

RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud MAMMARI de TIZI – OUZOU



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

# Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Agronomie  
Option : Management de la qualité totale et sécurité des aliments

## Thème



Réalisé par : M<sup>me</sup> Tinhinane BENSAADA - TADRIST

Présenté devant le jury :

Présidente : M<sup>me</sup> ISSELNANE.

Maître Assistante Classe « B »

Promotrice : M<sup>me</sup> ALMI-SEBBANE D.

Maître Assistante Classe « A »

Examinatrices : M<sup>me</sup> SENANI-OULARBI N.

Maître Assistante Classe « A »

M<sup>me</sup> MESSAOUDI-MOHAMDI D.

Maître Assistante Classe « A »

2015-2016

# Remerciements

Je tiens, en premier lieu, à rendre grâce à Dieu le Tout Puissant de m'avoir donné la force et la patience pour achever ce travail.

Je remercie, du fond du cœur, ma famille et amies, qui m'ont toujours soutenue, épaulée et qui ont cru en moi.

Mes vifs remerciements et profonde reconnaissance vont à ma promotrice **M<sup>me</sup> ALMI-SEBBANE D.** pour avoir accepté de m'encadrer. Je salue sa rigueur et son implication exemplaire dans le travail.

Je souhaite, en parallèle, que **M<sup>me</sup> CHIKHI A.**, Chef de service laboratoire, au sein de la Station de Traitement de l'Eau potable de TAKSEBT, trouve ici toutes les expressions de ma gratitude pour l'intérêt qu'elle a porté à mon travail et la mise, à ma disposition, de toutes les informations nécessaires à l'accomplissement de mon travail.

Je ne manque pas de signaler l'accueil, la gentillesse, le respect et la collaboration de l'ensemble du personnel de la SEEAL : M<sup>me</sup> AKLIOUET S., M<sup>r</sup> HEDDADI N., M<sup>me</sup> MELHA, Si TAHAR, AZIZ et Nana FEROUJJA.

J'adresse également mes sincères remerciements à M<sup>me</sup> ISSELNANE de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ma soutenance, à M<sup>mes</sup> SENANI et MOHAMDI, pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Enfin, il m'est fort agréable d'exprimer mes remerciements les plus sincères aux nombreuses personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la bonne réalisation de ce travail.

Merci



# Dédicaces



*Je dédie ce travail, en signe de gratitude, de reconnaissance et d'affection à :*

*Mon très cher mari Menad. Les expressions me manquent pour te décrire et te dire ce que tu représentes pour moi...*

*Merci pour ton amour, ta compréhension et ta patience... Merci d'être là, à mes cotés. C'est grâce à ton soutien et tes encouragements que je suis arrivée là !!*

*Ma petite et adorable famille que je considère comme le plus beau cadeau que m'a offert le ciel...*

*Chers : Papa, maman, grand-mère et frerot, aucune dédicace ne serait assez éloquente pour exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que je vous porte. Puisse Dieu, le Tout Puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur. Vous êtes et vous serez toujours dans mon cœur...*

*Ma belle famille, ou plutôt ma deuxième famille. Merci de m'avoir accueillie parmi vous. Je vous porte, dans mon cœur, amour, estime et reconnaissance. Papa, Mama, Mila, Nina et l'adorable Sami, je vous aime et je vous souhaite tout le bonheur du monde.*

*Mes très chères amies : Yasmine, Wahiba, Dalia, Hanane, Kenza, Taous et Fatí. Merci pour votre présence dans ma vie, votre écoute et votre soutien, surtout dans les moments difficiles.*

*Mes cousins et cousines, en particulier mon adorable Djoudjou.*

*Mes camarades de promo.*

*Mes amies les « stagiaires » : Sabrina, Celia, Melissa, Ania et Djidji. Je garderai toujours en mémoire les bons moments passés avec vous les filles!!*

*Enfin, je dis merci et mille fois merci à tous les gens qui m'aiment, qui me supportent et qui me soutiennent sans relâche...*



*Ahlem*

# SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

**INTRODUCTION..... 1**

## *Synthèse bibliographique*

### ***Chapitre I : Généralités sur l'eau***

1.1. Principales propriétés de l'eau.....	3
1.2. Répartition de l'eau sur la planète.....	4
1.3. Cycle de l'eau.....	5
1.4. Formes de l'eau sur Terre.....	7
1.4.1. Eaux souterraines.....	7
1.4.2. Eaux de surface.....	8

### ***Chapitre II : Pollution de l'eau***

2.1. Définition de la pollution d'une eau.....	11
2.2. Sources de pollution.....	11
2.3. Formes de pollution.....	12

### ***Chapitre III : Paramètres de qualité des eaux potables***

3.1. Définition de l'eau potable.....	15
3.2. Principaux descripteurs de la qualité d'une eau potable.....	15
3.2.1. Paramètres organoleptiques.....	15
3.2.2. Paramètres physicochimiques.....	16
3.2.3. Paramètres microbiologiques.....	23

### ***Chapitre IV : Traitement des eaux de surface***

4.1. Traitements des eaux de surface.....	25
4.1.1. Traitement physique.....	25
4.1.2. Oxydation/Désinfection.....	26
4.1.3. Clarification.....	29
4.1.4. Traitements particuliers.....	31

## ***Partie pratique***

1. Présentation de la STE Taksebt.....	33
2. Description des étapes de traitement.....	34
3. Matériel et méthodes.....	39
3.1. Analyses bactériologiques.....	39
3.2. Analyses organoleptiques et physicochimiques.....	42
3.2.1. Paramètres organoleptiques.....	42
3.2.1.1. Goût et saveur.....	42
3.2.1.2. Couleur.....	44
3.2.1.3. Turbidité.....	44
3.2.1.4. Matières en suspension.....	44
3.2.2. Paramètres physicochimiques.....	45
3.2.2.1. pH.....	45
3.2.2.2. Température.....	46
3.2.2.3. Anhydride carbonique libre.....	46
3.2.2.4. Alcalinité.....	47
3.2.2.5. Dureté.....	49
3.2.2.6. Chlorures.....	51
3.2.2.7. Conductivité électrique.....	53
3.2.2.8. Paramètres indésirables.....	53
3.2.2.9. Matière organique.....	55
3.2.2.10. Matière organique par mesure de l'UV.....	57
3.2.2.11. Oxygène dissous.....	57
3.2.2.12. Résidu sec.....	57
3.2.2.13. Chlore libre et chlore total.....	59
4. Résultats et discussion.....	61
4.1. Résultats des analyses bactériologiques.....	61
4.2. Résultats des analyses organoleptiques et physicochimiques.....	63
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>71</b>

Références bibliographiques

Annexes

<b>Figure 1</b> : Modèle angulaire de la molécule d'eau à l'état gazeux.....	3
<b>Figure 2</b> : Structure tétraédrique de la molécule d'eau.....	3
<b>Figure 3</b> : Répartition de l'eau sur la planète.....	4
<b>Figure 4</b> : Cycle de l'eau.....	5
<b>Figure 5</b> : Chloration au chlore gazeux.....	27
<b>Figure 6</b> : Chloration au bioxyde de chlore.....	27
<b>Figure 7</b> : Ozonneur.....	28
<b>Figure 8</b> : Décanteurs à flux horizontal.....	30
<b>Figure 9</b> : Décanteurs à flux vertical.....	30
<b>Figure 10</b> : Filtre à sable en situation de lavage à contre courant.....	31
<b>Figure 11</b> : Transfert d'eau Taksebt – Alger.....	33
<b>Figure 12</b> : Étapes de traitement de l'eau potable au niveau de la STE Taksebt.....	34
<b>Figure 13</b> : Principe de fonctionnement du Pulsatube.....	36
<b>Figure 14</b> : Coupe transversale d'un filtre à sable.....	37
<b>Figure 15</b> : Dispositif de filtration.....	40
<b>Figure 16</b> : Évolution de la conductivité sur l'eau brute et l'eau traitée.....	66
<b>Figure 17</b> : Évolution de la concentration en aluminium sur l'eau traitée.....	69
<b>Figure 18</b> : Évolution du seuil du goût sur l'eau traitée.....	70

---

<b>Tableau I</b> : Les temps de résidence moyens dans les réservoirs de surface.....	6
<b>Tableau II</b> : Principales maladies à transmission hydrique.....	14
<b>Tableau III</b> : Relation entre la conductivité et la minéralisation d'une eau naturelle à 20°C.....	19
<b>Tableau IV</b> : Germes recherchés au niveau de la STE Taksebt.....	41
<b>Tableau V</b> : Matériel et méthodes utilisés pour le dosage des différents paramètres physicochimiques au niveau de la STE Taksebt.....	42
<b>Tableau VI</b> : Liste des saveurs et goûts pouvant apparaître lors de la dégustation d'une eau.....	43
<b>Tableau VII</b> : Résultats des analyses bactériologiques.....	61
<b>Tableau VIII</b> : Interprétation des résultats bactériologiques des eaux.....	62
<b>Tableau IX</b> : Résultats des analyses organoleptiques et physicochimiques.....	62
<b>Tableau X</b> : Dénomination des eaux selon les plages de valeurs du titre hydrotimétrique.....	68

**°f** : Degré français

**μS** : micro siemens

**As** : Arsenic

**ASR** : Anaérobie Sulfite Réducteur

**CAP** : Charbon Actif en Poudre

**CE** : Communauté Européenne

**CNRS** : Centre National de la Recherche Scientifique

**CREPA** : Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement

**Cs** : Césium

**DBO** : Demande Biochimique en Oxygène

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène

**DPD** : Diéthyl-phénylène-diamine

**EDCH** : Eau Destinée à la Consommation Humaine

**EDTA** : Éthylène-diamine tétra-acétique

**HPA** : Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques

**I** : Iode

**ISO** : Organisation Internationale de Standardisation

**JORADP** : Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire

**mEq** : milliéquivalent

**MES** : Matières En Suspension

**N** : Normalité

**NA** : Norme Algérienne

**NF** : Norme Française

**nm** : nanomètre

**NTU** : Unité de Turbidité Néphélométrique

**OFSP** : Office Fédéral de la Santé Publique

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**ONU** : Organisation des Nations Unies

**Ra** : Radium

**SEAAL** : Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger

**Si** : Silicium

**Sr** : Strontium

**STE** : Station de Traitement d'Eau potable

**TA** : Titre Alcalimétrique

**TAC** : Titre Alcalimétrique Complet

**TGEA** : Tryptone Glucose Extract Agar

**TH** : Titre Hydrotimétrique

**THM** : Trihalométhane

**U** : Uranium

**UFC** : Unité Formant Colonie

**UV** : Ultra Violet

## ***Résumé***

Ce présent travail avait pour objectif le contrôle de l'efficacité des traitements apportés à l'eau du barrage TAKSEBT. Ces derniers ont pour but final la production et l'alimentation, en eau potable, de plusieurs régions de trois wilayas : Tizi-Ouzou, Boumerdes et Alger.

Le contrôle a été basé sur l'évaluation « minutieuse » et « rigoureuse » de l'évolution des différents paramètres, qui définissent la qualité d'une eau potable ; à savoir : paramètres organoleptiques (goût, turbidité,...) physicochimiques (dureté, alcalinité,...) et bactériologiques (coliformes, germes revivifiables,...), et ce en utilisant du matériel normalisé et en se référant à des protocoles et des méthodes validés.

Les résultats obtenus (absence de germes dans l'eau traitée ; conductivité, oxygène dissous,...) sont conformes aux normes en vigueur. Ils montrent que l'eau brute est déjà d'une assez bonne qualité et, l'eau traitée, est salubre, physico-chimiquement stable et appréciée par le consommateur, ce qui démontre que les procédés utilisés sont fiables et exhaustifs.

**Mots clés :** eau potable, contrôle, qualité de l'eau, normes, traitements.

# INTRODUCTION

« L'eau est source de vie », a-t-on coutume de le dire. En effet, l'eau est d'une importance biologique et économique capitale ; elle est à la fois un aliment, éventuellement un médicament, une matière première industrielle, énergétique et agricole, et un moyen de transport. Ses usages sont donc multiples et, s'agissant de santé humaine, ils sont dominés par l'agriculture et l'aquaculture, l'industrie et, surtout, la fourniture collective ou individuelle d'eau potable (FESTY *et al.*, 2003).

Sous la pression des besoins considérables et en raison de l'accroissement de la population et de son niveau de vie, on est passé de l'emploi des eaux de source et de nappe, à une utilisation de plus en plus poussée des eaux de surface. En outre, se sont développées les techniques de recherches d'eaux souterraines et les méthodes de recyclage (Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement, 2007).

Vu son importance majeure, l'eau figure au premier plan parmi les grands défis du XXI<sup>e</sup> siècle. D'une part, certains pays, « riches » en eau, voient la pollution (déjà très importante) de leurs ressources s'accroître à un niveau, tel qu'il sera difficile d'y remédier. En effet, et depuis déjà longtemps, les Hommes se sont rendus compte que l'eau pourrait être responsable de diverses maladies. D'autre part, les pays économiquement développés sont de plus en plus exigeants sur la qualité de leurs eaux, ainsi que sur la sensibilité et le nombre des contrôles à effectuer. C'est pour cela que la surveillance et le contrôle de la qualité des eaux, à chaque étape de l'approvisionnement, revêtent d'un intérêt primordial. De ce fait, l'eau doit répondre aux exigences de qualité imposées par les nombreux acteurs de la filière « eau », à l'échelle mondiale (OMS, ONU, CE...) (DJELLOULI et TALEB, 2005).

Produire une eau potable de bonne qualité - le but premier d'un service d'approvisionnement en eau - pose des exigences élevées en termes de planification et d'exploitation des installations. Décider des procédés, qui rendront potable une eau souterraine ou superficielle, exige de connaître en détail les facteurs qui influencent la zone de captage (bassin d'alimentation), l'origine et les caractéristiques de l'eau brute, ainsi que les besoins en eau (Office Fédéral de la Santé Publique, 2010).

Une chimie et une microbiologie analytiques performantes de l'eau sont bien évidemment nécessaires pour relever ces défis, en s'appuyant sur des méthodes de dosage fiables, précises, sensibles, si possible miniaturisées et « en ligne ». En effet, ces méthodes analytiques sont (et seront toujours) des outils incontournables pour diagnostiquer et prédire l'évolution de la qualité des eaux naturelles (souterraines ou superficielles), pour contrôler la qualité des eaux dis-

tribuées destinées à la consommation humaine, et celle des effluents rejetés, ou encore pour suivre le fonctionnement des procédés de traitement des eaux (RODIER, 2009).

L'eau est donc une ressource naturelle autour de laquelle se maintient et se développe la vie. Chaque être humain, aujourd'hui comme dans l'avenir, doit disposer d'assez d'eau propre pour boire et veiller à son hygiène. Sa qualité en fait une ressource de valeur plus fondamentale que sa quantité, c'est pour cela qu'elle doit faire l'objet d'une surveillance attentive et d'un contrôle rigoureux. Qu'en est-il alors de la qualité de l'eau que nous buvons ?

Afin de répondre à cette question, nous nous sommes proposés de contribuer au contrôle de l'efficacité des traitements apportés à l'eau provenant du barrage Taksebt, et alimentant, par la suite, plusieurs régions de trois wilayas, à savoir : Tizi-Ouzou, Boumerdes et Alger.

Le suivi de la qualité s'est axé autour des paramètres organoleptiques, bactériologiques et physicochimiques de l'eau brute et de celle-ci, une fois traitée.

SYNTHÈSE

BIBLIOGRAPHIQUE

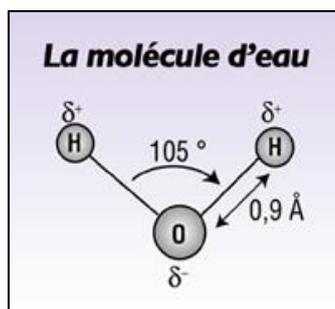
# CHAPITRE I

## GÉNÉRALITÉS SUR L'EAU

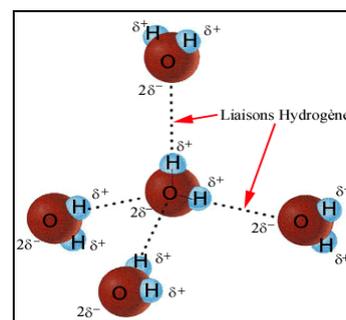
L'eau, en latin aqua (d'où aquatique) et en grec *hydros* (d'où hydrique et hydrologie), est un élément sous forme liquide en conditions standards (température et pression ambiantes), composé sous sa forme pure de molécules qui associent deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène, sous la forme  $H_2O$ .

### 1.1. Principales propriétés de l'eau

- La structure de l'eau dépend de son état physique :
  - à l'état gazeux (vapeur), elle correspond exactement à la formule  $H_2O$  avec le modèle angulaire à 105 degrés (Figure 1).
  - à l'état solide, 4 molécules d'eau périphériques entourent une molécule d'eau centrale pour former une structure tétraédrique (Figure 2).
  - à l'état liquide, les molécules d'eau s'associent entre elles par des liaisons faibles, de type « liaison hydrogène » pour former les mêmes structures tétraédriques, mais qui sont plus instables.
- C'est une molécule polaire, chargée négativement autour de l'atome d'oxygène et positivement autour des atomes d'hydrogènes (Figures 1 et 2).
- C'est un excellent solvant, capable de dissoudre un très grand nombre de corps : l'eau agit en détruisant partiellement ou totalement les liaisons qui existent entre les atomes ou molécules des composés qu'elle dissout, pour les remplacer par des liens avec elle-même.
- L'eau est un bon isolant quand elle est pure et un excellent conducteur quand elle contient des sels en solution (JESTIN, 2005).



