour les trois eaux analysées, car le pH est inférieur à 8,3. D'où absence de bases fortes (carbonate et alcalins libres).

Les teneurs en TAC obtenues sont conformes à la norme fixée par le **JORA**, elles varient entre 162 et 270 mg/l. Cela s'expliquerait par une stabilité en quantité des sels dessous (carbonates et hydrogénocarbonates provenant de la composition des terrains traversés).

## I.9. Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

### a) Résultats

Tableau XV : Les teneurs en bicarbonates (mg/l)

Echantillon	Valeur expérimentale	JORA (N°27 de 2006)	OMS
Eau de consommation de la région de Boghni	198,62	-	-
Lalla Khedidja	170,8		
Sidi-Rached	329,4		

## b) Discussions

Les bicarbonates proviennent de la dissolution des carbonates de calcium et de magnésium en présence du CO<sub>2</sub> dans l'eau.

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

D'après les résultats obtenus, on remarque que les teneurs en bicarbonates sont importantes. Elles varient entre 170 et 330 mg/l, leur présence est due principalement à l'action du gaz carbonique atmosphérique en présence des sels de carbonates de calcium et magnésium dans les eaux analysées.

### I.10. Fer (Fe<sup>2+</sup>)

#### a) Résultats

Tableau XVI : Teneur en fer en (mg/l)

Echantillon	Valeur expérimentale	JORA (N°27 de 2006)	OMS
Eau de consommation de la région de Boghni	0,04	0,3	0,3
Lalla Khedidja	-		
Sidi-Rached	0,04		

## b) Discussions

L'excès de fer ne présente pas une toxicité particulière pour l'organisme, mais peut provoquer des problèmes de coloration de l'eau, et le goût pourrait être défavorablement influencé.

On constate, que toutes les valeurs enregistrées au cours de nos analyses répondent aux normes. On a enregistré des teneurs faibles en fer, ce qui montre son absence dans les terrains traversés.

Notons qu'on n'a pas effectué le dosage du fer dans l'eau minérale naturelle «Lalla Khedidja».

### I.11. Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

Toutes les analyses ont relevé l'absence totale de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. La faible teneur en matière organique des trois eaux analysées ainsi que l'absence des nitrites, tout ceci conjuguées aux conditions aérobie du milieu laisse supposer une absence de la décomposition de la matière organique par les bactéries dites décomposeurs.

### I.12. Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

Elles peuvent se rencontrer dans les eaux mais généralement à doses faibles car l'azote de l'ion nitrite est dans un état d'oxydation relativement instable (OMS, 2000).

Toutes les eaux analysées sont exemptes de nitrites. Cette absence peut être due à l'oxydation des ions nitrites en nitrates mais ceci n'est pas valable pour toutes les eaux parce que certaines d'entre elles ne contiennent même pas de nitrates alors il peut y'avoir absence tout court.

En principe, une eau contenant des nitrites n'est pas potable.

### I.13. Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

#### a) Résultats

Tableau XVII : Teneurs en Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) exprimés en mg/l

Echantillon	Valeur expérimentale	JORA (N°27 de 2006)	OMS
Eau de consommation de la région de Boghni	4,86	50	50
Lalla Khedidja	2,1		
Sidi-Rached	20,80		

#### b) Discussions

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels (SAMAKE, 2002).

Globalement les résultats obtenus sont dans les normes, mais la valeur enregistrée pour l'eau de source «Sidi-Rached» est élevée si l'on considère le problème qu'elles provoquent sur la santé. Cela pourrait s'expliquer par la présence de terrains agricole au voisinage de la source et l'abus de produits ménagers et sanitaires.

## I.14. Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

### a) Résultats

Tableau XVIII : Résultats du dosage des sulfates exprimés en mg/l

Echantillon	Valeur expérimentale	JORA (N°27 de 2006)	OMS
Eau de consommation de la région de Boghni	142	200 - 400	250
Lalla Khedidja	3		
Sidi-Rached	99,2		

### b) Discussions

Les sulfates sont des composants d'origine hydrogéologie, mais l'accroissement de leur teneur peut être préoccupante (COURT, 1986). La plupart des sulfates sont hydrosolubles. La teneur en sulfate dans l'eau est très variable. Elle dépend des terrains traversés par les eaux et les matières organiques de rejets urbains (RODIER, 1996).

Les résultats d'analyse montrent que l'eau minérale «Lalla Khedidja» présente une teneur en sulfate inférieure aux valeurs indiquées par les normes, ceci peut être dû à la nature des terrains traversés et par la proximité du Djurdjura qui limite le temps de contact eau-roche.

En ce qui concerne l'eau de source «Sidi-Rached», elle présente une teneur beaucoup plus élevée en la comparant à l'eau minérale «Lalla Khedidja» avec une valeur de 99,2 mg/l, car elle parcourt une distance assez longue, ce qui induit un temps de contact assez long avec les roches.

Dans ce cas aussi, on peut constater des différences entre les concentrations retrouvées et celles mentionnées sur l'emballage.

L'eau de consommation de la région de «Boghni» présente la plus grande valeur par rapport aux deux autres eaux analysées, et ceci en raison de l'adjonction de sulfate d'alumine  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  comme coagulant.

## I.15. Sodium ( $\text{Na}^{2+}$ )

### a) Résultats

Tableau XIX : Teneur en sodium exprimé en mg/l

Echantillon	Valeur expérimentale	JORA (N°27 de 2006)	OMS
Eau de consommation de la région de Boghni	80	200	200
Lalla Khedidja	4,59		
Sidi-Rached	25		

### b) Discussions

Le sodium peut avoir une origine d'ordre géologique, libéré par certaines formations, comme l'argile (YAKOUB, 1996).

Les concentrations en sodium des trois eaux analysées, sont nettement inférieures à la valeur maximale admissible selon les normes.

Les résultats obtenus montrent, que l'eau minérale «Lalla Khedidja» est faiblement chargée en sodium, ceci pourrait s'expliquer par l'absence de sel au niveau des terrains traversés par ces eaux, ce qui la recommande pour des régimes hypo sodique pour les hypertendus.