**Figure 1 :** Modèle angulaire de la molécule d'eau à l'état gazeux (Anonyme 1, 2014).



**Figure 2 :** Structure tétraédrique de la molécule d'eau (Anonyme 2, 2015).

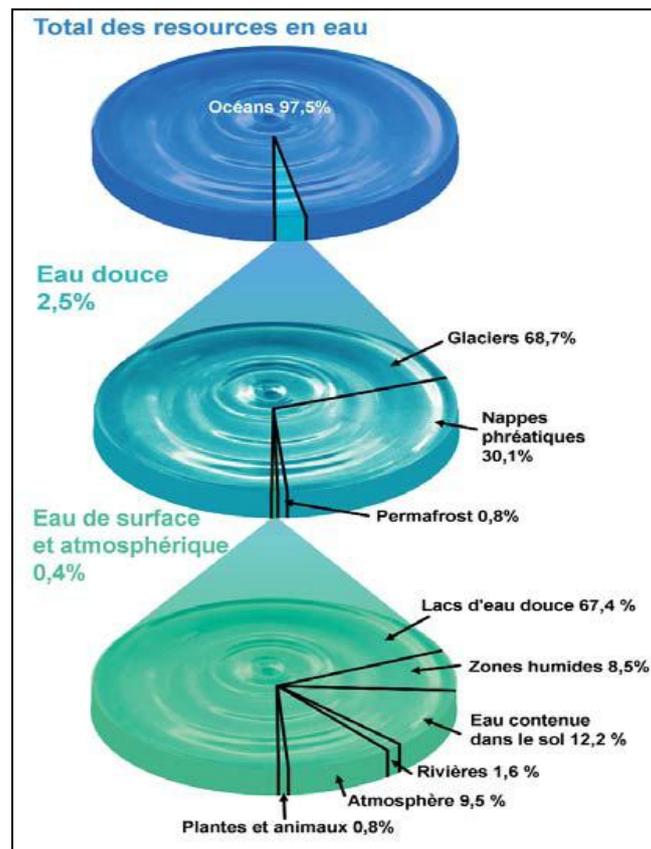
## 1.2. Répartition de l'eau sur la planète

L'eau est très présente sur notre planète. Ainsi, vue de l'espace, la Terre apparaît bleue ; les océans recouvrent près des trois quarts de la surface terrestre (70%).

La quantité d'eau sur Terre est gigantesque : environ 1,4 milliards de km<sup>3</sup> (disponible sous forme liquide, solide ou gazeuse), d'après les estimations de Shiklomanov et Rodda (2003), (cité dans UNESCO, 2006). Cependant, 97,5 % de cette quantité se trouve sous forme d'eau salée et uniquement 2,5 % sous forme d'eau douce, soit environ 35 millions de km<sup>3</sup> et concerne :

- pour la majeure partie, les glaciers de montagne et les inlandsis du Groenland et de l'Antarctique (près de 2 %) ;
- les eaux douces souterraines (moins de 1% ; toutes les eaux souterraines ne sont pas douces, la majorité est salée) ;
- les eaux de surface (cours d'eau, sols gelés, marécages et lacs d'eau douce : 0,03 %) ;
- l'atmosphère (0,001%) ;
- les êtres vivants (0,0001%) (MOREL, 2007).

La Figure ci-après récapitule cette répartition.



**Figure 3** : Répartition de l'eau sur la planète (ONU, 2006).

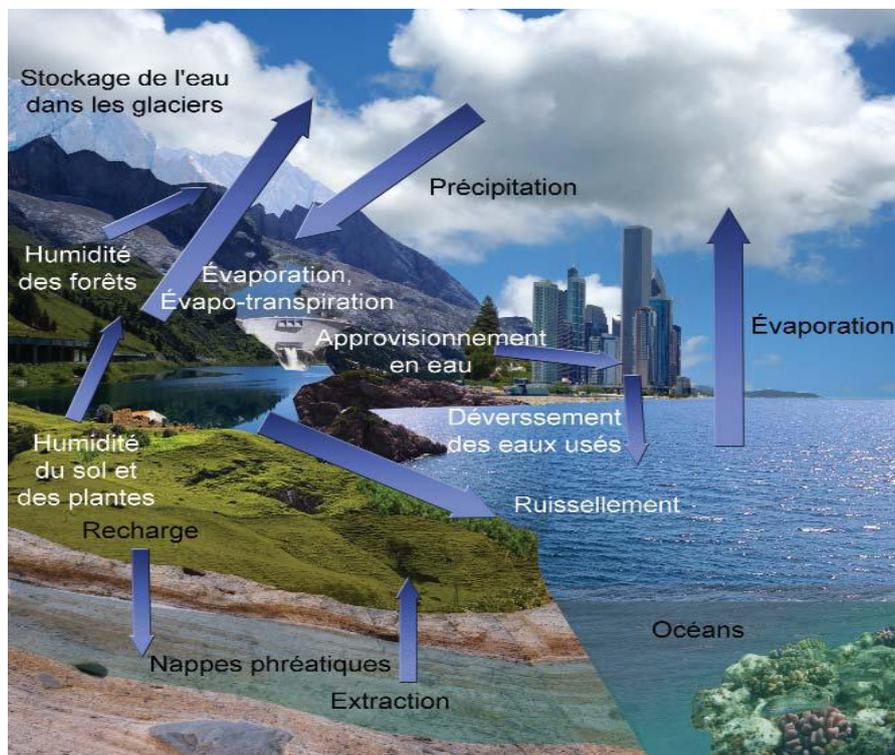
### 1.3. Cycle de l'eau

La masse d'eau totale de l'hydrosphère ne varie pas au cours des années. L'eau change d'état au cours de son cycle mais sa quantité globale reste inchangée depuis 3,5 milliards d'années, date de son apparition sur Terre (MOREL, 2007).

Entre les quatre grands réservoirs d'eau : l'hydrosphère (mers et océans), la lithosphère (les eaux continentales superficielles et souterraines), l'atmosphère et la biosphère, l'échange d'eau est permanent et forme ce que l'on appelle « le cycle hydrologique ». Le « moteur » de ce cycle est l'énergie solaire. On identifie souvent l'évaporation à partir des océans comme le point de départ du cycle.

L'évaporation causée par le réchauffement de la couche de surface des océans entraîne la libération de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Cette vapeur se déplace ensuite au gré des mouvements des masses d'air par des phénomènes de convection. Soumise à des conditions favorables, la vapeur d'eau se condense pour former les nuages et engendrer les précipitations (ANCTIL, 2008).

Lorsque l'eau retombe sur les continents : 60% s'évaporent à nouveau, seuls 25% s'infiltrent dans la terre et alimente les nappes souterraines et 15% ruissellent et rejoignent les cours d'eau pour retrouver ensuite l'océan (Centre National de la recherche Scientifique, 2014).



**Figure 4 :** Cycle de l'eau (Observatoire Régional de l'Environnement, 2011)

➤ **Renouvellement des stocks – les flux**

Au cours du cycle de l'eau, des transferts incessants d'importantes masses d'eau se produisent entre les différents réservoirs de la planète. Ce phénomène entretient souvent l'idée que l'eau est une véritable ressource renouvelable. Mais cela n'est pas aussi simple car tout dépend, en fait, du réservoir considéré.

En effet, toute l'eau ne participe pas en permanence au cycle. Une molécule d'eau peut, en effet, rester durant un certain temps dans un réservoir. La durée moyenne durant laquelle celle-ci réside dans un réservoir est appelée « temps de résidence ». Ce dernier dépend de la rapidité des transferts : plus ils sont rapides, plus le temps de résidence est court. Les temps de résidence moyens dans les différents réservoirs de surface sont donnés à titre indicatif dans le tableau ci-dessous (CNRS, 2014).

**Tableau I** : Les temps de résidence moyens dans les réservoirs de surface (MARSILY, 2002).

Les réservoirs	Les temps de résidence
<b>Océans</b>	<b>2 500 ans</b>
<b>Eaux continentales</b>	
Glaciers	1 600 à 9 700 ans
Eaux souterraines	1 400 ans
Mers intérieures	250 ans pour la mer Caspienne qui contient 80% de tout le volume d'eau de ce réservoir
Lacs d'eau douce	17 ans pour les grands lacs 1 an pour les autres lacs
Humidité des sols	1 an
Rivières	16 jours
<b>Atmosphère (humidité de l'air)</b>	<b>8 jours</b>
<b>Biosphère (cellules vivantes)</b>	<b>quelques heures</b>

L'avantage de ces transferts est qu'ils permettent aux réserves de se renouveler.

Les eaux souterraines ont des temps de résidence extrêmement variables. Certaines d'entre elles, étroitement liées au réseau superficiel qui les pourvoit en eau et qu'elles alimentent en retour de façon régulière, se renouvellent assez rapidement. D'autres en revanche, plus profondes, n'ont que peu de liens avec la surface et se renouvellent beaucoup plus lentement. Certains aquifères contiennent même des eaux très anciennes qui ne se renouvellent plus et qui sont dites « fossiles ».

En ce qui concerne les eaux courantes superficielles (les plus utilisées par l'homme pour sa consommation), le volume n'excède pas 1 700 km<sup>3</sup> en terme de stock disponible à un instant donné, ce qui est peu. En revanche, leur renouvellement est très rapide (FILDIER, 1983).

#### 1.4. Formes de l'eau sur Terre

L'eau de la planète est présente naturellement sous diverses formes dans l'atmosphère, sur et sous la surface de la Terre et dans les océans. L'eau douce ne constitue que 2,5% de l'eau de la planète. Elle se présente essentiellement sous forme gelée dans les glaciers et les calottes glaciaires, le reste est principalement stocké dans les nappes souterraines et seule une petite partie se trouve en surface et dans l'atmosphère.

##### 1.4.1. Eaux souterraines

Les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Celles-ci s'insinuent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable. Là, elles s'accumulent, remplissent le moindre vide,aturent d'humidité le sous-sol et forment ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé « aquifère ». La nappe chemine en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau. Les nappes souterraines fournissent ainsi presque le tiers du débit total de tous les cours d'eau de la planète, soit environ 12 000 km<sup>3</sup> d'eau/an (MYRAND *et al*, 2003).

Les nappes d'eaux souterraines peuvent être de deux types selon qu'elles circulent sous une couche perméable ou non.

##### a. Nappes libres

Pour former une nappe libre, l'eau s'accumule au-dessus de la base imperméable ; l'altitude à laquelle s'établit le sommet de la nappe s'appelle : niveau piézométrique (niveau supérieur). Une nappe libre se définit comme une nappe dont le niveau piézométrique s'établit uniquement en fonction de la perméabilité du terrain à travers lequel pénètre l'eau d'infiltration (VILLAGINES, 2003). On distingue deux types :

##### ➤ Nappes phréatiques

Selon le même auteur, ce sont les nappes libres dont la surface piézométrique est peu profonde. La nappe phréatique est la première rencontrée lors du creusement d'un puits et à laquelle on fait souvent appel. Celle-ci, proche du sol, a tendance à suivre les variations de pluviosité.

### ➤ Nappes alluviales

Elles constituent des lieux privilégiés pour la mise en œuvre de recharge artificielle, mais le stockage y est, en général, limité du fait de la position élevée des niveaux d'équilibre piézométrique quand les eaux d'alimentation sont abondantes.

Ces nappes constituent un gîte aquifère souvent exploité. Elles se situent dans les terrains alluvionnaires sur lesquels circule un cours d'eau. La qualité de ces eaux est alors directement influencée par la qualité de l'eau de la rivière (KASSOU et KACIMI, 2010).

#### b. Nappes captives

Une nappe est dite « captive » lorsqu'elle est située entre deux couches imperméables. De telles nappes se renouvellent donc plus lentement que les nappes libres. Elles sont en général profondes, quelques centaines de mètres et plus, et si leur pente est forte, l'eau y est sous pression. La pression est même parfois suffisante pour que le creusement d'un puits permette à l'eau de jaillir en surface : une telle nappe est alors dite « artésienne » (FILDIER, 1983 ; CHAUSSADE *et al*, 2005).

### 1.4.2. Eaux de surface

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

#### a. Précipitations

Les précipitations (pluies, neiges, ... etc.) jouent un rôle clé dans le renouvellement des ressources en eau, les conditions climatiques et la biodiversité locale.

En fonction des conditions locales, les précipitations peuvent alimenter les rivières et les lacs, reconstituer les nappes phréatiques ou retourner dans l'atmosphère par évaporation.

#### b. Glaciers

Les glaciers stockent l'eau sous forme de neige et de glace. Ils alimentent les cours d'eau locaux de quantités qui varient en fonction des saisons. Cependant, beaucoup s'amenuisent à l'heure actuelle en raison du réchauffement climatique (ASSOULINE S. et ASSOULINE J, 2007).

### c. Les fleuves et rivières

En très haute montagne, les cours d'eau naissent de la fonte des glaciers : c'est le régime « glaciaire ». La fonte des neiges, par contre, engendre ce qu'on appelle un régime « nival ». Les autres cours d'eau proviennent du ruissellement des pluies excédentaires et/ou de l'émergence, sous la forme de sources, de nappes d'eaux souterraines : ce type de régime est dit « pluvial ».

Tous descendent le long des pentes, se rejoignent pour former des rivières de plus en plus imposantes qui finissent par se jeter dans un océan ou une mer intérieure. Tout au long de leur périple, ils sont aussi alimentés par les eaux de ruissellement et parfois par des eaux souterraines.

Il existe une multitude de fleuves et rivières de part le monde, très différents les uns des autres par leur longueur, le débit moyen de leurs eaux et leur comportement saisonnier. Avec ses 6 400 km de long et un débit moyen annuel de 180 000 m<sup>3</sup> d'eau par seconde, le fleuve Amazone est le plus imposant d'entre eux.

Les rivières et fleuves se caractérisent par l'irrégularité de leur débit au cours de l'année, lequel dépend de multiples facteurs, tels :

- la provenance de leurs eaux ;
- le rapport entre les précipitations et l'évaporation (FESTY *et al*, 2003).

### d. Lacs

Les lacs se forment lorsque les eaux qui coulent le long des pentes, cours d'eau ou eaux de ruissellement, rencontrent un obstacle, une contre-pente, qui les empêche de poursuivre leur course. Les eaux envahissent alors la dépression ainsi créée, formant des étendues d'eaux parfois immenses, à tel point que certains grands lacs sont appelés des mers ; c'est l'exemple de la mer Caspienne avec ses 371 000 km<sup>2</sup> de superficie.

Tous ne sont pas alimentés par un cours d'eau. Certains ne reçoivent que des eaux de ruissellement, tandis que d'autres sont essentiellement alimentés par des eaux souterraines. Mais tous sont capables de stocker l'eau quant il y en a, en période de forte pluviosité ou de fonte des glaciers, et de la rendre aux cours d'eau, quant elle manque, au moment de la saison la plus sèche. Comme les eaux souterraines, ils permettent en cela de réguler les flux. C'est l'une des raisons pour lesquelles certains barrages ont été construits : ils permettent en effet de

retenir, sous la forme de grands lacs artificiels, d'énormes quantités d'eau qu'ils peuvent lâcher au moment voulu.

En terme de réserve, les lacs d'eau douce ne sont pas suffisamment nombreux pour constituer une réserve d'eau importante, à l'exception du lac Baïkal qui est si profond au point de contenir le cinquième de tout le volume d'eau douce superficielle, disponible dans le monde, ce qui en fait le plus grand réservoir superficiel d'eau douce liquide de la planète.

#### **e. Zones humides**

Les marécages, tourbières, marais et lagunes recouvrent 6% de la surface émergée de la Terre et jouent un rôle clé dans les écosystèmes locaux et les ressources en eau. Beaucoup de ces zones humides ont été détruites, mais celles qui subsistent aujourd'hui peuvent encore jouer un rôle important dans la prévention des inondations et le maintien du débit des rivières (CNRS, 2014).

# CHAPITRE IV

# POLLUTION DE L'EAU

Pour les besoins de l'homme et l'équilibre des écosystèmes aquatiques, il faut que la qualité de l'eau soit bonne. Une pollution de l'eau peut générer une perturbation des activités humaines, qui en dépendent, et de l'équilibre qui s'est mis en place entre le milieu naturel et les espèces animales et végétales qui l'habitent.

L'eau est particulièrement affectée par les déchets issus des activités humaines, très souvent mal gérés, qu'il s'agisse de déchets solides (ordures ménagères, résidus industriels), gazeux (eutrophisation liée à la pollution atmosphérique), ou liquides (eaux résiduaires urbaines, industrielles ou agricoles, eaux de ruissellement) (ANONYME 3, 2013).

## **2.1. Définition de la pollution d'une eau**

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

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

### **2.1. Sources de pollution**

#### **2.1.1. Pollution domestique et urbaine**

Elle provient des utilisations de l'eau par les habitants. On distingue les eaux-vannes et les eaux ménagères. Elle se caractérise par des germes fécaux, de fortes teneurs en matières organiques, des sels minéraux (azote, phosphore) et des détergents.

Aux eaux usées domestiques traditionnelles s'ajoutent les eaux "collectives" de lavage des rues, des marchés, des hôpitaux...etc.

#### **2.1.2. Pollution industrielle**

La pollution générée par ces rejets varie suivant le type de l'activité industrielle. Les eaux d'une industrie agro-alimentaire, par exemple, véhiculent essentiellement des déchets organiques. Celles provenant d'une tannerie sont chargées de chrome et d'acides, produits toxiques utilisés pour le tannage des peaux ; c'est une pollution chimique.

Certains rejets troublent la transparence et l'oxygénation de l'eau ; ils peuvent avoir un effet nocif sur les organismes vivants et nuire au pouvoir d'autoépuration de l'eau. Ils peuvent aussi causer l'accumulation de certains éléments dans la chaîne alimentaire (métaux, pesticides, radioactivité...etc.) (ANONYME 3, 2013).

### 2.2.3. Pollution agricole

La concentration des élevages peut entraîner un excédent de déjections animales par rapport à la capacité d'absorption des terres agricoles ; ces déjections, sous l'effet du ruissellement de l'eau et de l'infiltration dans le sous-sol, enrichissent les cours d'eau et les nappes souterraines en dérivés azotés et constituent aussi une source de pollution bactériologique.

De plus, les engrais chimiques (nitrates et phosphates), employés en agriculture, altèrent la qualité des cours d'eau et des nappes souterraines vers lesquels ils sont entraînés.

Les herbicides, insecticides et autres produits phytosanitaires utilisés par les agriculteurs s'accumulent, également, dans les sols et les nappes phréatiques et polluent les cours d'eau (GAUJOUS, 1995).

### 2.2.4. Pollution naturelle

D'après le même auteur, certains scientifiques considèrent que divers phénomènes naturels sont aussi à l'origine de pollution ; par exemple, une irruption volcanique, un épanchement sous-marin d'hydrocarbures, le contact avec des filons géologiques (métaux, arsenic), une source Thermo-minérale...etc.

## 2.3. Formes de pollution

### 2.3.1. Pollution thermique

C'est la conséquence du déversement, dans le milieu aquatique (fleuves, eaux littorales), de quantités considérables d'eau utilisée pour le refroidissement, surtout lors de la production de l'énergie électrique par les centrales thermiques ou nucléaires.

L'élévation excessive de la température de l'eau fluviale, surtout en période d'étiage, peut modifier l'équilibre biologique des eaux au regard des espèces piscicoles et faciliter le développement d'amibes libres, pathogènes pour les baigneurs.

### 2.3.2. Pollution radioactive

Elle concerne, d'une part, des émetteurs de rayonnement alpha ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ), généralement d'origine naturelle, et éventuellement présents dans les eaux souterraines de zones géographiques déterminées. D'autre part, les émetteurs bêta sont en général associés à des activités humaines ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ) ; la radio-contamination peut provenir de déversements hydriques volontaires ou accidentels, ou de retombées atmosphériques.

La plupart des radionucléides s'absorbent facilement sur des particules (sédiments des eaux, boues de station d'épuration). Des organismes aquatiques (poissons, mollusques...) sont

capables d'accumuler certains radioéléments, créant une contamination de la chaîne alimentaire (FESTY *et al*, 2003).

### 2.3.3. Pollution chimique

La pollution chimique est probablement la plus fréquente, très ressentie et très diverse.

#### ➤ Contaminations par des composés inorganiques

Il s'agit, par exemple, de:

- nitrates, principalement issus des engrais agricoles, d'effluents domestiques et industriels (abattoirs, tanneries). Ils sont dangereux après réduction en nitrites, méthémoglobinisants et précurseurs de nitrosamines cancérigènes;
- phosphates, provenant des lessives et des engrais. Ils participent en première ligne au processus d'eutrophisation, phénomène aux conséquences environnementales (développements des algues) et sanitaires (libération de toxines algales);
- métaux lourds (plomb, mercure, cadmium) d'origine industrielle ou artisanale, cumulables en certains points fluviaux ou littoraux et concentrés par la flore et la faune aquatiques, et à l'origine de véritables intoxications humaines.

#### ➤ Contaminations par des composés organiques

Les contaminants organiques sont potentiellement innombrables: détergents, produits phytosanitaires, solvants, hydrocarbures...etc. Liés aux activités humaines de tous ordres, ils créent des problèmes différents selon leur solubilité, leur rémanence et leur devenir dans les eaux, les sols et la chaîne alimentaire. En plus des accidents aigus ponctuels ou des phénomènes cumulatifs, les molécules organiques causent de plus en plus d'inquiétude du fait de leur présence ubiquitaire, polyvalente et insidieuse, se manifestant par des effets écologiques avérés et des effets sanitaires réels ou potentiels à long terme (cancers, altérations endocriniennes,...etc.) (OFSP, 2010).

### 2.3.4. Pollution microbienne et parasitaire

L'essentiel de ce genre de pollution est manifestement d'origine fécale, due aux déjections humaines et animales, au travers des eaux usées plus ou moins bien maîtrisées aux plans technique et sanitaire (JESTIN, 2005).

Le tableau suivant récapitule les maladies d'origine hydrique.

**Tableau II** : Principales maladies à transmission hydrique (DACOSTA, 1998 ; AMSTRONG *et al*, 2001 ; VILAGINES, 2003 ; JARRAUD *et al*, 2007 ; OMS, 2008).

Agents infectieux	Maladie	Manifestation(s)	Contamination
<b>Origine bactérienne</b>			
<i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella paratyphi A</i>	Fièvre typhoïde et paratyphoïde	- fièvre, céphalées, diarrhées, douleurs abdominales, hémorragies intestinales, collapsus cardiovasculaire, atteintes hépatiques, respiratoires et neurologiques	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales
<i>Vibrio cholerae</i>	Choléra	- diarrhées, vomissements, douleurs épigastriques, anurie, crampes musculaires	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales
<i>Legionella pneumophila</i>	Légionellose	- pneumonie aiguë, asthénie, fièvre, myalgie, céphalées, toux initiale non productive	Voie aérienne par inhalation
<i>Eshcherichia coli</i> <i>Campylobacter jejuni</i> <i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastroentérites	- diarrhées, douleurs abdominales, selles sanguinolentes, fièvre, nausées et vomissements	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales
<b>Origine virale</b>			
<i>Poliovirus</i>	Poliomyélite	- fièvre, fatigue, maux de tête, vomissement, douleurs au niveau des jambes, tétraplégie	Le virus pénètre dans la bouche et se multiplie dans l'intestin
<i>Virus de l'hépatite A</i> <i>Virus de l'hépatite E</i>	Hépatite infectieuse	- fièvre, sensation de malaise, perte d'appétit, diarrhées, nausées, ictère, urines foncées - diarrhées, nausées, urines foncées, ictère, troubles digestifs importants	Voie digestive
<i>Rotavirus</i> <i>Virus de Norwalk</i> <i>Astrovirus</i>	Gastroentérites virales	- nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées, fièvre	Voie digestive
<b>Origine parasitaire</b>			
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Gastroentérite	- diarrhée sévère, crampes abdominales, baisse de poids	Voie digestive
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne	- crampes, diarrhée mucosanglante.	Ingestion de kystes

# CHAPITRE III

## PARAMÈTRES DE QUALITÉ DES EAUX POTABLES

L'accès à une eau de boisson saine est une condition indispensable à la santé, un droit humain élémentaire et une composante clé des politiques efficaces de protection sanitaire.

Le degré de qualité exigible des eaux dépend de leurs multiples usages, et on est particulièrement attentif à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH), elles-mêmes dépendantes de celles des ressources en eau disponibles (FESTY *et al*, 2003).

### 3.1. Définition de l'eau potable

Selon la définition qui en est donnée par les Directives, une eau de boisson saine ne présente aucun risque notable pour la santé d'une personne, qui la consommerait sur toute la durée de sa vie, compte tenu des variations de sensibilité éventuelles entre les différents stades de la vie (OMS, 2004).

### 3.2. Principaux descripteurs de la qualité d'une eau potable

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

#### 3.2.1. Paramètres organoleptiques

##### a. Aspect physique de l'eau

La limpidité et la couleur de l'eau sont des paramètres essentiels. Toute eau alimentaire doit être limpide et incolore. On évalue ces critères au moyen des paramètres suivants :

- Les Matières En Suspension (MES) qui correspondent aux particules véhiculées par l'eau. Elles peuvent être de nature minérale (argiles, sables, ... etc.) ou organique (débris végétaux, biomasse planctonique, ... etc.). Elles représentent la masse de dépôt (exprimée en mg/l) obtenu sur un filtre de 0,45 µm après séchage à 100°C.

On distingue les matières décantables, qui se séparent de l'eau par gravité, des matières colloïdales séparées par coagulation. Les matières en suspension limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, diminuent la teneur en oxygène dissous en freinant les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à la ré-aération de l'eau (ETCHEBER *et al*, 2011).

- La turbidité qui correspond aux particules fines présentes dans l'eau (rendant celle-ci trouble), appelées « colloïdes ».

La turbidité exprime l'atténuation d'un faisceau de lumière blanche au contact de particules colloïdales. Il existe plusieurs échelles pour la mesurer. Une des plus utilisées est l'unité NTU (Unité de turbidité néphélométrique).

- La couleur qui est due à l'absorption de certaines bandes de la lumière blanche, par les substances organiques dissoutes présentes dans l'eau et qui comportent des groupements chromatophores.

Elle peut également être due à la présence de métaux : couleur « rouille » due au fer et « noire » due au manganèse. Elle s'exprime par comparaison avec une échelle de couleur étalon (JESTIN, 2005).

#### **b. Odeur et saveur**

Une eau destinée à la consommation humaine doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de présence de la matière organique en décomposition (RODIER *et al*, 2009).

La saveur d'une eau est due à la combinaison de nombreux facteurs, parmi lesquels interviennent :

- la minéralisation de l'eau : certains sels minéraux donnent des goûts particuliers à l'eau ;
- les matières organiques dissoutes provenant de la décomposition des matières organiques végétales et des résidus agricoles ;
- les métabolites de certains microorganismes vivants dans l'eau (REJSEK, 2002).

### **3.2.2. Paramètres physicochimiques**

#### **a. Température**

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

#### **b. pH**

Le pH (potentiel hydrogène) est une des caractéristiques fondamentales de l'eau. Il est déterminé à partir de la quantité d'ions hydronium ( $H^+$ ) ou hydroxide ( $OH^-$ ) contenus dans celle-ci. La valeur du pH est à prendre en considération lors de la majorité des opérations de traitement de l'eau, surtout lorsque celles-ci font appel à une réaction chimique, et parce que certains procédés nécessitent d'être réalisés avec un pH spécifique pour être efficaces (CREPA, 2007).

Le pH est l'un des paramètres chimiques importants lorsqu'il s'agit de déterminer la qualité d'une eau. En effet, il constitue un paramètre d'ampleur car, non seulement il contrôle la corrosion, mais aussi montre la stabilité de l'eau. Son importance est aussi mise en évidence au cours du traitement de l'eau, en particulier lors de la désinfection par le chlore, ainsi que dans la détermination de l'équilibre calco-carbonique (MAIGA, 2005).

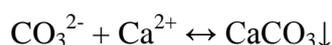
Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés et varie habituellement entre 7,2 et 7,6 (REJSEK, 2002).

### c. Éléments fondamentaux

Ces composés jouent un rôle essentiel dans les propriétés d'une eau. Ils interviennent dans :

#### ➤ Équilibre calco-carbonique

Les ions calcium jouent un rôle essentiel, car ils se combinent avec les formes carboniques et peuvent conduire à la précipitation du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$  : tartre ou calcaire) selon la réaction suivante :



En pratique, on cherche à obtenir un léger dépôt de carbonate de calcium appelé : « couche de Tillmans », qui permet d'éviter (dans les réseaux de distribution) les interactions entre l'eau (le  $\text{CO}_2$  libre) et les matériaux des canalisations, qui peuvent être à l'origine de contaminations par des métaux (fer et plomb notamment). Lorsque la composition de l'eau permet l'amorce de ce léger dépôt de carbonate de calcium, on dit que l'eau a atteint l'**équilibre calco-carbonique**.

En fait, le calcium est essentiellement présent dans l'eau sous la forme de bicarbonate de calcium ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) soluble :



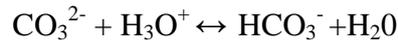
Or, le bicarbonate de calcium est instable et tout déséquilibre entre le  $\text{CO}_2$  libre (correspond à l'acide carbonique) et les ions calcium tend à déplacer l'équilibre dans un sens ou l'autre :

- Si les ions calcium sont en excès par rapport au  $\text{CO}_2$  : le bicarbonate de calcium aura tendance à précipiter de manière excessive sous forme de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) et l'eau sera dite « **déposante** » (ou **entartrante**).
- Si le  $\text{CO}_2$  est en excès par rapport aux ions calcium, le léger dépôt protecteur de carbonate de calcium ne pourra pas se maintenir et l'eau sera dite « **agressive** » (JESTIN, 2005).

### ➤ Alcalinité

Selon REJSEK (2002), l'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité de réagir avec les ions hydrogènes ( $H^+$ ), qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate ( $HCO_3^-$ ), carbonate ( $CO_3^{2-}$ ) et hydroxyde ( $OH^-$ ). Elle se détermine par acidimétrie et se caractérise par deux paramètres :

- Le **Titre Alcalimétrique (TA)** qui correspond à la première neutralisation des ions carbonates ( $CO_3^{2-}$ ), selon la réaction suivante :

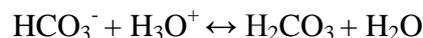


On considère que la réaction est terminée lorsque le pH du milieu atteint 8,3. La quantité de protons nécessaire à la réalisation de cette réaction dans un litre d'eau est appelée « le Titre Alcalimétrique ».

Le TA s'exprime en milliéquivalent par litre (mEq/l) ou en degrés français (°f) :

$$1^\circ f = 0.2 \text{ mEq/l} = 10 \text{ mg/l de CaCO}_3$$

- Le **Titre Alcalimétrique Complet (TAC)** correspondant à la neutralisation de la totalité des espèces carboniques dissociées et s'obtient en poursuivant la neutralisation:



### ➤ Dureté

La dureté de l'eau ou Titre Hydrotimétrique (TH) est un indicateur global de la minéralisation de l'eau. Elle correspond à la somme des cations métalliques, à l'exception des métaux alcalins ( $Na^+$ ,  $K^+$ ). Dans les eaux naturelles, elle est essentiellement due aux ions calcium ( $Ca^{2+}$ ) et magnésium ( $Mg^{2+}$ ), dont les concentrations lui sont proportionnelles : 1°f équivaut à 4 mg/l de calcium et à 2,4 mg/l de magnésium. Le TH s'exprime également en mEq/l ou en °f.

Dans une eau naturelle, on peut distinguer différents types de dureté :

- dureté totale ( $TH_t$ ): somme des concentrations en  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  ;
- dureté calcique ( $TH_{Ca}$ ): concentration globale en  $Ca^{2+}$  ;
- dureté magnésienne ( $TH_{Mg}$ ): concentration globale en  $Mg^{2+}$  ;
- dureté permanente ou non carbonatée ( $TH_p$ ): qui persiste après ébullition de l'eau et qui correspond uniquement aux sels de calcium et de magnésium solubles à chaud, sous forme de chlorures et de sulfates, car les hydrogénocarbonates sont décomposés et précipitent sous forme de carbonate de calcium ;

- dureté temporaire ou carbonatée qui correspond aux sels de calcium sous forme d'hydrogencarbonate, et qui est la différence entre la dureté totale et la dureté permanente.

La valeur du TH de l'eau peut être interprétée de la manière suivante :

- $0 < \text{TH} < 10^\circ\text{f}$  = eau très douce
- $10 < \text{TH} < 20^\circ\text{f}$  = eau douce
- $20 < \text{TH} < 30^\circ\text{f}$  = eau moyennement dure
- $30 < \text{TH} < 40^\circ\text{f}$  = eau dure
- $\text{TH} > 40^\circ\text{f}$  = eau très dure

Les eaux dures produisent, par élévation de température, un précipité de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) ou tartre. Par ailleurs, le calcium contenu dans ces eaux se combine avec les savons et détergents en neutralisant leur effet. C'est pourquoi ces eaux sont peu appréciées pour les usages domestiques et industriels (REJSEK, 2002 ; JESTIN, 2005).

#### d. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau traduit l'aptitude que possède celle-ci à laisser passer le courant électrique. Vu que le transport des charges se fait par l'intermédiaire des ions contenus dans l'eau, il est logique d'admettre que la conductivité d'une eau sera d'autant plus importante que sa minéralisation sera élevée ; la température et la viscosité influent également sur la conductivité, car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité.

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

**Tableau III** : Relation entre la conductivité et la minéralisation d'une eau naturelle à 20°C (CREPA, 2007).

Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Minéralisation (mg/l)
$C < 50$	$1,365 \times C$
$50 < C < 166$	$0,947 \times C$
$166 < C < 333$	$0,769 \times C$
$333 < C < 833$	$0,716 \times C$
$833 < C < 10\ 000$	$0,758 \times C$
$C > 10\ 000$	$0,850 \times C$

La conductivité est une mesure simple permettant de vérifier l'efficacité et la stabilité d'un traitement de déminéralisation ou de minéralisation. Une conductivité élevée traduit, soit des pH anormaux, soit le plus souvent une salinité élevée, celle-ci pouvant être naturelle ou due à des rejets salins (RODIER *et al*, 2009).

#### e. Éléments caractéristiques

Ils ne donnent pas lieu à des réactions d'hydrolyse ou de précipitation et leurs concentrations varient de manière indépendante dans l'eau. Il s'agit du sodium ( $\text{Na}^+$ ), du potassium ( $\text{K}^+$ ) et du magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) pour les cations, et des chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et des sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) pour les anions.

Ce sont pour l'essentiel des éléments majeurs de la croûte terrestre, dont la concentration dans l'eau dépend essentiellement de leur solubilité. De plus, sachant que la probabilité de rencontrer des eaux présentant les mêmes valeurs sur ces paramètres est extrêmement faible, ils constituent la carte d'identité d'une eau (JESTIN, 2005).

#### f. Éléments métalliques

De nombreux métaux sont mis en évidence dans l'eau, généralement à l'état de trace (de l'ordre de quelques  $\mu\text{g}$ ) : plomb, cadmium, mercure, cuivre, zinc, nickel, chrome, cobalt, ... etc. Ce sont des éléments de la croûte terrestre. Leur concentration dans l'eau dépend essentiellement de leur solubilité. Certains d'entre eux sont toxiques. Aussi, la réglementation en limite la concentration dans les eaux brutes et en distribution.

##### ➤ Fer et manganèse

La présence du fer et du manganèse est fréquente dans les eaux souterraines sous forme dissoute. Bien qu'il ne s'agit pas de polluants majeurs et leur ingestion ne présente pas de danger pour l'Homme, il est nécessaire de limiter leur concentration dans les eaux de consommation, car ils influencent la qualité organoleptique de l'eau (aspect, couleur, goût métallique) et peuvent être à l'origine du développement de microorganismes initiant des phénomènes de corrosion.

##### ➤ Aluminium

Bien que très abondant dans l'écorce terrestre, l'aluminium est peu présent dans les eaux, car il est très peu soluble. Dans les eaux traitées, sa présence est principalement due aux coagulants. L'aluminium est considéré par certains comme neurotoxique pour l'Homme. Il est responsable de plusieurs maladies telles que l'Alzheimer, dépisté chez de nombreuses per-

sonnes résidant dans des zones où l'eau distribuée est riche en aluminium.

➤ **Plomb**

Le plomb est très rarement détecté dans les eaux souterraines, contrairement aux eaux de surface où la contamination est plus fréquente et plus fluctuante. L'étape de coagulation-floculation de la filière de potabilisation est suffisante pour éviter tous problèmes liés à ce paramètre. C'est un problème assez généralisé, qui s'explique par le fait que le plomb a été utilisé de façon massive dans le passé, en raison de ses caractéristiques intéressantes (résistant à la corrosion, malléable).

Les effets du plomb sur la santé sont importants, même pour de faibles expositions, car il est extrêmement toxique. Il a également la particularité de ne pas être éliminé par l'organisme, où il s'accumule tout au long de la vie. Le plomb est principalement responsable du saturnisme, qui provoque des troubles neurologiques et des retards mentaux importants chez les jeunes enfants.

**g. Éléments non métalliques et autres substances spécifiques**

➤ **Arsenic**

L'arsenic (As) est présent en plus forte concentration dans les roches sédimentaires, il se rencontre donc couramment dans les eaux souterraines, mais le plus souvent dans des concentrations très faibles.