L'eau de source «Sidi-Rached» est plus riche en sodium par rapport à l'eau minérale analysée, ceci n'écarterait pas l'éventuelle existence d'un gisement de sel traversé par cette eau.

L'augmentation de la teneur en sodium dans l'eau de consommation est due à l'utilisation de l'hypochlorite de sodium comme désinfectant.

## I.16. Potassium ( $K^+$ )

### a) Résultats

Tableau XX : Résultats du dosage du Potassium exprimés en mg/l

Echantillon	Valeur expérimentale	JORA (N°27 de 2006)	OMS
Eau de consommation de la région de Boghni	3	20	12
Lalla Khedidja	0,3		
Sidi-Rached	2		

### b) Discussions

Les concentrations obtenues par l'analyse sont dans les normes, mais elles restent largement inférieures à celles du sodium.

L'eau minérale «Lalla Khedidja» présente la plus faible teneur en potassium, cela veut dire que la source est bien protégée.

## I.17. Phosphates ( $PO_4^{3-}$ )

Tous les résultats de nos analyses montrent une absence totale des phosphates sauf pour l'eau de consommation, où on a enregistré une teneur très négligeable de 0,01 mg/l, assez loin de la norme qui est de 0,5 mg/l.

Vu que les phosphates est un paramètre de pollution, ces résultats nous renseigne sur l'absence de toute pollution organique significative ainsi que la protection des deux sources d'eaux analysées.

## I.18. Résidu sec à 180°C

### a) Résultats

Tableau XXI : Teneurs en résidu sec en mg/l

Echantillon	Valeur expérimentale	JORA (N°27 de 2006)	OMS
Eau de consommation de la région de Boghni	627,71	1500 - 2000	500 - 1500
Lalla Khedidja	147		
Sidi-Rached	448,37		

### b) Discussions

Les résultats obtenus sont inférieurs aux normes utilisées. La valeur maximale enregistrée pour l'eau de consommation de la région de Boghni, est due à une forte minéralisation (teneur importante en matières dissoutes et des matières en suspension). Les valeurs minimales (Lalla Khedidja et Sidi-Rached), montrent qu'en ces points l'eau est faiblement minéralisée et subissant moins d'infiltration par les eaux de surface.

Tableau XXII : Récapitulatif des résultats d'analyses physico-chimiques.

	Paramètres	Eau de consommation de la région de Boghni	Lalla Khedidja	Sidi-Rached	Normes	
					JORA (N°27 de 2006)	OMS
Paramètre chimiques	pH	7,79	7,56	7,46	6,5- 8,5	6,5- 8,5
	Conductivité	1181	525	693	2800	2800
	Turbidité	0,33	0,01	0,3	2	-
	Résidu sec à 180°C	627,71	147	448,37	1500-2000	500-1500
Minéralisation globale	Chlorure	180,46	14,91	49,07	200à500	200
	Dureté totale	434	145	352	100à500	500
	Calcium	108,22	46	132,26	75-200	200
	Magnésium	28,87	8,4	5,35	150	NG : 30
	Bicarbonate	198,62	170,8	329,4	-	-
	Sulfate	142	3	99,2	200-400	250
	Sodium	80	4,59	25	200	200
	Potassium	3	0,3	2	20	12
TAC	162,8	190	270	500	-	
Pollution	Ammonium	00	00	00	0,5	-
	Nitrates	00	00	00	50	50
	Nitrites	00	00	00	<0,1	-
	Phosphates	0,01	00	00	0,5	0,5
Indésirable	Fer	0,04	-	0,04	0,3	0,3

## II. Interprétation des résultats microbiologiques

**Tableau XXIII :** Tableau récapitulatif de la qualité bactériologique des différentes eaux analysées

Origine des eaux	Contrôle
Eau de consommation de la région de Boghni	Acceptable
Lalla Khedidja	Satisfaisante
Sidi-Rached	Satisfaisante

D'après le tableau XXIII, on remarque que les résultats d'analyses effectuées sur les trois eaux (de consommation, minérale, de source) répondent aux normes, car tous les contrôles sont satisfaisants. Ce qui signifie que la qualité bactériologique de ces eaux est saine.

**Tableau XXIV :** Récapitulatif des résultats d'analyses microbiologiques

Germes recherchés (UFC/mg)		Eau de consommation de la région de Boghni	Lalla Khedidja	Sidi-Rached	Normes	
					NA	OMS
Germes totaux (c/ml)	22°C	35	absence	absence	NG : 100	/
	37°C	4	absence	absence	NG : 10	/
Coliformes totaux/100 ml		absence	absence	absence	CMA : 0	<10
<i>E.coli</i> / 100 ml		absence	absence	absence	CMA : 0	absence
Streptocoques fécaux/ 100 ml		absence	absence	absence	CMA : 0	absence
CSR/25 ml		absence	absence	absence	CMA : 0	absence

**CSR :** *Clostridium* sulfito-réducteur. **CMA :** Concentration Maximale Admissible.

Selon les résultats obtenus, nous constatons d'après le tableau XXIV, l'absence de toutes formes bactériennes de contamination fécale pour les trois eaux analysées. En effet, toutes les analyses montrent l'absence totale d'*E. coli*, coliformes totaux, streptocoques fécaux et de *Clostridium* sulfito réducteur. Ceci démontre que ces eaux semblent être à l'abri de toute pollution fécale.

La bonne qualité bactériologique des eaux constitue un bon signe de l'efficacité de filtration naturelle (ATTEIA, 2005), donc dans notre cas, le sol de la source de Lalla Khedidja et celui de la source Sidi-Rached présente une bonne filtration.

Les résultats d'analyses bactériologiques de l'eau de consommation de la région de Boghni ont mis en évidence la présence de germes totaux, ce qui supposerait que cette eau est initialement plus chargée.

Malheureusement, les conséquences de la prolifération de la flore totale du point de vue de la santé publique sont encore mal connues, en particulier pour les personnes vulnérables comme les bébés et les enfants, les femmes enceintes, les personnes dont le système immunitaire est affaibli et les personnes âgées. En ce qui concerne les bébés, l'eau de consommation n'étant pas stérile, il est nécessaire de la désinfecter, par exemple en la faisant bouillir pendant une minute avant de l'utiliser pour les préparations des nourrissons (OMS, 2000).