Lorsqu'on le trouve à des concentrations anormalement élevées dans les eaux de surface ou les aquifères, c'est qu'il résulte d'une contamination due aux activités humaines : rejets industriels (peintures, munitions, affinage des métaux, ... etc.), traitements de certains minerais, combustion de charbon ou de déchets, usage d'engrais, détergents, pesticides, etc.

L'arsenic est une substance minérale de classe A, c'est-à-dire connue pour être cancérigène pour l'Homme. C'est aussi un poison à toxicité aiguë.

À l'arsenic s'ajoutent d'autres éléments tels : Les Trihalométhanes (THM) ou haloformes, les bromates, les chlorites ( $\text{ClO}_2^-$ ), les chlorates ( $\text{ClO}_3^-$ ), les solvants chlorés, les pesticides, etc (JESTIN, 2005).

**h. Matière organique**

La matière organique est présente dans l'eau sous forme particulaire (solide) ou dissoute. Sous forme particulaire, elle constitue une partie des MES ; sous forme dissoute, elle est en général directement accessible aux bactéries qui la dégradent.

La matière organiques présente dans l'eau peut avoir une origine naturelle (activité biologique des milieux hydriques : décomposition des végétaux ou des microorganismes, etc.), comme elle peut être liée à la pollution domestique, industrielle ou agricole (épandages d'effluents d'élevage), ou encore avoir été synthétisées par l'Homme (pesticides).

La présence de matière organique dans les eaux alimentaires pose principalement deux types de problèmes :

- elle réagit avec les produits utilisés pour la désinfection de l'eau (en particulier le chlore) et forme des sous-produits indésirables visés par la réglementation, et est à l'origine du « mauvais goût » de l'eau.
- elle peut également initier des problèmes de prolifération bactérienne dans les réseaux de distribution (OFSP, 2010).

#### **i. Azote minéral**

Dans la nature, l'azote se trouve sous forme minérale en faible quantité : soit uniquement 5% de l'azote total; c'est essentiellement de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).

-La concentration en ammoniacque est d'autant plus élevée que les eaux sont de mauvaise qualité. Il est important de l'éliminer avant l'introduction de l'eau dans le réseau, car il réagit avec le chlore pour produire des chloramines, pouvant provoquer des goûts désagréables. L'azote ammoniacal, bien qu'il n'ait aucun effet direct sur la santé aux concentrations rencontrées dans les eaux de consommation, sa présence contribue au développement des microorganismes dans les réseaux et dans les réservoirs de distribution (MAIGA, 2005).

-Les nitrites s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniacque et les nitrates. Ils ne présentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates, leur présence dans l'eau est donc rare et en faible quantité (RODIER *et al*, 2009).

La présence de nitrites dans le sang empêche l'hémoglobine de fixer convenablement l'oxygène et entraîne ainsi des risques de méthémoglobinémie aiguë. En outre, ils sont très toxiques pour les poissons et souvent mortels (CREPA, 2007).

-Les nitrates constituent une espèce très mobile, qui rejoint les nappes d'eaux souterraines, notamment dans les zones géographiques où l'agriculture est intensive (JESTIN, 2005).

Pour l'organisme humain, les nitrates ne sont pas toxiques directement (sauf à des doses élevées de plusieurs dizaines de grammes) mais leur réduction en nitrites peut provoquer les mêmes troubles que ceux-ci (REJSEK, 2002).

## j. Éléments radioactifs

En général, la radioactivité de l'eau est faible. Elle est due à la présence naturelle, dans la ressource, de certains radionucléides et notamment le potassium 40. Pour les eaux souterraines profondes, la présence d'uranium, de thorium, de radium peut être aussi importante. Elle peut également être augmentée par la présence de radionucléides artificiels, résultants de mauvaises manipulations médicales ou industrielles (ANONYME 5, 2012).

### 3.2.3. Paramètres microbiologiques

#### a. Microorganismes aérobies revivifiables

La norme NA-763 (1990) les définit comme étant l'ensemble des microorganismes aptes à se multiplier à l'air libre, avec une croissance optimale à une température située entre 25 et 45°C.

Le principe consiste à mettre en évidence les bactéries qui se développent à 20°C (favorisant ainsi les germes spécifiques de l'eau) et celles qui se développent à 37°C (favorisant ainsi les germes issus de l'homme et des animaux « à sang chaud ») (HASLAY et LECLERC, 1993).

Ces micro-organismes ne présentent pas d'effets directs sur la santé, mais une concentration trop importante peut entraîner des problèmes d'ordre organoleptique.

Le dénombrement de la flore totale permet d'évaluer la densité bactérienne globale ; une faible valeur est le témoin de l'efficacité du traitement et de l'intégrité du système de distribution (DUGUET *et al*, 2006).

#### b. Coliformes

On les recherche traditionnellement dans l'eau potable, car leur origine fécale est connue depuis très longtemps. On parle souvent de coliformes totaux qui correspondent à des bacilles Gram négatif, oxydase négative, non sporogènes, aérobies ou anaérobies facultatifs, capables de se multiplier en présence de sels biliaires ou autres agents de surface ayant des propriétés inhibitrices de croissances analogues et capables de fermenter le lactose, avec production d'acide(ou d'aldéhyde) et de gaz en 48 heures à la température de  $37\pm 1^\circ\text{C}$ .

Les coliformes thermotolérants sont des coliformes ayant les mêmes propriétés de fermentation que les coliformes (totaux) à la température de  $44\pm 0.5^\circ\text{C}$  (NF T 90-413, 1985 ; GOURMELON *et al*, 2002).

Les coliformes sont intéressants, car un très grand nombre d'entre eux vivent dans le tube digestif de l'Homme et des animaux à sang chaud, où ils représentent moins de 10% des mi-

croorganismes. Dans l'eau, ils perdent leur viabilité plus lentement que la majorité des bactéries pathogènes intestinales et constituent donc un indicateur de contamination fécale de l'eau de première importance. De plus, leur résistance aux agents désinfectants, notamment au chlore, est voisine de la résistance des bactéries pathogènes ; ils vont donc constituer de bons indicateurs d'efficacité de traitement (REJSEK, 2002).

### c. Streptocoques fécaux ou entérocoques

Les streptocoques appartiennent à la famille des *Streptococaceae*. Ce sont des Cocci Gram<sup>+</sup>, aéro-anaérobies, non sporulés, fermentant le sucre.

C'est des bactéries capables de réduire le chlorure de 2,3,5-triphényl-tétrazolium en formazan et d'hydrolyser l'esculine à 44 °C sur les milieux de Slanetz et Bartley et la gélose à la bile, à l'esculine et à l'azoture (NA 766, 1998).

Leur caractère de bacilles Gram<sup>+</sup> leur confère une bonne résistance dans les milieux hydriques (eaux douces et marines). Ce qui permettrait la mise en évidence de pollutions plus anciennes.

Ils sont également plus résistants à la désinfection, ce qui présente un intérêt en tant qu'indicateur d'efficacité de traitement, et ne présentent pas (contrairement aux coliformes) de phénomènes de croissance dans les réseaux de distribution (JESTIN, 2005).

### d. Bactéries anaérobies sulfito-réductrices

**Spores de bactéries ASR :** formes de résistance de microorganismes se développant en anaérobiose à 37±1°C en 24 heures et/ou 48 heures en gélose viande-foie, en donnant des colonies typiques réduisant le sulfite de sodium.

**Spores de *Clostridium* sulfito-réducteurs :** spores de bactéries ASR en bacilles, Gram positif, ne possédant pas de catalase et ayant l'aspect morphologique des *Clostridium* (NF T 90-415, 1985).

Les bactéries anaérobies sulfito-réductrices ou les *Clostridium* sulfito-réducteurs ne sont pas tous des indicateurs de contamination fécale. *Clostridium perfringens* (bien qu'effectivement présent dans les matières fécales) est un germe assez ubiquiste. L'intérêt de la recherche de tels indicateurs réside dans la propriété qu'ils ont de sporuler, ce qui les rend particulièrement résistant aux traitements de désinfection. Ils permettent en fait de mesurer l'efficacité de la filtration, seul étage de traitement capable de les arrêter (JESTIN, 2005).

## CHAPITRE IV

# TRAITEMENT DES EAUX DE SURFACE

Les eaux destinées, directement ou indirectement, à la consommation humaine doivent être saines et sans danger pour la santé du consommateur (à court comme à long terme) et ne doivent pas se dégrader lors de leur transport dans les réseaux de distribution. Ainsi, chaque eau brute prélevée dans le milieu naturel présente un nombre plus ou moins important de paramètres à ajuster ou à éliminer, auxquels correspond (ent) une (ou plusieurs) technique(s) de traitement.

Le traitement de l'eau est inexistant en cas d'utilisation d'eau souterraine bien protégée et conforme aux normes de potabilité. Il peut comporter simplement une étape de filtration couplée à une post-désinfection au chlore. Lorsque la ressource est, par contre, d'origine superficielle (et contient donc divers polluants chimiques et biologiques), le traitement renferme toute une série d'étapes. Il est plus ou moins poussé selon la qualité de l'eau brute utilisée (FESTY *et al*, 2003).

#### **4.1. Traitements des eaux de surface**

La réglementation concernant l'utilisation des eaux douces superficielles, pour la production d'eau potable, identifie trois catégories décroissantes de qualité d'eau brute (A1, A2, A3), auxquelles sont associés trois niveaux de traitements de plus en plus poussés. Le traitement moderne des eaux de surface met en œuvre une combinaison de procédés adaptés aux caractéristiques de chaque eau brute. Cette combinaison constitue la filière de traitement (JESTIN, 2005).

##### **4.1.1. Traitement physique**

Le traitement physique de l'eau a pour objectif l'élimination, par des procédés mécaniques, tous les éléments grossiers qui pourraient détériorer les équipements de la filière, ou constituer une gêne pour les traitements ultérieurs.

- Le dégrillage retient les corps flottants volumineux, qui pourraient boucher les pompes et obstruer les canalisations.
- Le dessablage et le débouage retiennent les particules minérales grossières et une partie des limons, dans le but de protéger les équipements tournants de l'abrasion et d'éviter la surcharge du décanteur.
- Le tamisage et le micro-tamisage visent à éliminer les particules les plus fines (25 à 150  $\mu\text{m}$ ) (JESTIN, 2005).

### 4.1.2. Oxydation/Désinfection

L'oxydation peut avoir différents objectifs :

- éliminer le goût, les odeurs et la couleur ;
- éliminer l'ammoniaque ;
- éliminer le fer et le manganèse (les transformer en hydroxydes insolubles facilement séparables du liquide par décantation et filtration) ;
- oxyder les matières organiques dissoutes, qui se transforment en composés plus facilement biodégradables ; etc.

L'oxydation peut être chimique, en utilisant les composés suivants : des agents chlorés (le chlore gazeux (Cl<sub>2</sub>), l'hypochlorite de sodium ou « eau de Javel » (NaClO), le dioxyde de chlore (ClO<sub>2</sub>)) ; l'ozone (O<sub>3</sub>) ; le permanganate de potassium (KMnO<sub>4</sub>). Elle peut également être réalisée en utilisant des rayonnements UV.

Le choix de l'oxydant dépend de la qualité des eaux brutes utilisées et des objectifs que l'on veut atteindre (ANONYME 4, 2014).

#### a. Oxydation chimique

##### ➤ Chloration

La chloration est actuellement le procédé de désinfection le plus fréquemment rencontré.

#### • Chlore gazeux et hypochlorite de sodium

Le chlore gazeux (Cl<sub>2</sub>) est injecté à des doses précises ; un temps de contact suffisant doit être respecté afin d'assurer une efficacité maximale de l'oxydation.

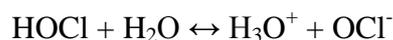
Le chlore est introduit dans l'eau à partir de chlore gazeux (Cl<sub>2</sub>) :



ou d'hypochlorite de sodium (NaClO) :



Il forme l'acide hypochloreux (HOCl) qui se dissocie selon la réaction suivante pour former des ions hypochlorites (OCl<sup>-</sup>) :



L'oxydation par le chlore a une bonne efficacité sur l'ammoniaque, le fer et le manganèse. Il facilite également la clarification, mais la combinaison du chlore et de la matière organique, lorsqu'elle est incomplètement éliminée au cours des étapes précédentes, conduit à la formation de composés organiques chlorés tels que les trihalométhanes (THM), respon-

sables de mauvais goûts.

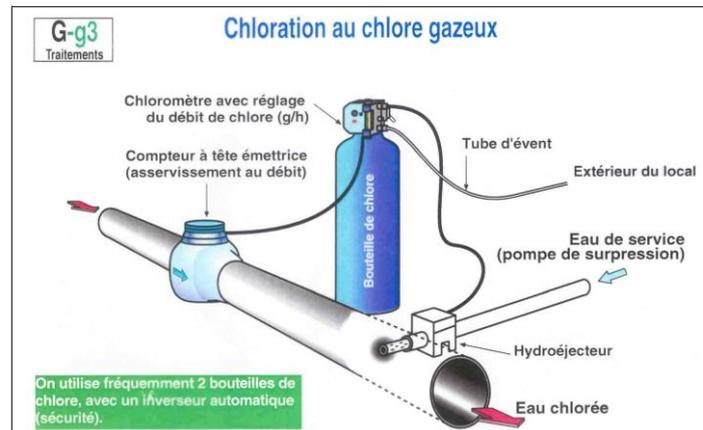


Figure 5 : Chloration au chlore gazeux (JESTIN, 2005).

- **Dioxyde de chlore**

Le dioxyde de chlore ou bioxyde de chlore ( $\text{ClO}_2$ ) est un oxydant puissant. Il agit plus rapidement que le chlore sur les matières oxydables. Il ne réagit pas avec l'ammoniaque et ne permet donc pas de l'éliminer.

Sa mise en œuvre est délicate : c'est un gaz très toxique qui doit être fabriqué sur place. Le produit se conserve 4 à 5 heures en solution diluée ; il peut donc être momentanément stocké avant injection. Le pH a peu d'effet sur son efficacité et il ne forme pas de composés indésirables comme les THM. En revanche, il peut former d'autres sous-produits tels que les chlorites et les chlorates.

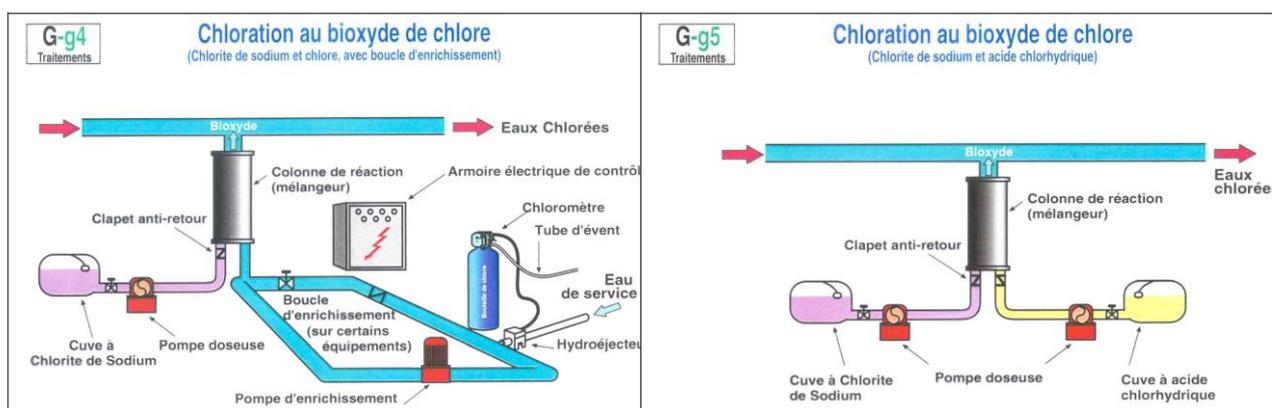


Figure 6 : Chloration au bioxyde de chlore (JESTIN, 2005).

### ➤ Ozonation

L'ozone ( $O_3$ ) est un oxydant rapide et puissant qui présente de nombreux avantages : il améliore la qualité organoleptique de l'eau (goût et odeurs), élimine la couleur due au fer, au manganèse et aux matières humiques, oxyde les molécules organiques à longues chaînes, les rendant plus facilement biodégradables (matière organique, pesticides) et élimine les algues (lutte contre les salissures). Il ne réagit pas avec l'ammoniaque et ne permet donc pas son élimination. Il présente, par ailleurs, l'inconvénient de produire des bromates quand l'eau brute contient des bromures.

L'ozone est produit dans des ozoneurs à partir d'oxygène (rare) ou d'air (plus fréquemment) par l'action ionisante d'un champ électrique.

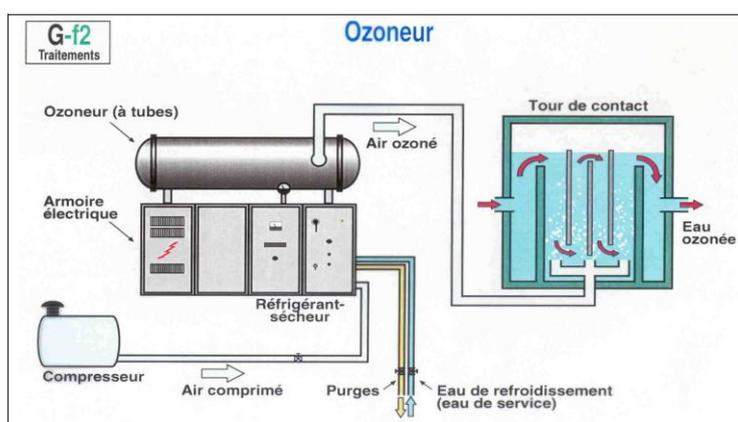


Figure 7 : Ozoneur (JESTIN, 2005).

### ➤ Permanganate de potassium

Le permanganate de potassium est principalement utilisé dans le cas d'eaux brutes riches en fer et en manganèse, car il est plus efficace que le chlore dans l'oxydation des métaux. Il a par contre l'inconvénient d'être assez coûteux.

#### b. Rayons UV

Les rayons ultra-violetts ont un pouvoir germicide élevé (effet maximum à 250 nm). Ils exigent une très bonne qualité d'eau vis-à-vis des MES et de la turbidité. Tout comme l'ozone, les UV n'ont pas d'action rémanente, ce qui limite généralement leur utilisation aux réseaux de distribution courts (ANONYME 4, 2014).

### 4.1.3. Clarification

La clarification a pour objectif l'élimination de la turbidité (matières en suspension et colloïdes).

La clarification des eaux de surface se déroule en plusieurs étapes : coagulation, floculation, décantation et filtration.