En conclusion, du point de vue bactériologique, les eaux embouteillées commercialisées sont de meilleure qualité que les eaux du robinet.

Au cours de notre étude, nous nous sommes focalisés sur la comparaison de la qualité physico-chimique et bactériologique de trois eaux différentes, dont deux eaux embouteillées commercialisées sous la dénomination d'eau minérale naturelle «Lalla Khedidja» et l'eau de source «Sidi-Rached», ainsi qu'une eau de robinet qui alimente la région de Boghni.

L'examen analytique de l'eau minérale naturelle et de l'eau de source a montré qu'elles sont de bonne qualité du point de vue physico-chimique (pH, turbidité, alcalinité, dureté...etc.), et aussi de bonne qualité du point de vue bactériologique (absence de coliformes, *Escherichia. coli* et des streptocoques fécaux). Ces deux eaux présentent également une faible minéralisation, ceci est en relation directe avec la nature des terrains traversés.

Au plan physico-chimique, l'absence des nitrites, de l'ammonium et des faibles teneurs en nitrates accroissent la confiance du consommateur quant à la qualité chimique de ces eaux. Les teneurs faibles en espèces chimiques qui caractérisent ces eaux permettent leur consommation par tous sans aucune contre-indication.

Par ailleurs, l'eau de robinet présente une qualité bactériologique médiocre. En effet, les résultats d'analyse indiquent qu'elle renferme une certaine charge en germes totaux, mais qui restent toujours inférieur aux valeurs fixés par l'OMS et le JORA. Ceci peut être dû à la pratique des élevages d'animaux qui vivent et qui pâturent à proximité du barrage «Koudiat Acerdoune».

Au terme de notre étude, nous pouvons conclure par certaines recommandations que nous jugeons utile pour l'amélioration de la qualité de cette eau destinée à la consommation humaine à savoir :

- Mise en place d'un système de surveillance de la qualité de l'eau rigoureux et efficace.
- Contrôle régulier de l'eau par les laboratoires spécialisés.
- Assurer une gestion rationnelle de l'entretien de la station d'épuration existante.
- De réaliser de nouvelles stations d'épuration appropriées.
- Tous les châteaux d'eau doivent être vidangés et désinfectés au moins une fois par an.
- L'hypochlorite de sodium utilisé doit être stocké à l'abri de la lumière dans des récipients étanches et hermétiquement fermés afin de préserver le degré chlorométrique de cette solution et donc son efficacité.
- La pompe de chloration doit être contrôlée en permanence afin de maintenir la chloration en continu, ceci pour sauvegarder un taux de chlore résiduel constant dans les conduites d'eau.
- Sensibiliser la population à désinfecter l'eau de barrage en la faisant bouillir quelques minutes avant de l'utilisée.
- L'ADE doit fournir un rôle supplémentaire à fin de garantir la qualité sanitaire des eaux distribuer.

- **ABRAHAM J. (1999).** In L'eau : Usage et polluants. Ed INRA. Paris. P. 51, 53, 65-68.
- **ASTEE (2005).** Les stations de pompage d'eau. 6<sup>ème</sup> Ed. Lavoisier-Tec. Et Doc. Paris.
- **BARADUC X. (2004).** Education pour la santé pour mieux vivre. L'eau à la bouche. Ed. CFES. P.1.
- **BEAUDRY J-P., ET TARDAT H-M. (1984).** Chimie des eaux. Ed. Le Griffon D'argile Inc., Québec
- **BOULANGE M, TALANCE N, HARTEMANN P (1992).** Les eaux conditionnées. Ed. Lavoisier Tes et Doc, Paris.
- **BOURGEOIS C.M et LEVEAU J.L. (1980).** Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries alimentaires. Volume 3 : le Contrôle Microbiologique. 2<sup>ème</sup> Ed. Lavoisier - Tec. Et Doc. P 243-248
- **BOUZIANI M. (2000).** L'eau : De la pénurie aux maladies. Ed Ibn Khaldoun. P.31, 75, 96, 97, 148, 151, 152, 166, 167.
- **C.I.Eau, Centre d'Information sur l'Eau (2004).** Guide des ressources sur le thème l'eau. Document pédagogique sur l'eau potable. P. 2, 5, 8.
- **CAMILLE DELARRAS, (2003).** Surveillance Sanitaire et Microbiologique des Eaux : Réglementation, Prélèvement, Analyse P 103,215, 97 ,98.
- **CARDOT C. (1999).** Génie de l'environnement : les traitements de l'eau. Procédés physicochimiques et biologiques : Cours et problèmes résolus. Ed. Ellipse.
- **CEE Directive Européenne (1980).** N° 80-777 du 15 juillet 1980 relative au rapprochement des législations des états membres concernant l'exploitation et la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles.
- **CHAMPIAT et LARPENT (1994).** Biologie des eaux : Méthodes et techniques. Ed. Masson- Paris- Milan- Barcelone. P. 3.
- **CHEFTEL H. et CHEFTEL J-C (1983).** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Volume I. Ed. Lavoisier – Tec & Doc. P. 384, 388.
- **CHEVAL A. (1983).** La désinfection des eaux d'alimentation. Ed. Lavoisier, Paris. P. 14, 35- 38, 46, 48, 51.
- **CHOMPOUX et TOUTAN (1988).** Eléments d'hydrologie. Ed. Le Griffon d'argile.
- **COURT L. (1986).** Le coût Economique et sociale de la pollution de l'eau Tome 1 : les Micropolluants et la Législation. Ed. Lavoisier – Tec. Et Doc., Paris. P83 ,98-104.
- **Décret Français (1989).** N° 89-369 du 6 juin 1989 relatif aux eaux minérales naturelles et aux eaux potable préemballées.
- **DEFRANCESCHI M. (1996).** L'eau dans tous ses Etats. Ed. Ellipse. Paris. P. 30, 73-100.
- **DEGREMONT (1989).** Mémento technique de l'eau. Tome I. Ed. Lavoisier-Tec & Doc. P. 22-25, 36-39, 245, 910, 911.
- **DEGREMONT (2005).** Mémento technique de l'eau. Tom1.2<sup>ème</sup> Ed. Lavoisier- Tec.et Doc., Cachan. P : 37-38-40-59-60-61-63
- **DEJARDINS R. (1990).** Le traitement de l'eau. 2<sup>ème</sup> Ed. Ecole polytechnique de Montréal.