#### ➤ **Coagulation**

La coagulation a pour objectif d'agglomérer les colloïdes qui sont, en effet, naturellement maintenus en suspension sous l'action de forces électrostatiques de répulsion. Pour rompre ces forces et déstabiliser les colloïdes, on injecte des réactifs appelés "coagulants", qui conduisent à la formation de précipités insolubles appelés "flocs" capables de décanter. L'injection du réactif se fait dans un compartiment sous forte agitation. Les réactifs utilisés sont des sels de fer et d'aluminium (sulfate d'aluminium, aluminat de sodium, sulfate ferreux ou ferrique, ... etc).

#### ➤ **Floculation**

La floculation a pour objectif d'accroître le volume, le poids et la cohésion des flocs formés. Dans un compartiment distinct de celui de la coagulation, on réalise une agitation lente qui permet, grâce à l'injection d'un réactif appelé "floculant", l'agglomération des flocs et donc, leur grossissement. Les réactifs généralement utilisés sont la silice activée, les alginates de sodium, les polyélectrolytes, ... etc.

#### ➤ **Décantation**

La décantation a pour objectif de séparer, par gravité, les flocs formés de l'eau. Le mélange eau/flocs entre dans le décanteur à vitesse réduite de façon à éviter les turbulences. Les flocs sont ensuite récupérés par décantation en fond de l'ouvrage et constituent des boues, qui sont extraites périodiquement.

Il existe deux grands types de décanteurs : les décanteurs à flux horizontal et les décanteurs à flux vertical.

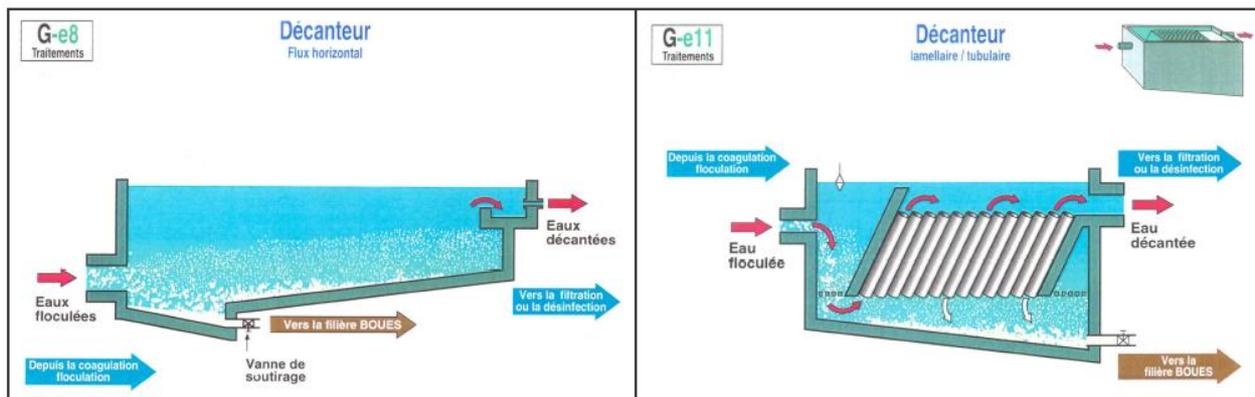


Figure 8 : Décanteurs à flux horizontal (JESTIN, 2005).

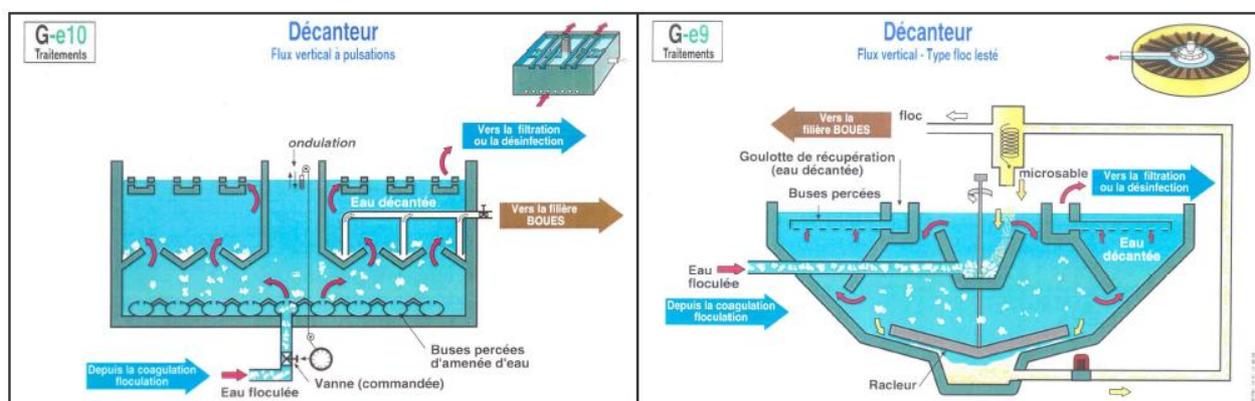


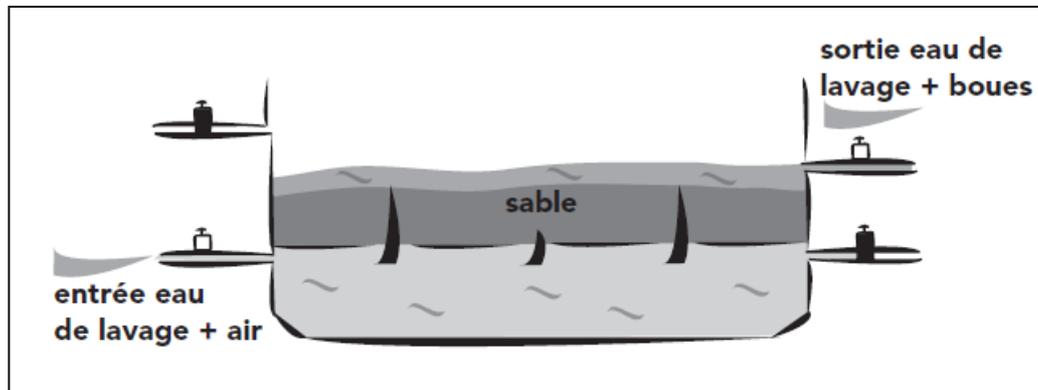
Figure 9 : Décanteurs à flux vertical (JESTIN, 2005).

➤ Filtration

La filtration permet de retenir les dernières particules en suspension non éliminées lors de l'étape de clarification, en faisant circuler l'eau à travers un milieu poreux (lit filtrant) qui est le plus souvent du sable. L'efficacité de la filtration dépend de la taille des grains de sable, de la hauteur de la couche de sable et de la vitesse de filtration.

Le filtre peut jouer un double rôle suivant les conditions d'exploitation : d'une part, il retient les matières en suspension par filtration et, d'autre part, il constitue un support bactérien permettant un traitement biologique, c'est-à-dire une consommation des matières organiques et de l'ammoniaque par les bactéries qui se sont développées sur le sable.

Le filtre à sable nécessite un nettoyage périodique, afin d'éliminer les matières retenues entre les grains qui ralentissent le passage de l'eau. Le lavage se fait en envoyant (de bas en haut) un courant d'air pour éliminer l'entassement du sable, puis un courant d'eau et d'air qui permet de détacher et d'entraîner les particules fixées sur les grains. À la remise en service du filtre, les premières eaux sont soit rejetées au milieu naturel, soit recyclées en tête de traitement.



**Figure 10 :** Filtre à sable en situation de lavage à contre courant (ANONYME 4, 2014).

#### 4.1.4. Traitements particuliers

Certaines substances ne sont pas atteintes par le seul traitement classique ; si leur quantité est supérieure à la norme, un traitement particulier est nécessaire.

##### a. Dureté, agressivité et pH

Une eau peut être dure ou douce, entartrante ou agressive.

La dureté de l'eau provient d'une concentration excessive en sels de calcium et de magnésium.

Une eau dure consomme du savon et n'est pas favorable à la cuisson des légumes.

Le caractère entartrant ou agressif provient des conditions d'équilibre entre le gaz carbonique dissous dans l'eau et le calcium.

Pour réduire la concentration en calcium et limiter les risques de dépôt calcaire, plusieurs méthodes sont possibles :

- l'adoucissement sur résines échangeuses d'ions (remplacement des ions  $\text{Ca}^{2+}$  par des ions  $\text{Na}^+$ ) ;
- la décarbonatation à la chaux.

Au contraire, lorsque l'on veut augmenter la dureté de l'eau, on injecte, dans la plupart des cas, du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) et de la chaux ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

Les corrections de pH, qui permettent de déplacer cet équilibre, sont obtenues par ajout de réactifs comme la soude, la chaux, l'acide sulfurique... etc.

**b. Nitrates**

Deux grands procédés sont utilisés pour éliminer ou transformer les nitrates :

- un procédé physicochimique qui fait intervenir des résines spécifiques ; des chlorures et des hydrogénocarbonates vont se substituer aux nitrates ;
- un procédé biologique qui consiste en une réduction en azote gazeux, en l'absence d'oxygène.

Dans le cas de l'eau potable, les bactéries sont fixées sur un support qui sert également de filtre.

**c. Ammoniaque**

Outre l'oxydation chimique, une oxydation biologique peut éliminer l'ammoniaque. Elle est assurée par des bactéries nitrifiantes, qui transforment l'ammoniaque en nitrites puis en nitrates. C'est lors de la filtration sur sable que ce procédé peut être développé.

**d. Matière organique**

La matière organique naturelle, qui n'a pas été éliminée par la filière classique, peut être traitée à l'ozone, ce qui entraîne une décoloration et une désodorisation de l'eau.

Elle peut également être adsorbée et/ou filtrée biologiquement sur du charbon actif en grain.

**e. Micropolluants organiques**

Ce sont essentiellement les procédés d'oxydation et d'adsorption qui permettent l'abattement de ces pollutions.

L'ozone, oxyde plus ou moins facilement ces substances.

L'adsorption sur charbon actif (qu'il soit en grain, sur des filtres ou en poudre, injecté au niveau de la clarification), permet une rétention de la plupart des micropolluants (ANONYME 4, 2014).

PARTIE

PRACTIQUE

PRÉSENTATION DE L'UNITÉ

ET DES ÉTAPES DE TRAITEMENT

Dans le cadre de notre stage pratique, qui a duré un mois (23 juillet - 24 août), au niveau de la Station de Traitement d'Eau potable de Taksebt (STE Taksebt), nous avons procédé au contrôle bactériologique, organoleptique et physicochimique des eaux brute et traitée, afin d'évaluer la qualité des traitements apportés à l'eau venant directement du barrage Taksebt. Ce dernier, étant de type « contrefort » (Annexe I), de capacité de 180 millions m<sup>3</sup>, de hauteur de 82 m et s'étendant sur une surface de 550 ha, a été officiellement mis en service le 5 juillet 2007. Il comprend une station de pompage, une station de traitement et des tunnels dont une canalisation de 95 km, pour permettre le transfert de 150 millions de m<sup>3</sup>/an.

### 1. Présentation de la STE Taksebt

La STE Taksebt (Annexe II), se situant à l'Oued AISSI (à quelques kilomètres de la wilaya de Tizi Ouzou), a été mise en service en juillet 2008. Elle a été construite et exploitée par SNC LAVALIN jusqu'au 18 juillet 2013, puis reprise en gestion par la SEEAL.

Alimentée à partir du barrage de Taksebt (de façon gravitaire sur une distance de 8 km), elle alimente 25 communes et assure l'approvisionnement de trois wilayas (Tizi Ouzou, Boumerdès et Alger).

Le transport de l'eau potable, vers les régions à alimenter, se fait de façon gravitaire depuis la STE jusqu'au réservoir d'eau traitée de DBK, puis l'eau continue à être transférée à travers les conduites de fonte et les tunnels jusqu'au réservoir de BOUDOUAOU. Tout au long du transfert, des piquages sont opérés pour alimenter les villes de TIZI OUZOU et de DBK (Figure 11).

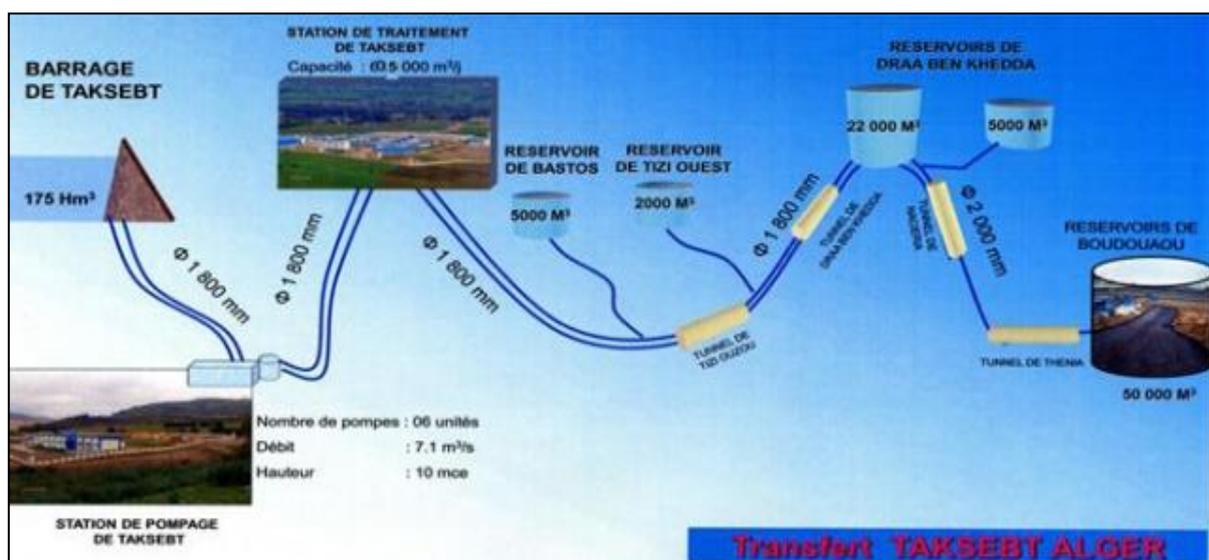


Figure 11: Transfert d'eau Taksebt – Alger.

La STE Taksebt est constituée d'une usine de traitement de 605 000 m<sup>3</sup>/j et dotée d'une filière classique (coagulation, floculation, décantation et filtration) de dernière génération. Elle dispose d'une capacité de stockage, sur site, de 28 000 m<sup>3</sup>.

## 2. Description des étapes de traitement

La figure suivante illustre les différentes étapes de traitement de l'eau potable au niveau de la STE Taksebt.

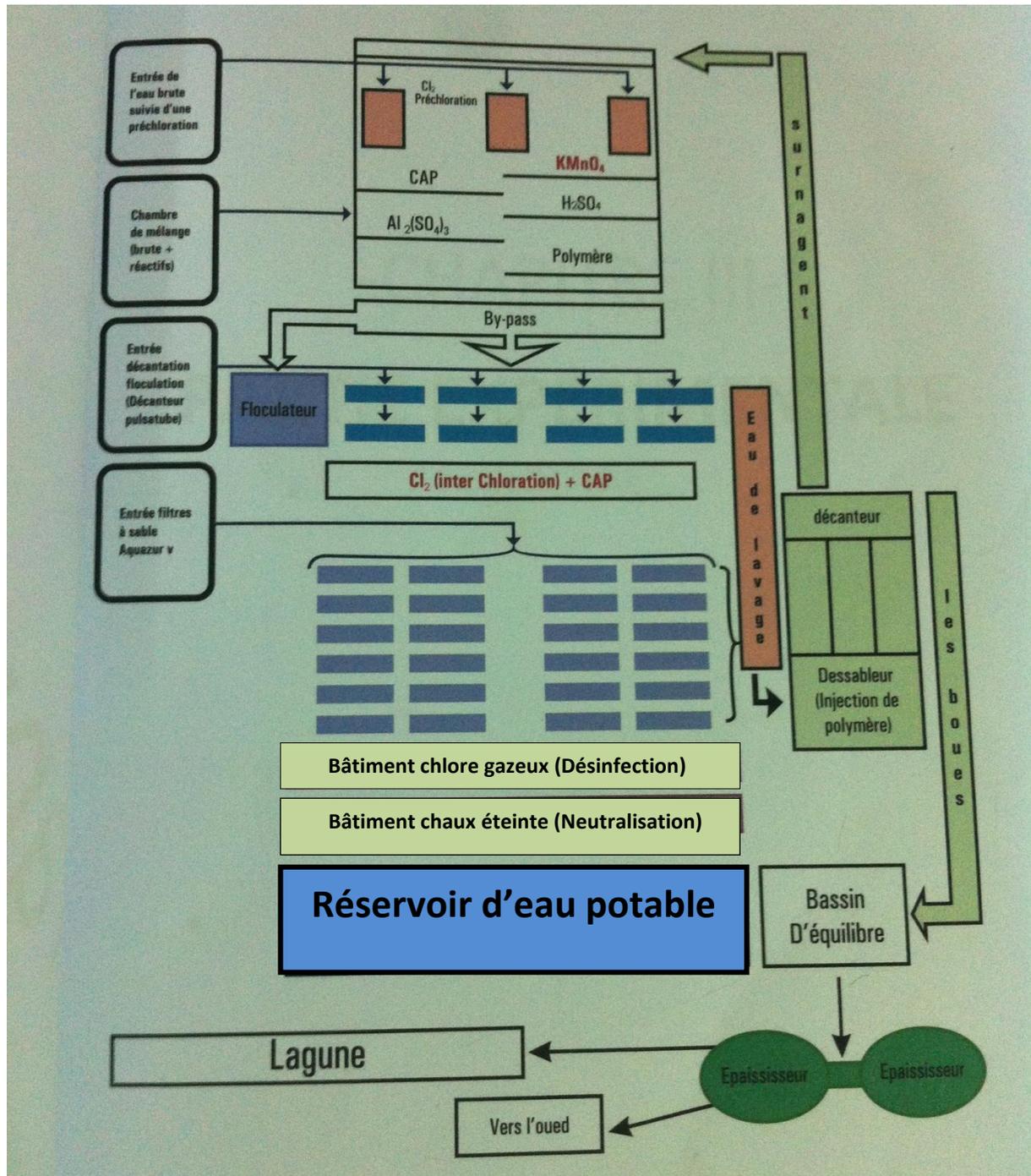


Figure 12 : Étapes de traitement de l'eau potable au niveau de la STE Taksebt.