- **DURIN S. (1986).** L'eau Minérale de Volvic. Thèse de Doctorat en pharmacie Clérmont Ferrand.
- **ECCP. Environnement Canada, Conservation et Protection (1990).** Fiche d'information. N°1. L'eau-cette magicienne de la nature.
- **EMILIE FREDOT. (2005).** Connaissance des aliments : base alimentaire et nutritionnelles de la diététique. Ed. Lavoisier. Tes & Doc. Paris. P : 341, 342, 343, 344, 345, 348, 350.
- **Encyclopédie Encarta (2005).**
- **EVIAN (1997).** L'eau c'est la vie. Ed. Eau Minérale d'Evian.
- **FCE. Formation Continue en Entreprise (ADE) (2003).** Les cahiers techniques de stage VII : Contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'une eau de consommation.
- **FRANCK REJESK. (2002).** Analyse des eaux : aspects réglementaire et technique. Ed. Service Culture. Editions Ressources pour l'Education Nationale. Aquitaine. P : 56, 57, 64, 66, 69, 71, 83, 95, 326.
- **GALZY P Et GUIRAUD J-P.(1998).** L'Analyse Microbiologique dans les Industries Alimentaires. Ed, L'usine.
- **GREGORIO. C, PIERRE-MARIE. B,** Traitement et épuration des eaux industrielles
- **HASLAY C et LECLERC H (1993).** Microbiologie des eaux d'alimentation. Ed. Tec & Doc. P. 198, 262, 263, 275.
- **HILLEL D. (1988).** L'eau et le sol : principe et processus physiques. 2<sup>ème</sup> Ed ACADEMIA Louvain-la-Neuve P : 143.
- **JEAN JACQUE COLLIN. (2004).** Les eaux souterraines : connaissance et gestion. Ed brgm. Paris P17, 18,27-31
- **JEAN RODIER et al. (2005).** L'analyse de l'eau Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer 8<sup>ème</sup> Ed Dunod, Paris P : 189,190, 194, 215, 825,838.
- **KETTAB A. (1992).** Traitement des eaux : Les eaux potable. Ed. Office des Publications Universitaires. P.7, 14, 97, 104, 118.
- **LANOIX J-N et ROY M-L, (1976).** Manuel du technicien Sanitaire. OMS. P 21-32, 46-55.
- **LARGUIER M. et MONTOUT G. (1981).** La protection des distributions d'eau. Ed Eyrolles. P.74, 78.
- **LAURENCE CHERY. (2006).** La qualité des eaux souterraines : -Méthode de caractérisation des états de référence des aquifères. Ed brgm. Paris. P19, 20, 21, 22,23.
- **LEGUB B. (1996).** Le traitement des eaux de surface pour la production d'eau potable. Guide technique. Agence de l'Eau Potable Loir Bretagne. P. 51-53.
- **LOUMI N(1988).** Les paramètres Physicochimique de l'eau Potable. Désinfection de l'eau Potable. Service santé Environnement, INSP P 3, 5, 17, 18,25
- **MABILLOT A. (1986).** Le forage de l'eau : Guide Pratique. Ed. Johnson. Filtration systémis. P 220, 225,335, 340.

- **MASSCHELEIN W-J. (1996).** Processus unitaire du traitement de l'eau potable. Traduit par CHEVOLET. Ed. Tec et Doc, Paris.
- **MRE. Ministère des Ressources en Eau (Algérie) (2003).** «Traitement des eaux de surface» centre de formation aux métiers de l'eau. ADE unité de Tizi-Ouzou.
- **O.I.Eau, Office International de l'Eau (1999).** Centre national de formation aux métiers de l'eau. Eaux souterraines et eau potable.
- **OMS (1998).** Directive de qualité pour l'eau de boisson. 2<sup>ème</sup> édition : Additif au volume I : Recommandations. P.9.
- **OMS (2000).** Directive de qualité pour l'eau de boisson. 2<sup>ème</sup> édition. Volume 2 : Critères d'hygiène et documentation à l'appui. Pages : 92, 93, 124-126, 137, 144, 149, 160, 161, 180, 216, 217, 221, 224, 237, 266, 273-277, 290, 324, 339, 375, 399.
- **PERRIER (1997).** Le tour de la planète en chiffres. Ed. Eaux Minérales. Perrier et Vittel.
- **PISSAUY, CELEVIER et GONZALES (1996).** Revue : Environnement et Technique. N° 160. Octobre 1996.
- polluées: Procédés, Presses Université. Franche-Comté, 2007, 356 p.
- **RAMADE F. (1998).** Dictionnaire Encyclopédique des Sciences de l'eau. Ed. Ediscience International, Paris. P80-125-493-494
- **RAMBAUD A. et DELATTRE J.M. (1992).** In. Les Eaux Conditionnées (Déborah Tampon). Ed. Lavoisier APRIA- Tec & Doc. Pages : 08-26, 35.
- **RODIER J. (1984).** Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Ed. Lavoisier- Tec & Doc. P. 868, 900.
- **RODIER J. (2005).** Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer 8<sup>ème</sup> Edition, Dunod, Paris. Pages : 40-66, 133-134, 341.
- **RODIER J. (2009).** Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Ed. Dunod Paris, 1959. P. 905, 906, 908-910.
- **ROUX M. (1989).** Analyse biologique de l'eau. Ed. Lavoisier Tec. Et Doc., Paris P : 80-93
- **SAMAKE H. (2002).** Thèse analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001.
- **TARDAT (1992).** Chimie des eaux. Ed. Le griffon d'argile. P. 7, 103, 116, 117, 124, 157, 159, 246.