### ➤ Ouvrage d'entrée

L'arrivée de l'eau brute à la STE Taksebt se fait dans la chambre de dissipation, dans laquelle retourne également l'eau surnageant des dessableurs. Si nécessaire, il est possible de procéder à une pré-chloration ( $\text{Cl}_2$ ) dans l'ouvrage, principalement dans le but de limiter la présence d'organismes (algues, bactéries, plancton) susceptibles de proliférer dans les filières de traitement.

L'eau brute passe ensuite à travers la chambre de mélange (répartition), qui assure un temps de contact suffisant entre l'eau et les réactifs utilisés. Ceux-ci se résument en :

- Permanganate de potassium : limiter la présence de manganèse et/ou contrôler la charge biologique ;
- Charbon actif en poudre (CAP) : contrôle du goût et des odeurs ;
- Sulfate d'alumine ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ): coagulant pour faciliter la clarification dans les décanteurs ;
- Acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) : ajustement du pH pour optimiser la coagulation.

L'ouvrage de répartition permet deux choix d'exploitation :

- Une répartition équilibrée du débit vers les décanteurs (2 filières de 4 décanteurs chacune).
- Une répartition du débit vers les ouvrages de by-pass des décanteurs (1 canal pour chaque filière).

Lorsque les canaux de by-pass sont utilisés, un polymère y est injecté de manière à assurer une floculation directement sur les filtres.

### ➤ Décanteurs

L'eau est répartie dans les décanteurs depuis le canal de répartition, se situant à la sortie de la chambre de mélange. Du polymère est injecté à l'entrée de chacun des décanteurs (Pulsatube), destinés à clarifier l'eau (floculée au préalable) par décantation des MES.

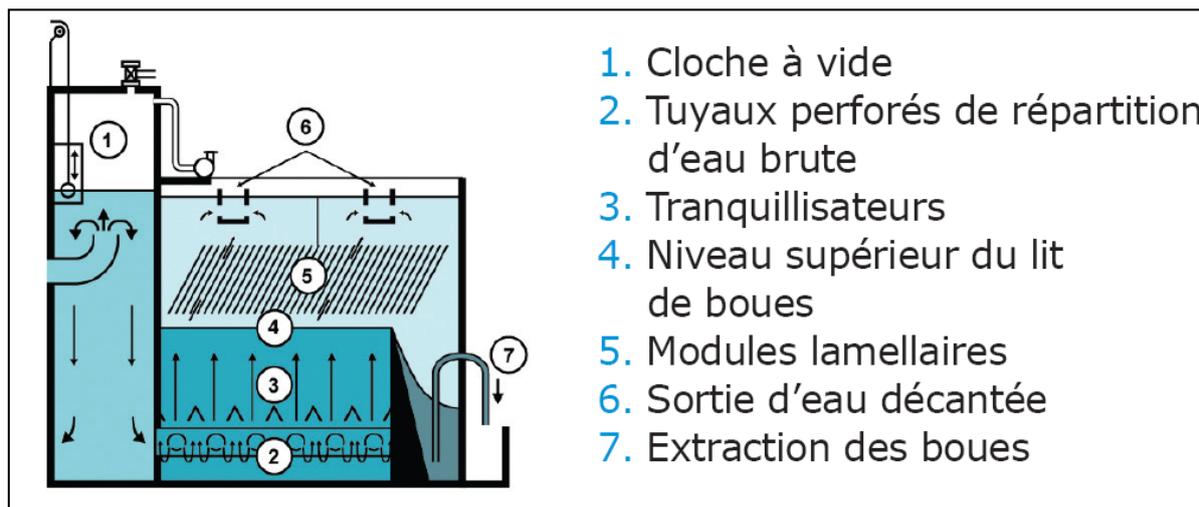
L'ajout de polymère en amont des décanteurs permet la concentration des MES en floccs, plus facilement décantables. Les contacts entre particules sont d'autant plus fréquents que leur concentration est grande dans l'eau. C'est le principe de base des décanteurs à lit de boues, dont fait partie le Pulsatube (utilisé au niveau de la STE Taksebt).

Une partie des MES décantée est conservée en fond d'ouvrage, formant un lit de boues. L'eau entrante traverse ce lit de bas en haut. Les floccs nouvellement formés à l'entrée des

décanteurs passent au travers du lit de boues, entrent en contact avec les floccs conservés et s'y agrègent. La boue concentrée est ensuite extraite de l'ouvrage à intervalles réguliers.

Les particules, échappées du lit de boues et entraînées par la vitesse ascendante de l'eau, se déposent sur les parois des modules lamellaires et s'agrègent entre elles, jusqu'à ce que la masse des floccs formés soit suffisante pour qu'ils glissent et redescendent dans le lit de boue.

Ces conditions sont remplies par le principe de l'introduction pulsée de l'eau : une entrée d'eau non permanente, mais pulsée.



**Figure 13 :** Principe de fonctionnement du Pulsatube.

#### ➤ Les canaux de by-pass

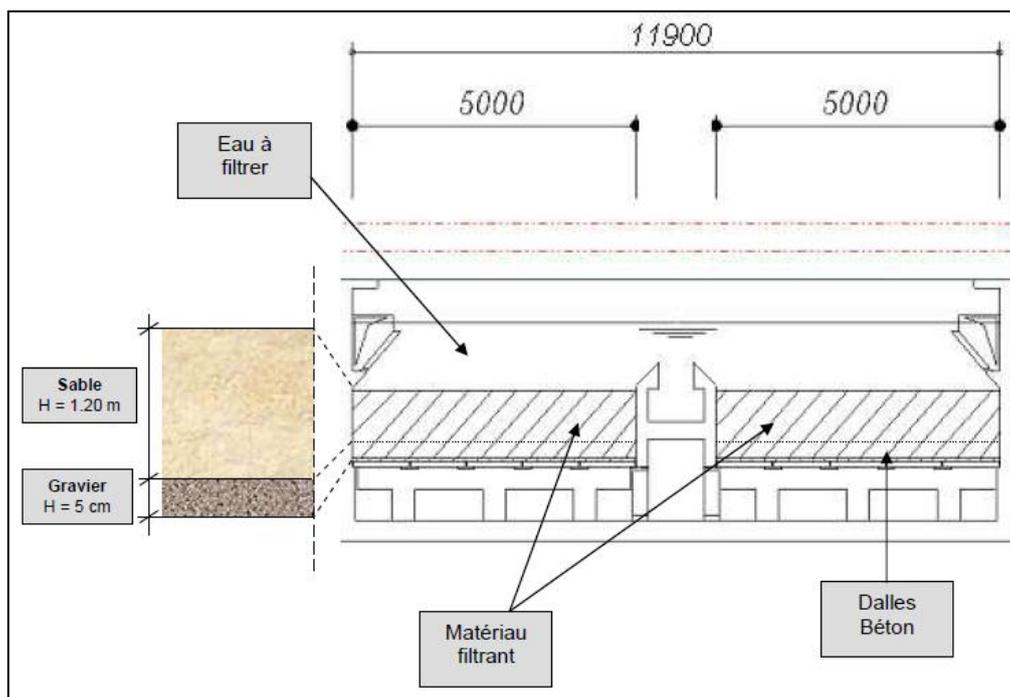
Les canaux de by-pass sont utilisés lorsque la qualité de l'eau brute ne nécessite pas l'utilisation de la décantation, pour atteindre les critères de qualité d'eau traitée.

L'eau brute est introduite dans chaque canal de by-pass par une vanne murale (manuelle). Du polymère est injecté (proportionnellement au débit) et le mélange de celui-ci et la formation des floccs sont améliorés par le passage dans deux flocculateurs successifs.

#### ➤ Filtres (AQUAZUR V)

Il s'agit de filtres à sable de granulométrie homogène, fonctionnant par gravité, lavables simultanément à l'air et à l'eau.

Au niveau de la STE Taksebt, pour chaque filière, l'eau venant des décanteurs ou du canal de by-pass est répartie entre 12 filtres.



**Figure 14 :** Coupe transversale d'un filtre à sable.

L'eau à traiter passe à travers un lit filtrant constitué de sable ; les MES sont retenues dans les espaces inter-granulaires.

La rétention des matières solides, contenues dans l'eau, provoque une obstruction progressive des interstices existant entre les éléments constitutifs de la matière filtrante ; ce phénomène est désigné sous le nom de "colmatage du filtre". L'usage d'un filtre colmaté risquerait la « crevaison » de celui-ci ; pour éviter cela, les filtres subissent un cycle de lavage automatique pour éliminer les particules capturées. La fréquence de ce lavage dépend principalement de la concentration en MES, du débit d'eau, et de la nature et granulométrie du matériau filtrant.

Le lavage se fait à l'eau et à l'air, à contre-courant et l'eau de lavage, étant chargée, est collectée puis dirigée vers le bassin d'équilibre et la filière de traitement des boues.

#### ➤ Réservoir d'eau traitée

L'eau du canal d'eau filtrée de chaque filière, après injection de chlore, est dirigée vers les cuves de contact qui débouchent sur le réservoir d'eau traitée, et de la chaux est injectée afin de limiter le pouvoir corrosif de celle-ci.

Le réservoir est formé de deux compartiments équipés d'une vanne d'isolement, d'un trop-plein, de raccords de vidanges et de transmetteurs de niveau d'eau.

Le réservoir débouche dans une chambre de vannes, d'où se fait la distribution de l'eau traitée vers le réseau aval.

➤ **Dessableurs**

Les dessableurs reçoivent l'eau de lavage des filtres. Celle-ci passe d'abord à travers deux pièges à sable, qui permettent de retenir le sable de filtration, éventuellement emporté lors du lavage et qui sera ensuite pompé vers le bassin d'équilibre. Du polymère est ensuite injecté pour permettre la décantation, il en résulte alors des boues qui se déposent en fond de l'ouvrage. Celles-ci sont par la suite extraites et pompées vers le bassin d'équilibre. Parallèlement, les eaux « propres » surnageantes (résultant de la décantation) sont collectées puis recyclées en tête de station.

➤ **Bassin d'équilibre et épaisseurs**

Les boues des décanteurs sont mélangées à celles du traitement des eaux de lavage des filtres, dans le bassin d'équilibre. Celui-ci est un bassin tampon qui permet d'uniformiser le débit à acheminer vers les épaisseurs. Les boues y sont maintenues en suspension par agitation mécanique. Elles sont ensuite pompées dans le répartiteur où s'effectue l'injection du polymère, puis dirigées vers les épaisseurs circulaires, où un temps de séjour, suffisamment long, et une agitation, suffisamment faible, permettent le tassage des boues en fond d'ouvrage et la séparation de l'eau en surface (surnageant).

Un raclage de fond rotatif permet d'entraîner les boues épaissies vers la fosse centrale, d'où elles sont extraites. Elles sont, enfin, pompées vers les lagunes de stockage et le surnageant est évacué vers l'oued.

Ces différents ouvrages sont illustrés au niveau de l'annexe III.

# MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 3. Matériel et méthodes

Les différentes analyses ont porté sur l'eau brute (venant du barrage Taksebt) et l'eau traitée, durant la période allant du 23 juillet au 24 août 2016.

#### 3.1. Analyses bactériologiques

Un échantillonnage approprié est essentiel pour fournir des échantillons représentatifs au laboratoire d'analyse. Pour garantir la fiabilité des résultats, un certain nombre de facteurs est à respecter :

- \* la qualité des prélèvements ;
- \* les conditions d'acheminement des échantillons au laboratoire d'analyses;
- \* les pratiques au laboratoire ;
- \* le matériel utilisé.

##### 3.1.1. Conditions générales de manipulation en microbiologie

###### ➤ Échantillon

###### - Échantillonnage

L'échantillonnage d'eau, pour les analyses microbiologiques, doit être correctement effectué dans un récipient stérile, évitant toute contamination accidentelle. Le volume prélevé doit être suffisant pour assurer l'ensemble des paramètres demandés (flacons de 1 litre).

###### - Transport

Les échantillons prélevés doivent être remis le plus tôt possible pour analyse, ils doivent être acheminés dans des conditions qui évitent une modification du nombre de microorganismes présents : glacières (températures comprises entre 2 et 10°C).

###### - Milieux de culture

Les milieux de culture utilisés en bactériologie, au niveau de la STE Taksebt, sont livrés « prêts à l'emploi », conditionnés dans des flacons en verre, à compléter ou non par des additifs. Ils sont stockés à l'abri de la lumière, de préférence dans des réfrigérateurs.

Les milieux complets (avec additifs), coulés en boîtes de Pétri et conditionnés au laboratoire, se conservent une semaine.

### 3.1.2. Technique de filtration sur membrane

La technique utilisée pour les analyses bactériologiques, au niveau de la STE Taksebt, est la filtration sur membrane (Figure 15) puis étalement en surface ou ensemencement en profondeur (selon le germe recherché)

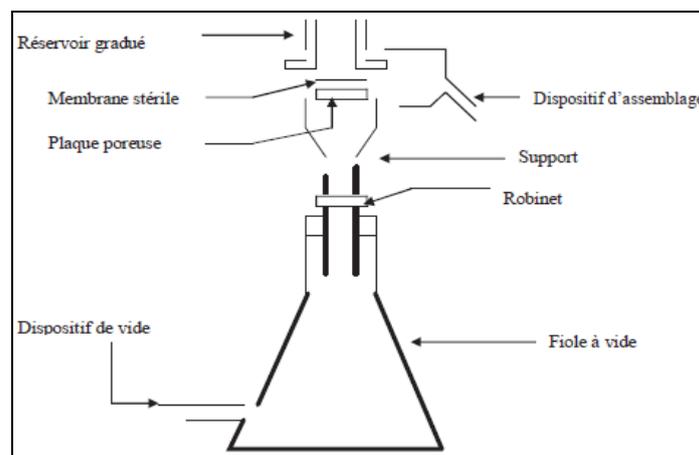
La filtration sur membrane est une technique de numération, adaptée pour énumérer des bactéries présentes à des concentrations très faibles dans l'eau.

La technique par filtration n'est pas appropriée pour des eaux usées brutes, à cause de la charge bactérienne très élevée et de la teneur excessive en MES, pouvant provoquer le colmatage de la membrane.

#### ➤ Principe

Le principe repose sur 4 étapes qui sont : la filtration, la culture, l'incubation et le dénombrement des colonies. Elle se résume en :

- la filtration d'un volume donné d'échantillon, sur une membrane de cellulose stérile de  $0,45\mu$  de porosité ;
- le dépôt de la membrane sur un milieu gélosé sélectif ;
- l'incubation aux températures et temps convenables ;
- le dénombrement des unités formant colonies (UFC) dans le volume de référence choisi.



**Figure 15 :** Dispositif de filtration.

#### ➤ Étapes de la filtration sur membrane

- Préparation du dispositif de filtration ;
- Relier le dispositif de filtration à une source de vide (pompe à eau) ;

- Brancher la pompe à une prise de courant ;
- Ouvrir le robinet du dispositif de filtration ;
- Enlever le réservoir et stériliser, à la flamme, la surface du support poreux, ainsi que le réservoir, puis laisser refroidir ;
- Placer, à l'aide d'une pince préalablement passée à la flamme puis refroidie, une membrane stérile (la tenir seulement par le bord extérieur) sur la base du support poreux ;
- Homogénéiser bien l'échantillon et verser un volume V connu d'échantillon (100 ml au niveau de la STE Taksebt) ;
- Ouvrir le robinet et faire un vide pour filtrer lentement l'eau à travers la membrane ;
- Refermer aussitôt le robinet après que tout l'échantillon ait été filtré ;
- Retirer le réservoir et ensuite la membrane et la déposer sur le milieu de culture.

### Remarques

- Faire attention en déposant la membrane pour ne pas emprisonner de bulles d'air entre celle-ci et le milieu. Si cela se produisait, soulever légèrement la membrane en la tenant par le bord et la redéposer très doucement pour éliminer la bulle d'air.
- Le réservoir peut être réutilisé sans désinfection pour le même échantillon. Pour filtrer un autre échantillon, désinfecter, à nouveau, le réservoir et le support poreux.

Au niveau de la STE Taksebt, les germes recherchés, les milieux de culture utilisés ainsi que les temps et les températures d'incubation sont résumés dans le tableau qui suit ; les modes opératoires sont illustrés au niveau des annexes IV, V, VI et VII.

**Tableau IV : Germes recherchés au niveau de la STE Taksebt.**

Germe recherché	Volume d'eau filtrée	Milieu de culture	Conditions d'incubation	Référence
<b>Microorganismes revivifiables à 22°C</b>	1 ml	Gélose TGEA	72 h à 22°C	NF EN ISO 6222
<b>Microorganismes revivifiables à 37°C</b>	1 ml	Gélose TGEA	48 h à 37°C	NF EN ISO 6222
<b>Coliformes totaux</b>	100 ml	Tergitol 7	24 et 48 h à 37°C	NF EN ISO 9308-1
<i>E. coli</i>	100 ml	Tergitol 7	24 et 48 h à 44°C	NF EN ISO 9308-1
<b>Streptocoques fécaux</b>	100 ml	Slanetz et Bartley	24 et 48 h à 37°C	NF EN ISO 7899-2
<b>ASR</b>	100 ml	Bouillon viande-foie	24 et 48 h à 37°C	NF EN 26461-2

### 3.2. Analyses organoleptiques et physicochimiques

Le matériel et les méthodes utilisés pour doser les paramètres organoleptiques et physicochimiques sont représentés dans le tableau V.

**Tableau V :** Matériel et méthodes utilisés pour le dosage des différents paramètres physicochimiques au niveau de la STE Taksebt.

Paramètre(s) mesuré(s)	Méthode	Matériel
pH	Potentiométrie	pH mètre WTW ionLab pH-730
Turbidité	Spectrométrie d'absorption	Turbidimètre HACH 2100N
Conductivité	/	Conductimètre WTW inoLab Terminal-740
Température		
Oxygène dissous	Électrochimie	Oxymètre VWR OX 4000 L
Chlore	Colorimétrie	Chloromètre HACH DR/890
Couleur		
Absorbance UV		
Sulfates		
Aluminium		
Ammonium		
Nitrates		
Nitrites		
Orthophosphates		
Fer		
Manganèse		
CO <sub>2</sub> libre		
Chlorures		
TA, TAC		
TH		
Matière organique		
MES	Filtration sur fibre de verre	Rampe de filtration
Résidu sec	/	Four à moufle

#### 3.2.1. Paramètres organoleptiques

##### 3.2.1.1. Goût et saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune, perçues lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche.

La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation, par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs.