### **Sites web**

1- <http://www.U-picardie.fr/beauchamp/duce/biofilms.pdf>.

2- <http://www.gls.fr> (Memotec n°42). Modifications des caractéristiques physico-chimiques et biologiques de l'eau potable dans les réseaux de distribution.

## ANNEXE I

**I. Méthodes d'analyses physico-chimiques****A. Analyses électrochimiques****A.1. Détermination du pH****➤ Etalonnage du pH mètre**

- Allumer le pH mètre
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée
- Prendre dans un petit bêcher, la solution tampon pH = 7
- Régler l'agitation à faible vitesse
- Tremper l'électrode de pH mètre dans la solution tampon pH = 7
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée
- Ré-étalonner de la même manière avec les solutions tampon pH = 9 ou pH = 4
- Puis rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée.

**B. Analyses volumétriques****B.1. Dosage des chlorures «Méthode de MOHR»****➤ Réactifs**

- **Solution de nitrate d'argent 0,01 N**  
Nitrate d'argent.....1,6987 g  
Eau distillé.....1000 ml
- **Solution de chromate de potassium à 10%**  
Chromate de potassium.....10 g  
Eau distillée.....100 ml

**➤ Expression des résultats**

La concentration en chlorure  $C_{Cl^-}$ , exprimée en mg/l est donnée par la formule suivante :

$$C_{Cl^-} = \frac{N \times V \times 35,5}{V (\text{écantillon})}$$

N : normalité d'AgNO<sub>3</sub> = 0,01.

V : volume d'AgNO<sub>3</sub> titrant.

## B.2. Dosage de la dureté totale (TH)

### ➤ Réactifs

- Solution de tampon ammoniacale (pH = 10).
- EDTA, solution titrée, C (Na<sub>2</sub> EDTA) = 10 mmol/l.

### ➤ Expression des résultats

La teneur globale en calcium et en magnésium,  $C_{Ca^{2+}} + Mg^{2+}$ , exprimée en (mg/l) de CaCO<sub>3</sub> est donnée par l'équation :

$$C_{Ca^{2+}} + Mg^{2+} = C_1 \times \frac{V}{V_0} \times A$$

C<sub>1</sub> : concentration exprimée en mmol/l de la solution EDTA.

V : volume en ml de la solution EDTA utilisé pour le titrage.

V<sub>0</sub> : volume en ml de l'échantillon utilisé.

A : masse atomique de CaCO<sub>3</sub> = 100.

## B.3. Dosage du calcium (Ca<sup>2+</sup>)

### ➤ Réactifs

- **Solution d'EDTA (N/50) ou (0,02 N) :**

EDTA.....3,725 g après déshydratation à 80°C pendant 2h.

H<sub>2</sub>O distillée .....1000 ml.

- **Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) (2N) :**

NaOH (pastilles).....80 g.

H<sub>2</sub>O distillée.....1000 ml.

### ➤ Expression des résultats :

La teneur en calcium, exprimée en (mg/l) est donnée par l'équation :

$$C_{Ca^{2+}} = C_1 \times \frac{V}{V_0} \times A$$

C<sub>1</sub> : concentration de l'EDTA en mmol/l.

V : volume en ml de solution d'EDTA utilisé pour le titrage.

V<sub>0</sub> : volume en ml de la prise d'essai.

A : masse atomique du Ca = 40,8.

## B.4. Dosage du magnésium ( $Mg^{2+}$ )

### ➤ Réactifs

- Solution de complexon III ( $Na_2$  EDTA) (0,02 N).
- Solution d'oxalate d'ammonium (50 g/l de  $H_2O$ ).
- Solution tampon ammoniacal (pH = 10).
- Indicateur noir ériochrome (NET).

### ➤ Expression des résultats

La dureté magnésienne est la différence entre la dureté totale et la dureté calcique :

$$C_{Mg}^{2+} = (TH - C_{Ca}^{2+}) \times A$$

(mg/l)                      (mmol/l)

A : masse molaire du Mg = 24,31.

## B.5. Détermination de l'alcalinité

### ➤ Réactifs

- **Solution alcoolique de phénolphtaléine à 0,5 % :**  
Phénolphtaléine.....5 g.  
Alcool éthylique.....500 ml.  
Eau distillée.....500 ml.
- **Solution de méthylorange à 0,50 % :**  
Méthylorange.....0,5 g.  
Eau distillée.....100 ml.

### B.5.1. Détermination de TA

#### ➤ Expression des résultats

Le titre alcalimétrique, exprimé en (mg/l) de  $CaCO_3$  est donné par l'équation suivante :

$$TA = \frac{V \times N \times 50000}{V (\text{échantillon})}$$

N : normalité de l'acide.

### B.5.2. Détermination de TAC

#### ➤ Expression des résultats

Le titre alcalimétrique complet, exprimé en (mg/l) de  $CaCO_3$  est donné par l'équation :

$$TAC = \frac{V' \times N \times 50000}{V (\text{échantillon})}$$

## C. Analyses spectrophotométriques

### C.1. Détermination du fer par la méthode à l'orthophénanthroline

#### ➤ Réactifs

Tous les réactifs sont préparés à partir d'eau distillée exempte de toute trace de fer.

#### - Tampon d'acétate :

Acétate d'ammonium ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ).....40 g.  
Acide acétique cristallisable.....50 ml.  
Eau distillée.....100 ml.

#### - Chlorhydrate d'hydroxylamine :

Chlorhydrate d'hydroxylamine ( $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HO}$ )... 10 g.  
Eau distillée.....100 ml.

#### - Solution de phénanthroline-1,10 :

Phénanthroline-1,10 mono hydratée.....0,42 g.  
Acide chlorhydrique.....2 gouttes.  
Eau distillée.....100 ml.

#### ➤ Expression des résultats

Le spectrophotomètre donne directement la teneur en fer exprimée en mg/l.

### C.2. Dosage de l'ammonium

#### ➤ Réactifs

#### - Réactif coloré :

Salicylate de sodium.....13 g.  
Citrate trisodique.....13 g.  
Sodium nitropentacyanoferrate (III) déshydraté....0,097 g.  
Eau distillée.....100 ml.