### ➤ Principe

Cette mesure repose sur la finesse du sens gustatif de l'opérateur. L'eau est diluée avec une « eau de référence » (LALLA KHEDIDJA au niveau de la STE Taksebt). La dégustation est effectuée en commençant par les dilutions les plus grandes jusqu'à l'apparition du goût.

Une liste non limitative peut alors apparaître :

**Tableau VI:** Liste des saveurs et goûts pouvant apparaître lors de la dégustation d'une eau (RODIER, 2009).

Nature de la saveur ou du goût	Remarques
Saveur acide	
Saveur amère	
Saveur salée	sulfates-chlorures
Saveur sucrée	
Saveur salée et amère	eau magnésienne
Goût hydrogéo-carbonaté, alcalin	type eau de Vichy
Goût métallique	fer, manganèse, cuivre...
Goût chloré	
Goût d'hydrocarbures	traces d'hydrocarbures
Goût de mandarine	oxydation de traces d'hydrocarbures
Goût pharmaceutique	produits organiques
Goût de chlorophénol	chlorophénol
Goût de terre	eaux de zones calcaires
Goût de vase	eaux des étangs, eaux stagnantes
Goût de marée	poissons, métabolites de certains organismes de plancton
Goût de moisi	moisissures, champignons inférieurs, levures
Goût de bouchon moisi	herbicides, pesticides

### ➤ Expression des résultats

Le résultat est donné après appréciation du « seuil de goût ». Ce dernier correspond, pour un dégustateur donné, à la limite de perception de ce goût : la dilution précédente (plus diluée) n'ayant pas de goût particulier. Si ce seuil est atteint pour  $V_1$  ml d'eau testée +  $V_2$  ml d'eau de référence, le seuil d'apparition de goût est par convention :

$$S = \frac{V_1 + V_2}{V_1}$$

### 3.2.1.2. Couleur

Il existe deux mesures de la couleur, la couleur vraie et la couleur apparente :

- \* La couleur apparente est la mesure de la couleur d'une eau qui n'a subi aucun traitement (filtration ou centrifugation).
- \* La couleur vraie est la mesure de la couleur d'une eau non turbide. Pour effectuer cette mesure, il est nécessaire d'effectuer une centrifugation pour enlever les matières en suspension.

#### ➤ Mode opératoire

- Remplir une cuve (en quartz) de l'échantillon à analyser ;
- Bien essuyer ;
- L'introduire dans le spectrophotomètre et lire le résultat directement sur l'écran, à 455 nm (en unités Hazen).

### 3.2.1.3. Turbidité

La turbidité se mesure par la réflexion d'un rayon lumineux dans l'eau (test optique qui détermine la capacité de réflexion de la lumière).

#### ➤ Principe

L'appareil de référence (turbidimètre optique utilisé pour une turbidité inférieure à 40) comprend un faisceau lumineux qui traverse la cuve de mesure. La lumière, diffusée latéralement par les particules en suspension, est reçue par une cellule de mesure décalée de 90°. La lumière transmise est reçue par voie directe.

#### ➤ Mode opératoire

- Remplir le tube de mesure avec l'échantillon (environ 30 ml);
- bien l'essuyer ;
- l'introduire dans la chambre ;
- fermer celle-là ;
- lire directement le résultat (en NTU).

### 3.2.1.4. Matières en suspension

La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par centrifugation ou par filtration (sur fibre de verre). C'est cette dernière qui est utilisée au niveau de STE Tksebt.

### ➤ Principe

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

### ➤ Matériel spécial

- Dispositif de filtration sous vide ou sous pression.
- Disques filtrants en fibres de verre de diamètre de 0,45 µm.

### ➤ Mode opératoire

Selon la norme ISO 11923, procéder comme suit :

- Prendre une membrane filtrante et la marquer avec précaution pour ne pas l'abîmer ;
- Peser la membrane et noter sa masse à vide ;
- Placer la membrane sur la rampe de filtration ;
- Bien agiter l'échantillon ;
- Prélever 200 ml de l'échantillon et le transvider sur la membrane ;
- Procéder à la filtration : le volume filtré ne doit pas dépasser 1 litre ;
- Récupérer la membrane après filtration, puis la placer dans une étuve à 105°C pendant 1 h 30 mn minimum pour enlever l'excès d'eau ;
- Peser de nouveau la membrane, après passage au dessiccateur, puis noter sa nouvelle masse.

### ➤ Expression des résultats

La teneur de l'eau en MES (mg/l) est donnée par l'expression :

$$C_{MES} = (M_1 - M_0) \times 1000 / V$$

$M_0$  = masse du disque filtrant avant utilisation (mg).

$M_1$  = masse du disque filtrant après utilisation (mg).

$V$  = volume d'eau utilisé (ml).

## 3.2.2. Paramètres physicochimiques

### 3.2.2.1.pH

#### ➤ Principe

La méthode est basée sur l'utilisation d'un pH mètre, qui se caractérise par une très grande impédance d'entrée, en raison de la forte résistance présentée par l'électrode de mesure.

➤ **Mode opératoire**

- Remplir le vase de mesure avec l'échantillon ;
- Immerger l'électrode dans le vase ;
- Lire directement le pH lorsque la valeur s'est stabilisée.

### 3.2.2.2. Température

➤ **Mode opératoire**

La température de l'eau est mesurée à l'aide du conductimètre. Après introduction de la sonde de l'appareil dans l'échantillon, la température de ce dernier s'affiche directement sur l'écran de l'appareil, en plus de la conductivité. Elle est donnée en °C.

### 3.2.2.3. Anhydride carbonique libre

L'anhydride carbonique libre (CO<sub>2</sub>) peut exister soit sous forme d'anhydride carbonique équilibrant : quantité juste nécessaire pour qu'il n'y est pas précipitation des carbonates, et qui dépend des divers sels dissous dans l'eau ; soit en excédent dit anhydride carbonique en excès, susceptible de dissoudre en particulier du carbonate de calcium.

La fraction d'anhydride carbonique libre dissous qui disparaît lors de cette dernière dissolution est dite anhydride carbonique agressif pour le calcaire.

➤ **Principe**

L'eau est recueillie sur une quantité d'hydroxyde de sodium légèrement supérieure à celle qui est nécessaire pour neutraliser l'anhydride carbonique libre. L'hydroxyde de sodium en excès est ensuite dosé, en présence de phénolphaléine, par une solution titrée d'acide chlorhydrique.

➤ **Réactifs**

- Hydroxyde de sodium : solution N/40 ;
- Acide chlorhydrique : solution N/10 ;
- Solution titrisol 1N (solution commerciale)
- Phénolphaléine : solution de concentration de 10g/l.

➤ **Mode opératoire**

D'après la norme NF T 90-011, procéder comme suit :

- Introduire 10 ml de la solution d'hydroxyde de sodium N/40 dans une fiole jaugée de 200 ml ;
- Ajouter six à huit gouttes de phénolphaléine ;

- Compléter au trait de jauge avec l'eau à analyser ( $V = 190$  ml) sans agitation ni barbotage d'air ;
- Fermer la fiole avec un bouchon en caoutchouc bien propre ; la retourner pour l'homogénéiser. La solution devient rose, sinon opérer avec une plus grande quantité d'hydroxyde de sodium N/40 ;
- Poser la fiole sur l'agitateur après avoir, au préalable, placé une feuille blanche sur ce dernier ;
- Titrer en utilisant une burette remplie avec la solution d'acide chlorhydrique N/10 jusqu'à disparition de la couleur rose.
- Noter le volume A de l'acide chlorhydrique consommé.
- Faire un essai à blanc avec l'hydroxyde de sodium N/40, en opérant dans les mêmes conditions que pour le dosage. Noter le volume de l'acide chlorhydrique (B).

#### ➤ Exploitation des résultats

La quantité d'anhydride carbonique libre obtenue dans l'eau en milléquivalents par litre est donnée par l'expression :

$$C_{CO_2} = \left(\frac{B-A}{10}\right) \times \left(\frac{1000}{V}\right) \times 2 \quad \text{Soit : } C_{CO_2} = 200 \times \left(\frac{B-A}{V}\right)$$

Où :

$C_{CO_2}$  : concentration de l'anhydride carbonique en milléquivalents par litre.

V : volume en millilitre de la prise d'essais.

A : nombre de millilitre N/10 utilisé pour le dosage.

B : nombre de millilitre N/10 utilisé pour l'essai à blanc.

Pour trouver la concentration de l'anhydride en mg/l, appliquer la règle de trois sachant que :

$$1 \text{ mg/l de CO}_2 \rightarrow 0.04545 \text{ milléquivalents au litre.}$$

#### 3.2.2.4. Alcalinité

##### ➤ Principe

La détermination de l'alcalinité (titre alcalimétrique TA et titre alcalimétrique complet TAC) est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau, par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

➤ **Réactifs**

- Acide chlorhydrique ou sulfurique 0,02 N.
- Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0,5 %.
- Solution de vert de bromocrésol et de rouge de méthyle : Vert de bromocrésol 0,2 g, Rouge de méthyle 0,015 g, Éthanol à 90%.
- Eau déionisée exempte d'anhydride carbonique libre (par ébullition durant 15 min).

➤ **Mode opératoire**

Selon la norme NF T90-036, procéder comme suit :

**Détermination du TA**

-Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique. Ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénol phtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul, (pH < 8,3).

-Verser ensuite doucement l'acide dans la fiole, à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution (pH 8,3).

Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage.

**Détermination du TAC**

-Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration.

-Ajouter 2 gouttes de solution de vert de bromocrésol et de rouge de méthyle et titrer de nouveau avec le même acide, jusqu'à disparition de la coloration bleu verdâtre et apparition de la couleur rose (pH 4,5). Le dosage doit être effectué rapidement pour réduire les pertes de CO<sub>2</sub> qui pourraient entraîner une élévation du pH de virage.

Soit V' le volume d'acide (chlorhydrique ou sulfurique) à 0,02 N versé depuis le début du dosage.

➤ **Expression des résultats**

**TA :**

V/5 exprime le titre alcalimétrique (TA) en milliéquivalents par litre.

V exprime le titre alcalimétrique en degrés français (1°f correspond à 10 mg de carbonate de calcium ou à 0,2 mEq/l).

**TAC :**

V'/5 exprime le titre alcalimétrique complet (TAC) en milliéquivalents par litre.

V' exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français.

### 3.2.2.5.Dureté

La dureté ou titre hydrotimétrique (TH) est encore appelée dureté calcique et magnésienne ou consommation de savon. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en  $\text{CaCO}_3$ . Elle est aussi très souvent donnée en degrés français.

La dureté totale est déterminée par titrimétrie à l'EDTA (éthylène-diamine tétra-acétique) qui permet de doser rapidement les ions calcium et magnésium. C'est une méthode applicable pour les eaux souterraines, les eaux de surface et les eaux destinées à la consommation humaine. Elle peut aussi être utilisée pour les eaux résiduaires urbaines et les eaux brutes industrielles, à condition qu'elles ne contiennent pas de métaux lourds en quantités interférentes. La méthode n'est pas applicable aux eaux de mer et eaux à forte teneur en sels.

#### ➤ Principe

Titrage par complexométrie des ions calcium et magnésium avec une solution d'EDTA, à pH 10. L'indicateur utilisé est le noir érichrome T, qui donne une couleur rose en présence des ions calcium et magnésium. Lors du titrage avec l'EDTA, la couleur de la solution vire au bleu.

#### ➤ Réactifs

- Calcium, solution de référence 100 mg/l ;
- Solution d'EDTA 0,01 mol/l ;
- Solution tampon à pH 10 ;
- Indicateur : une pincée de noir érichrome T.

#### ➤ Mode opératoire

En se référant à la norme ISO 6059 NA752 :

- Prélever une prise d'essai de 50 ml ;
- Ajouter 4 ml de la solution tampon et une pincée de l'indicateur, bien mélanger. La solution doit se colorer en rose ;
- Titrer immédiatement à l'aide de la solution d'EDTA, en versant lentement tout en agitant constamment jusqu'au virage au bleu.

La couleur ne doit plus changer par addition d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

➤ **Expression des résultats**

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en °f, est donnée par l'expression :

$$TH = V_2 \times 2 \times f_c \times F$$

Où:

TH : dureté exprimée en °f.

$V_2$  : volume d'échantillon dosé en ml.

$f_c$  : facteur de correction (s'obtient après titrage de la solution de référence calcium par l'ETDA et se calcule comme suit :  $f_c = \text{Volume versé} / \text{Volume théorique (12,5 ml)}$ )

F : facteur de dilution (une dilution des prises d'essais est obligatoire lorsque la concentration totale en calcium et magnésium est supérieure à 230 mg/l)

• **Dureté calcique**

➤ **Principe**

Titrage des ions calcium avec une solution aqueuse d'EDTA à un pH compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est le murexide, qui forme un complexe rose avec le calcium. Lors du titrage, l'EDTA réagit avec le calcium, l'indicateur vire alors au violet.

➤ **Réactifs**

- Hydroxyde de sodium à 2 N ;
- Calcium, solution de référence à 100 mg/l ;
- Solution d'EDTA à 0,01 mg/l ;
- Indicateur : Murexide.

➤ **Mode opératoire**

En se basant sur la norme ISO 6058 NA 1655 :

-Prélever une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon, ajouter 2 ml de la solution NaOH et une pincée de l'indicateur. Bien mélanger puis titrer avec l'EDTA. Le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement violette.

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

➤ **Expression des résultats**

La teneur en calcium, exprimée en mg/l, est calculée avec l'équation :

$$Ca = \frac{C_1 \times V_1 \times A}{V_0} \times f_c \times 1000 \times F$$

Où :

$C_1$  : concentration de la solution d'EDTA en mol/l, soit 0,01.

$V_0$  : volume de la prise d'essai en ml, soit 50 ml.

$V_1$  : volume de la solution d'EDTA utilisé pour le dosage, en ml

A : masse atomique du calcium (40,08g)

$f_c$  : facteur de correction (même que celui de la dureté totale)

F : facteur de dilution (diluer les échantillons ayant une concentration supérieure à 100 mg/l de calcium)

- **Dureté magnésienne**

La différence entre la dureté totale et la dureté calcique donne directement la dureté magnésienne de l'eau analysée.

### 3.2.2.6. Chlorures

- **Principe**

Le dosage des chlorures est réalisé par titrage au nitrate d'argent ( $\text{AgNO}_3$ ), en utilisant du dichromate de potassium ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) comme indicateur.

Les ions chlorures réagissent avec les ions d'argent pour former du chlorure d'argent ( $\text{AgCl}$ ), insoluble qui précipite.

Ce précipité réagit avec l'indicateur  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  pour former du chromate d'argent, brun rouge ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ).

L'apparition de la coloration brun-rouge (virage) marque la fin du titrage.

- **Réactifs**

- Solution de nitrate d'argent 0,02 mol/l.
- Chromate de potassium (indicateur).
- Solution de référence de chlorure de sodium 0,02 mol/l.
- Solution d'acide nitrique 0,1 mol/l.
- Solution d'hydroxyde de sodium 0,1 mol/l.
- Carbonate de calcium ou mono-hydrogénocarbonate de sodium en poudre.

- **Mode opératoire**

Selon la norme NF ISO 9297 :

-Introduire, au moyen d'une fiole, 100 ml de l'échantillon ( $V_a$ ), dans un bécher conique, placé sur un fond blanc.

- \* Si la teneur en chlorures est élevée (plus de 200 mg/l), l'opérateur doit réaliser, au préalable, une dilution.
- \* Si le pH de l'échantillon n'est pas compris entre 5 et 9,5, il faut l'ajuster en utilisant soit l'acide nitrique, soit l'hydroxyde de sodium, soit la solution de carbonate de calcium ou bien d'hydrogénocarbonate de sodium, et noter le volume du réactif requis.
- \* S'il y a des ions ammonium dans l'échantillon, à des concentrations supérieures à 10 mg/l, il faut ajuster le pH entre 6,5 et 7 et noter le volume de réactif requis.

-Ajouter 1 ml d'indicateur de chromate de potassium et titrer la solution par addition, goutte à goutte, de nitrate d'argent jusqu'à ce que la solution prenne une couleur brun-rougeâtre. Noter le volume  $V_s$  de nitrate d'argent versé.

-Titrer une solution à blanc, en utilisant 100 ml d'eau distillée à la place de l'échantillon. Noter le volume de nitrate d'argent versé  $V_b$  ; ce volume ne doit pas dépasser 0,2 ml, dans le cas contraire, vérifier la pureté de l'eau (conductivité, pH, ...).

➤ **Expression des résultats**

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

$$C_{Cl} = \frac{(V_s - V_b) \times C \times f}{V_a}$$

Où :

$V_s$  : volume en ml de la solution de nitrate d'argent, utilisée pour le titrage de l'échantillon.

$V_b$  : volume en ml de la solution de nitrate d'argent, utilisée pour le titrage du blanc.

$V_a$  : volume en ml de l'échantillon.

$C$  : concentration réelle exprimée en mol/l, de la solution de nitrate d'argent, éventuellement corrigée du coefficient correcteur, établi lors de l'étalonnage de la solution de nitrate d'argent avec une solution étalon de référence.

$f$  : 35453 (masse molaire du Cl x 1000).

### 3.2.2.7. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau ( $\gamma$ ) est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique ( $\rho$ ).

#### ➤ Mode opératoire

Immerger, dans un bécher contenant l'échantillon à analyser, la cellule du conductimètre. Lire directement la valeur qui s'affiche sur l'écran, en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 3.2.2.8. Paramètres indésirables

#### • Aluminium

##### ➤ Principe

La méthode s'applique au dosage de faibles concentrations des ions  $\text{Al}^{3+}$ , jusqu'à 0,02 mg/l.

L'indicateur aluminon se combine avec l'aluminium dans l'échantillon pour former une coloration rouge-orange. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration de l'aluminium. L'acide ascorbique est ajouté pour éliminer l'interférence du fer. Le réactif AluVer 3, en poudre conditionnée en pochette, présente une stabilité exceptionnelle et est utilisable pour les eaux douces. La lecture est obtenue à 522 nm.

Pour les réactifs et le mode opératoire, voir annexe VIII.

#### • Fer

##### ➤ Principe

Le réactif FerroZine forme un complexe de couleur violette, avec les traces de fer dans l'échantillon tamponné à pH 3,5. Cette méthode est applicable pour la détermination des traces de fer dans les réactifs chimiques et les glycols. Elle peut être également utilisée pour analyser les échantillons contenant de la magnétite (oxyde de fer noir) ou des ferrites. La lecture est obtenue à 562 nm.

Les réactifs et le mode opératoire sont illustrés en annexe IX.