Cette solution est stable pendant 2 semaines.

#### - Dichloroisocyanurate de sodium :

Hydroxyde de sodium.....3,2 g.  
Eau distillée.....50 ml.  
Dichloroisocyanurate déshydraté.....0,2 g.  
Eau distillée.....100 ml.

#### ➤ Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en ions ammonium, exprimée en (mg/l).

### C.3. Dosage des nitrites

#### ➤ Réactifs

##### - Solution du réactif mixte :

Sulfanilamide.....	40 g.
Acide phosphorique.....	100 ml.
N-1-Naphtyl éthylène diamine.....	2 g.
H <sub>2</sub> O distillée.....	1000 ml.

##### - Solution étalon :

Nitrite de sodium pur.....	1 g/l.
Eau fraîchement distillée.....	1000 ml.
Chloroforme.....	1 ml.

#### ➤ Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en NO<sub>2</sub><sup>-</sup> exprimée en milligrammes par litre d'eau.

### C.4. Dosage des nitrates

#### ➤ Réactifs

##### - Solution de salicylate de sodium à 0,5 % (renouveler toutes les 24 h) :

Salicylate de sodium.....	0,5 g.
Eau distillée.....	100 ml.

##### - Solution d'hydroxyde de sodium à 30 % :

Hydroxyde de sodium.....	30 g.
Eau distillée.....	100 ml.

##### - Acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentré (d = 1,84).

##### - Tartrate double de sodium et de potassium :

Hydroxyde de sodium (NaOH).....	400 g.
Tartrate de sodium et de potassium.....	60 g.
Eau distillée.....	1000 ml.

Faire dissoudre les sels dans l'eau. Laisser refroidir puis compléter à 1000 ml. (Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène).

##### - Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/l :

Nitrate de potassium anhydre.....	0,722 g.
Eau distillée.....	1000 ml.
Chloroforme.....	1 ml.

##### - Solution fille d'azote d'origine nitrique à 5 mg/l :

Solution mère.....	50 ml.
Eau distillée.....	1000 ml.

➤ **Expression des résultats**

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en (mg/l). Pour obtenir la teneur en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), multiplier le résultat par 4,3.

**C.5. Dosage des sulfates par la méthode néphélométrique**

➤ **Réactifs**

- **Acide chlorhydrique à 10 %.**
- **Chlorure de baryum stabilisé :**

Chlorure de baryum.....	10 g.
Tween 20.....	20 ml.
Eau distillée.....	100 ml.

➤ **Expression des résultats**

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en sulfate exprimée en (mg/l).

**D. Analyses photométriques**

**D.1. Dosage du sodium ( $\text{Na}^+$ ) et du potassium ( $\text{K}^+$ ) par la photométrie de flamme**

➤ **Réactifs**

**a) pour le sodium**

- **Solution étalon de sodium à 1 g/l :**

Chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ ).....	2,54 g.
Eau distillée.....	1000 ml.

A partir de cette solution préparer des solutions standards : 1, 5, 10, 15, 20 mg/l.

**b) pour le potassium**

- **Solution étalon de potassium à 1 g/l :**

Chlorure de potassium ( $\text{KCl}$ ).....	1,907 g.
Eau distillée.....	1000 ml.

A partir de cette solution préparer des solutions standards : 0,5, 1, 2, 5, 10 mg/l.

➤ **Expression des résultats**

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en sodium et en potassium exprimée en (mg/l).

## D.2. Dosage des phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

### ➤ Réactifs

#### - Réactif mixte

#### - Solution A :

Heptamolybdate d'ammonium.....13 g.  
Eau distillée.....100 ml.

#### - Solution B :

Tartrate d'antimoine.....0,35 g.  
Eau distillée.....100 ml.

#### - Solution C :

Acide sulfurique pure.....150 ml.  
Eau distillée.....150 ml.

Mélanger la solution A et B, puis ajouter la solution C et 500 ml d'eau distillée.

#### - Acide ascorbique à 10 % :

Acide ascorbique.....10 g.  
Eau distillée.....100 ml.

#### - Solution mère à 50 mg/l de $\text{PO}_4^{3-}$ .

#### - Solution fille à 2 mg/l de $\text{PO}_4^{3-}$ .

### ➤ Expression des résultats

Tenir compte de la valeur lue pour le témoin et tracer la courbe d'étalonnage.

Les concentrations des échantillons en phosphates sont obtenues à partir de la courbe d'étalonnage, et sont exprimés en (mg/l).

## D. Détermination du résidu sec totale

### ➤ Expression des résultats

$$\text{Résidu sec totale (mg/l)} = (\text{PP} - \text{PV}) 10 \times 1000$$

PP : est le poids plein de la capsule.

PV : est le poids vide de la capsule.

---

---

**ANNEXE II**

**II. Analyses microbiologiques**

➤ **Composition des principaux milieux de culture utilisés**

**1. Gélose tryptone-Glucose à extrait de levure (T.G.E.A)**

Tryptone.....	5 g.
Glucose.....	1 g.
Extrait de levure.....	2,5 g.
Gélose.....	15 g.
Eau distillée.....	1000 ml.

pH = 7

Autoclave : 20 minutes à 120°C.

**2. Bouillon lactosé au pourpre de bromocrésol (B.C.P.L)**

**2.1. A double concentration**

Peptone.....	10 g.
Extrait de viande.....	6 g.
Lactose.....	10 g.
Pourpre de bromocrésol.....	0,05 g.
Eau distillée.....	1000 ml.

pH = 6,9

Autoclave : 20 minutes à 115°C.

**2.2. A simple concentration**

Peptone.....	5 g.
Extrait de viande.....	3 g.
Lactose.....	5 g.
Pourpre de bromocrésol.....	0,025 g.
Eau distillée.....	1000 ml.

pH = 6,9

Autoclave : 20 minutes à 115°C.

### 3. Milieu indol mannitol (Schubert)

Tryptophane.....	0,2 g.
Acide glutamique.....	0,2 g.
Sulfates de magnésium.....	0,7 g.
Sulfate d'ammonium.....	0,4 g.
Citrates de sodium.....	0,5 g.
Chlorures de sodium.....	2 g.
Tryptone oxyde.....	10 g.
Mannitol.....	7,5 g.
Eau distillée.....	500 ml.
Tampon phosphate.....	500 ml.

pH= 7,6

Autoclave : 10 minutes à 115°C.

#### - Préparation tampon phosphate :

Eau distillée.....	500 ml.
Phosphate monosodique.....	1,44 g.
Phosphate dissodique.....	9,21 g.

### 4. Bouillon glucosé à l'azide de sodium (milieu de Rothe)

#### 4.1. A double concentration

Peptone.....	40 g.
Glucose.....	10 g.
Chlorure de sodium.....	10 g.
Phosphate bipotassique.....	5,4 g.
Phosphate monopotassique.....	5,4 g.
Azide de sodium.....	0,4 g.
Eau distillée.....	1000 ml.

pH= 6,8 – 7

Autoclave : 20 minutes à 115°C.

#### **4.2. A simple concentration**

Peptone.....	20 g.
Glucose.....	5 g.
Chlorure de sodium.....	5 g.
Phosphate bipotassique.....	2,7 g.
Phosphate monopotassique.....	2,7 g.
Azide de sodium.....	0,2 g.
Eau distillée.....	1000 ml.

pH= 6,8 – 7

Autoclave : 20 minutes à 115°C.

#### **5. Bouillon glucosé à l'éthyl violet et azide de sodium (E.V.A) ou milieu Litsky**

Peptone.....	20 g.
Glucose.....	5 g.
Chlorure de sodium.....	5 g.
Phosphate de bipotassique.....	2,7 g.
Phosphate monopotassique.....	2,7 g.
Azide de sodium.....	0,3 g.
Ethyl violet.....	0,0005 g.
Eau distillée.....	1000 ml.

pH= 6,8 - 7

Autoclave : 20 minutes à 115°C.

#### **6. Gélose viande-foie (gélose V.F)**

Base de viande-foie.....	30 g.
Glucose.....	2 g.

Amidon.....2 g.

Agar.....11 g.

pH= 7,6 – 7,8

Autoclave : 20 minutes à 115°C.

Au moment de l'emploi, ajouter à 20 ml de milieu de base fondue :

Sulfate de sodium à 5 %.....0,5 ml.

Alun de fer ammoniacal.....4 gouttes.

### ANNEXE III

**Tableau : Nombre le plus probable et intervalle de confiance.**

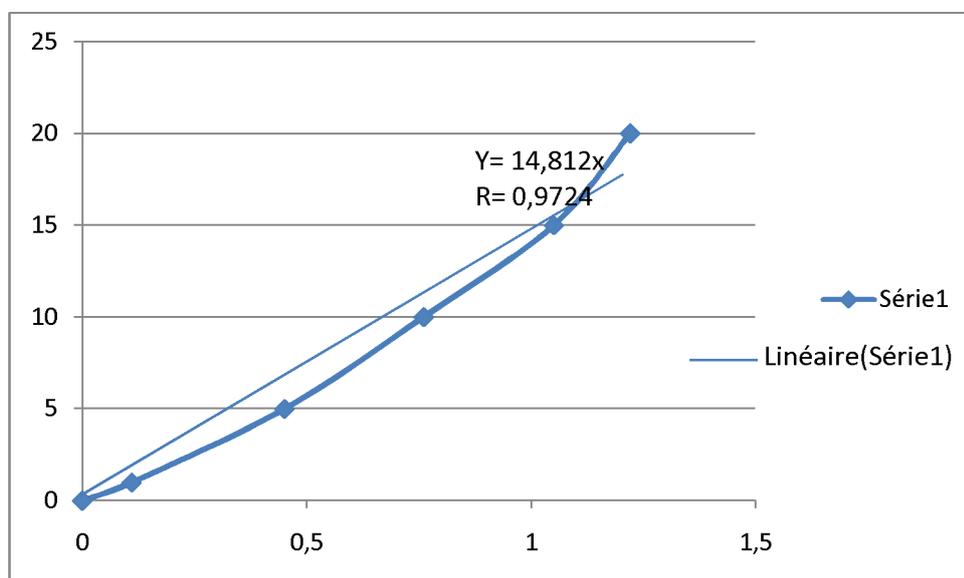
Nombre de tubes donnant une réaction positive sur			N.P.P dans 100 ml	Limite de confiance à 95 %	
5 tubes de 10 ml	1 tube de 1 ml	1 tube de 0,1 ml		Limite inférieure	Limite supérieure
0	0	0	2	0	5,9
0	1	0	2	0,050	13
1	0	0	2,2	0,050	13
1	1	0	4,4	0,52	14
2	0	0	5	0,54	19
2	1	0	7,6	1,5	19
3	0	0	8,8	1,6	29
3	1	0	12	3,1	30
4	0	0	15	3,3	46
4	0	1	20	5,9	48
4	1	0	21	6,0	53
5	0	0	38	6,4	330
5	0	1	96	12	370
5	1	0	240	12	3700

## ANNEXE IV

## Exemples de quelques courbes d'étalonnages

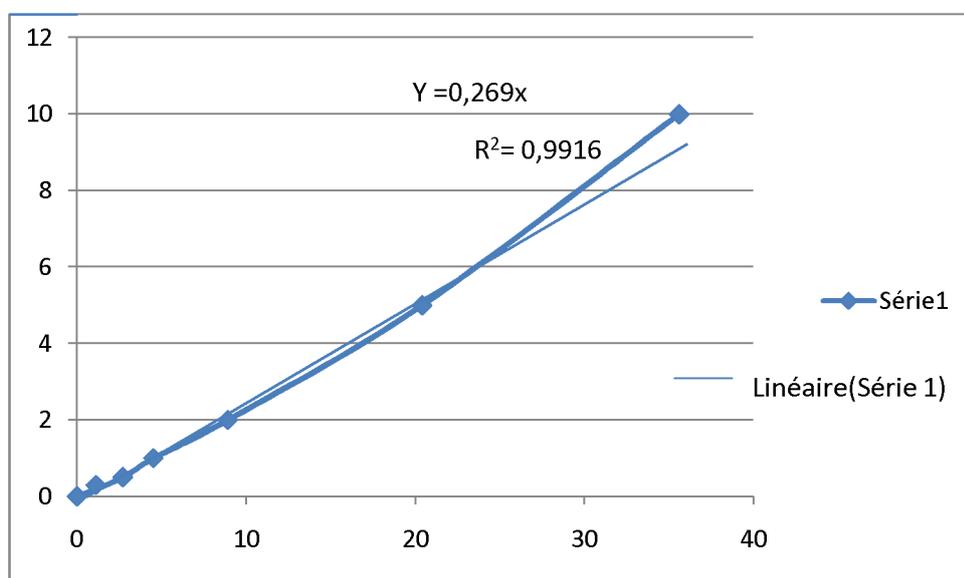
Dosage du sodium Na<sup>+</sup>

Abs	C (mg/l)
0	0
0,11	1
0,45	5
0,76	10
1,05	15
1,22	20
<b>0,31</b>	<b>4,59172</b>



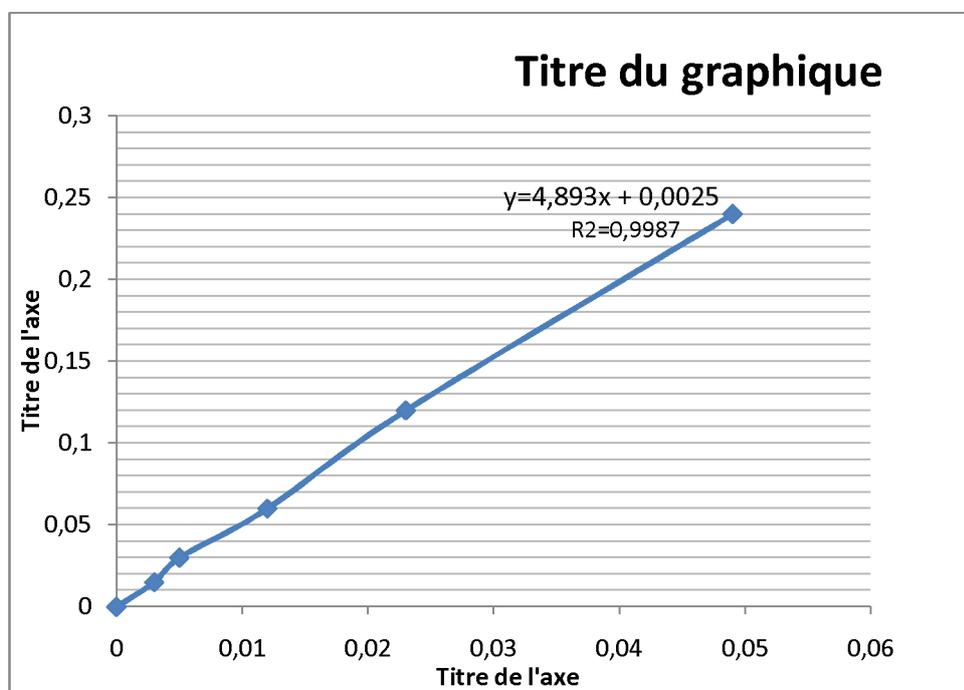
**Dosage du potassium K<sup>+</sup>**

Abs	C (mg/l)
0	0
2,7	0,5
4,5	1
8,9	2
20,4	5
35,6	10
<b>1,1</b>	<b>0,2959</b>



**Dosage des phosphates**

Abs	sol (mg/l)
0	0
0,003	0,015
0,005	0,03
0,012	0,06
0,023	0,12
0,049	0,24
0,007	LLK



# *Résumé*

Ce travail consiste à étudier la qualité physico-chimique et bactériologique de trois eaux de consommation, dont une eau minérale naturelle, une eau de source et une eau de robinet. Le suivi de la qualité est effectué au niveau de deux laboratoires, à savoir le laboratoire Centrale de l'Algérienne des Eaux «ADE», et le laboratoire de contrôle de qualité de l'unité d'embouteillage des eaux minérales naturelle «Lalla Khedidja».

Le travail se base sur l'évaluation des différents paramètres physico-chimiques (turbidité, pH, alcalinité, dureté, ... etc.) et bactériologiques (coliformes, *Escherichia. coli*, streptocoques fécaux et *Clostridium sulfito-réducteurs*), en vue de déterminer l'eau qui répond plus aux normes en vigueur et donc la plus convenable à la consommation.

Les résultats d'analyses des trois eaux montrent que l'eau minérale naturelle et l'eau de source présentent une bonne qualité du point de vue physico-chimique (absence de paramètres de pollution : ammonium, ... etc.) et bactériologique (absence de coliforme, *Escherichia. coli* et des streptocoques fécaux), contrairement à l'eau du robinet qui présente une qualité microbiologique médiocre (présence de germes totaux).

A la fin des recommandations ont été proposées en vue d'améliorer la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau du robinet.

# *Summary*

This work is to study the physical, chemical and bacteriological quality of three water consumption, including natural mineral water, spring water and tap water. The quality monitoring is conducted at two laboratories, namely the Central Laboratory of the Algerian Water «ADE», and quality control laboratory of the bottling plant of natural mineral waters «Lalla Khedidja».

The work is based on the evaluation of various physical and chemical parameters (turbidity, pH, alkalinity, hardness ... etc.) and bacteriological (coliforms, *Escherichia. coli*, fecal streptococci and sulphite-reducing *Clostridium*), to determine the water that longer meets the standards in force and therefore more suitable for consumption. Assay results show that the three waters of natural mineral water and spring water have good quality of the physico-chemical point of view (no pollution parameters. Ammonium... etc) and bacteriological (no coliform *Escherichia. coli* and fecal streptococci), unlike tap water which has poor microbiological quality (presence of total nuclei). At the end of recommendations were proposed to improve the physical, chemical and bacteriological quality of the tap water.