#### • Manganèse

##### ➤ Principe

La méthode utilisée constitue un protocole de détermination très sensible et rapide, adapté au dosage de faibles concentrations de manganèse. Un réactif à l'acide ascorbique est utilisé

dans un premier temps pour réduire toutes les formes oxydées du manganèse en  $Mn^{2+}$ . Un réactif de cyanure alcalin est ajouté pour masquer les interférences potentielles. Ensuite, un indicateur ajouté se combine au  $Mn^{2+}$  pour former un complexe de couleur orange. La lecture est obtenue à 560 nm.

Les réactifs utilisés et le mode opératoire figurent en annexe X.

- **Orthophosphates**

- **Principe**

L'orthophosphate réagit avec le molybdate, en milieu acide, pour produire un complexe mixte phosphate/molybdate. Ensuite, l'acide ascorbique réduit le complexe, provoquant ainsi une forte coloration bleue, due au molybdène. La lecture est obtenue à 880 nm.

Les réactifs et le mode opératoire sont illustrés en annexe XI.

- **Sulfates**

- **Principe**

Les ions sulfates de l'échantillon réagissent avec le baryum du SulfaVer 4 pour former un précipité de sulfate de baryum. L'intensité de la turbidité est proportionnelle à la concentration en sulfate. La lecture est obtenue à 450 nm.

Les réactifs et le mode opératoire sont représentés en annexe XII.

- **Ammonium**

- **Principe**

Mesurage spectrométrique du composé bleu, formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite, en présence de nitroprussiate de sodium. Les ions hypochlorite sont générés par hydrolyse alcaline du sel de sodium du dichoroisocyanurate de sodium.

- **Réactifs**

- Réactif coloré (salicylate de sodium et citrate trisodique dihydrate).
- Solution de dichoroisocyanurate de sodium.
- Solution mère étalon d'ammonium 100 mg/l.
- Solution fille étalon d'ammonium 1 mg/l.
- Solution de lavage (hydroxyde de potassium dans de l'eau distillée).

➤ **Mode opératoire**

En se référant à la norme ISO 7150/1 :

-Prélever 40 ml d'échantillon à analyser, ajouter dans l'ordre :

4 ml du réactif coloré homogénéisé ;

4 ml du réactif de dichloroisocyanurate de sodium et homogénéiser.

-Après au moins 60 mn, attendre le développement de la couleur. Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 655 nm. Le résultat est exprimé en mg/l.

• **Nitrates**

➤ **Principe**

Le cadmium réduit les nitrates dans l'échantillon en nitrites. L'ion nitrite réagit avec l'acide sulfanilique, pour former un sel de diazonium intermédiaire. Celui-ci réagit avec l'acide chromotrope, pour produire un complexe coloré rose. La lecture est obtenue à 507 nm.

Les réactifs et le mode opératoire sont indiqués en annexe XIII.

• **Nitrites**

➤ **Principe**

La méthode fait appel au sulfate ferreux, en milieu acide, pour réduire les nitrites en oxyde nitreux. Les ions ferreux se combinent à l'oxyde nitreux pour former un complexe vert-brun, dont l'intensité de la coloration est directement proportionnelle à la concentration en nitrites. La lecture est obtenue à 585 nm.

Les réactifs et le mode opératoires sont cités au niveau de l'annexe XIV.

### **3.2.2.9.Matière organique**

Le protocole décrit la détermination de l'indice de  $\text{KMnO}_4$ , ou « oxydabilité », permettant d'évaluer la contamination en matières organiques dans les eaux peu ou moyennement polluées.

L'indice de permanganate (d'une eau) correspond à la quantité d'ions permanganate consommés par l'échantillon d'eau à analyser. Il s'exprime en concentration d'oxygène équivalente.

➤ **Principe**

Chauffage d'un échantillon en présence d'une quantité connue de permanganate de potassium et d'acide sulfurique, pendant une période donnée (10 mn).

Réduction d'une partie du  $\text{KMnO}_4$  par les matières oxydables présentes dans l'échantillon.

Détermination de l'excès de permanganate par addition d'une solution d'oxalate, suivie par un titrage de l'oxalate en excès par le permanganate.

➤ **Mode opératoire**

Selon la norme ISO 8467, procéder comme suit :

-Transférer, à l'aide d'une pipette, 100 ml d'échantillon dans un bécher de 250 ml. Ajouter 20 ml d'acide sulfurique à 2 mol/l et mélanger en agitant doucement.

-Placer le bécher sur une plaque chauffante et porter à ébullition.

-Ajouter 20 ml de la solution étalon de permanganate de potassium à 2 mmol/l (coloration violette).

-Démarrer le chronomètre et maintenir à ébullition pendant 10 mn.

-Ajouter 20 ml de la solution étalon d'oxalate de sodium à 5 mmol/l et attendre que la solution se décolore.

-Retirer le bécher de la plaque et titrer, pendant que la solution est encore chaude, avec du  $\text{KMnO}_4$  à 2 mmol/l jusqu'à obtention d'une coloration rose pâle.

-Noter le volume  $V_1$  de permanganate consommé.

-Effectuer parallèlement à la détermination un essai à blanc en utilisant le même mode opératoire, mais en remplaçant la prise d'essai par 100 ml d'eau distillée.

-Noter le volume  $V_0$  de permanganate consommé.

-Conserver le blanc titré pour la vérification de la solution de  $\text{KMnO}_4$ .

-Au blanc titré, ajouter 20 ml de la solution d'oxalate de sodium à 5 mmol/l. Réchauffer la solution 1 à 2 mn. Retirer de la plaque et titrer avec la solution de permanganate à 2 mmol/l jusqu'à apparition d'une couleur rose.

-Noter le volume  $V_2$  de solution de permanganate consommé ; il devrait être entre 19 et 21.

➤ **Expression des résultats**

L'indice de permanganate  $IMn$ , exprimé en mg/l d' $\text{O}_2$ , est calculé comme suit :

$$IMn = \frac{V_1 - V_0}{V_2} \times f$$

Où :

$V_0$  : volume en ml de  $\text{KMnO}_4$  consommé dans le dosage du blanc.

$V_1$  : volume en ml de  $\text{KMnO}_4$  consommé dans le dosage de la prise d'essai.

$V_2$  : volume en ml de  $\text{KMnO}_4$  consommé lors de la vérification de la solution titrante.

f : facteur correctif utilisé (f = 16)

### Remarque

Les échantillons ayant un indice IMn > 10 mg/l d'O<sub>2</sub> doivent être dilués et l'analyse doit être recommencée.

#### 3.2.2.10. Matière organique par mesure de l'UV

Ce protocole indique une méthode de mesure des matières organiques, qui est déterminée par une mesure quantitative spectrométrique en UV, à longueur d'onde  $\lambda = 254 \text{ nm}$ .

##### ➤ Principe

Les matières organiques, présentes dans l'échantillon à analyser, absorbent la lumière à la longueur d'onde  $\lambda = 254 \text{ nm}$ .

##### ➤ Mode opératoire

- Remplir une cuve (en quartz) de l'échantillon à analyser ;
- Bien essuyer ;
- L'introduire dans le spectrophotomètre et lire le résultat directement sur l'écran.

#### 3.2.2.11. Oxygène dissous

##### ➤ Principe

Les deux électrodes du capteur, en contact avec un électrolyte, sont séparées du milieu à étudier par une membrane sélective, perméable au dioxygène. Ce dernier, en traversant la membrane, réduit la cathode, des ions métalliques passent alors de la solution à l'anode. Ces réactions d'oxydoréduction créent une tension entre les deux électrodes. Le courant produit est proportionnel à la pression partielle en dioxygène dans l'échantillon.

##### ➤ Mode opératoire

- Mettre l'échantillon d'eau à étudier dans un bécher et immerger la sonde dedans ;
- Lire la valeur affichée par l'oxymètre (mg/l d'O<sub>2</sub>).

#### 3.2.2.12. Résidu sec

##### ➤ Principe

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

➤ **Matériel spécial**

- Capsule en porcelaine, verre borosilcaté, silice ou platine.
- Bain-marie.
- Étuve réglable à 105°C ou 185°C.
- Balance de précision à 0,1 mg près.
- Dessiccateur.
- Four à moufle à 525°C.

➤ **Mode opératoire**

D'après la norme NF T90-029 :

- Nettoyer la capsule avec de l'acide chlorhydrique ou l'acide nitrique dilué, puis rincer avec de l'eau distillée ; la sécher par passage à l'étuve puis la calciner pendant 1h de temps dans le four à moufle réglé à 525°C. Laisser refroidir jusqu'à température ambiante, puis la placer dans un dessiccateur pendant ¼ d'heure environ et peser. Soit  $M_0$  la masse de la capsule vide.
- Prélever dans une fiole jaugée un volume d'échantillon, préalablement débarrassé des MES (papier filtre) ; il est recommandé de ne remplir la capsule qu'à mi-hauteur.
- Remplir la capsule de prise d'essai, puis la placer au bain-marie (couvercle ouvert). Une fois l'eau de l'échantillon évaporée, placer la capsule dans l'étuve et procéder comme suit :

**Détermination du résidu sec à 105°C**

- Placer la capsule dans l'étuve à 105°C pendant 1h ;
- Retirer la capsule et laisser refroidir à température ambiante ;
- Placer celle-ci dans un dessiccateur ¼ d'heure de temps environ et peser.

Recommencer pour obtenir une autre pesée consécutive ; celle-ci ne doit pas différer de la première de plus de 0,5 mg. Soit  $M_1$  la masse trouvée.

**Détermination du résidu sec à 185°C**

Reproduire les mêmes étapes qu'en dessus, à la différence d'étuver à 185°C pendant 2h. Peser immédiatement et rapidement, le résidu étant en général hygroscopique.

➤ **Expression des résultats**

Soient :

V : volume en ml de la prise d'essai.

$M_0$  : la masse en mg de la capsule vide.

$M_1$  : la masse en mg de la capsule et de son contenu après séchage à 105°C.

$M_2$  : la masse en mg de la capsule et de son contenu après séchage à 185°C.

4. Le résidu sec à 105°C, exprimé en mg/l, est donné par l'expression :

$$RS = (M_1 - M_0) \times 1000/V$$

5. Le résidu sec à 185°C, exprimé en mg/l, est donné par l'expression :

$$RS = (M_2 - M_0) \times 1000/V$$

### 3.2.2.13. Chlore libre et chlore total

#### ➤ Définitions

- \* **Chlore libre** : chlore présent sous la forme d'acide hypochloreux, d'ion hypochlorite ou de chlore élémentaire dissous.
- \* **Chlore combiné** : fonction du chlore total présente sous forme de chloramines organiques.
- \* **Chlore total** : chlore présent sous forme de chlore libre ou de chlore combiné ou l'ensemble des deux.
- \* **Chloramines** : dérivés de l'ammoniac par substitution d'un, deux ou trois atomes d'hydrogène par des atomes de chlore (monochloramine, dichloramine ou trichlorure d'azote).
- **Chlore libre**

#### ➤ Principe

Le chlore présent dans l'échantillon sous la forme d'acide hypochloreux ou d'ion hypochlorite (chlore libre ou disponible) réagit immédiatement avec l'indicateur : la DPD (N,N-diéthyl-p-phénylènediamine), pour produire une coloration rose proportionnelle à la concentration en chlore. La lecture est obtenue à 530 nm.

- **Chlore total**

#### ➤ Principe

Le chlore peut être présent dans l'eau sous la forme de chlore libre ou de chlore combiné. Ces deux formes peuvent exister simultanément dans l'eau et, par conséquent, être dosées ensemble en tant que chlore total.

Le chlore combiné oxyde l'iodure du réactif en iode. L'iode et le chlore libre réagissent avec la DPD pour produire une coloration rouge proportionnelle à la concentration en chlore total. La lecture est obtenue à 530 nm.

Concernant les réactifs et les modes opératoires, voir annexes XV et XVI.

**Remarque**

Certaines analyses de l'eau sont réalisées au niveau du laboratoire central de la SEAAL, sis à Alger ; et ce par manque de moyens. Il s'agit de plusieurs paramètres qui seront illustrés par la suite.

# RÉSULTATS ET DISCUSSION

## 4. Résultats et discussion

### 4.1. Résultats des analyses bactériologiques

Les résultats des différents paramètres bactériologiques analysés sont donnés dans le tableau VII.

**Tableau VII:** Résultats des analyses bactériologiques de l'eau brute et de l'eau traitée.

Germe recherché	Eau brute			Norme (JORADP N°34, 2011)	Eau traitée	Norme (JORADP N°18, 2011)
	Min	Max	Moyenne			
Coliformes totaux (UFC/100 ml)	2	120	38,50	-	abs	abs
<i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	4	44	14,75	<20000 UFC/100 ml	abs	abs
Streptocoques fécaux (UFC/100 ml)	abs	abs	abs	<10000 UFC/100 ml	abs	abs
ASR (UFC/100 ml)	0	3	1,5	-	abs	abs
Germes revivifiants à 22°C (UFC/ml)	15	76	45,33	-	abs	<100 UFC/ml
Germes revivifiants à 37°C (UFC/ml)	19	65	40,33	-	abs	<10 UFC/ml

**Min** : valeur minimale trouvée / **Max** : valeur maximale trouvée / **Moyenne** : moyenne de tous les résultats (sur un mois).

#### ➤ Coliformes totaux

La présence de coliformes est indicatrice de contaminations récentes. Les coliformes totaux sont omniprésents dans la nature et sont associés à la matière organique en décomposition, ce qui expliquerait leur présence dans l'eau brute, avec une moyenne de 38,5 UFC/100 ml.

L'eau traitée est exempte de coliformes totaux ; il a y donc respect de la norme. Cette absence serait due à l'efficacité de la filtration.

#### ➤ Coliformes fécaux dont *E. coli*

Les coliformes fécaux proviennent d'une pollution fécale animale ou humaine, ce qui indiquerait la présence d'une source de matières fécales. La présence des *E. coli* dans l'eau brute s'expliquerait par le déversement des eaux usées dans le barrage. Même s'il y a présence, la

valeur trouvée (en moyenne 14,75 UFC/100 ml) reste inférieure à la norme qui est de 20 000 UFC/100 ml.

Il y a absence de coliformes fécaux dans l'eau traitée, raison pour laquelle nous déduisons l'efficacité du traitement de filtration.

➤ **Streptocoques fécaux**

Les streptocoques fécaux sont des indicateurs de contaminations fécales anciennes, vu leur caractère très résistant dans la nature. Ils sont absents dans l'eau brute et donc dans l'eau traitée.

➤ **Bactéries anaérobies sulfite-réductrice**

Les ASR sont des germes telluriques, présents dans le milieu extérieur et capables d'y résister très longtemps, sous forme de spore. Ils sont également présents dans la flore intestinale de l'homme et des animaux, ce qui expliquerait leur présence dans l'eau du barrage.

Leur absence dans l'eau traitée est signe de bonne filtration.

➤ **Les germes revivifiables**

Les germes revivifiables sont omniprésents. Ils sont aptes à se multiplier à l'air libre, avec une croissance optimale à une température située entre 25 et 45°C. Leur présence dans l'eau brute s'expliquerait par le fait qu'elle soit une eau superficielle, avec des températures favorables à la prolifération de ces germes.

Leur absence dans l'eau traitée résulterait des bons procédés de désinfection.

Le tableau VIII donne la classification des eaux en fonction des résultats bactériologiques.

**Tableau VIII:** Interprétation des résultats bactériologiques des eaux (Institut Pasteur d'Algérie, 1977).

Coliformes	<i>E. coli</i>	Streptocoques fécaux	Conclusion
-	-	-	Eau de bonne qualité bactériologique : potable
+	+	+	Eau de mauvaise qualité bactériologique : non potable
+	+	-	<b>Eau de mauvaise qualité bactériologique : non potable</b>
+	-	+	Eau de mauvaise qualité bactériologique : non potable
+	-	-	Eau de qualité bactériologique suspecte : consommation déconseillée

(-) : absence / (+) : présence

Les résultats des analyses bactériologiques obtenus montrent que l'eau brute contient des coliformes notamment *Escherichia coli* avec absence de streptocoques fécaux. Elle est donc de mauvaise qualité bactériologique et, de ce fait, elle est non potable.

Tous de même, les résultats restent dans les normes.

L'eau traitée, quant à elle, est parfaitement exempte de toute bactérie. Ceci serait dû à des procédés de désinfection fiables (chloration et filtration).

#### **4.2. Résultats des analyses organoleptiques et physicochimiques**

Les résultats obtenus sont représentés au niveau du tableau IX.

Tableau IX : Résultats des analyses organoleptiques et physicochimiques de l'eau brute et de l'eau traitée.

Paramètres	Unité	Ana-lyses/mois	Eau brute			Norme (JO-RADP N°34, 2011)	Eau traitée Réservoir Taksebt			Norme (JO-RADP N°18, 2011)
			Min	Max	Moyenne		Min	Max	Moyenne	
Température	°C	412	16,55	22,10	18,32	25	18,35	22,50	20,00	12 – 25
pH		442	7,23	7,63	7,45	6,5 - 9	7,25	7,63	7,43	6,5 – 9
Conductivité	µS/cm	442	412	434	420	2800	417	436	428	2800
Turbidité	NTU	442	0,91	1,60	1,17	-	0,08	0,225	0,12	5
Couleur Ap- parente	Hazen	138	< 5	10	6	200	< 5	< 5	< 5	15
Couleur Vraie	Hazen	138	< 5	< 5	< 5	200	< 5	< 5	< 5	15
Oxygène	mg/l	69	2,60	3,74	3,03	-	6,44	9,34	7,61	5 - 7
MES	mg/l	14	-	-	-	25	-	-	-	-
<b>Minéralisation</b>										
TH	°f	4	14,40	14,40	14,40	-	14,40	14,40	14,40	20
TAC	°f	4	29,00	29,00	29,00	-	26,00	26,00	26,00	50
Calcium Ca <sup>2+</sup>	mg/l	4	43,20	43,20	43,20	-	43,20	43,20	43,20	200
Magnésium Mg <sup>2+</sup>	mg/l	4	8,75	8,75	8,75	-	8,75	8,75	8,75	150
Chlorures	mg/l	4	39,71	39,71	39,71	600	38,71	38,71	38,71	500
Bicarbonates	mg/l	4	353,8	353,8	353,8	-	317,20	317,20	317,20	
Sulfates	mg/l	4	26,00	26,00	26,00	400	33,00	33,00	33,00	400
Résidu sec	mg/l	6	-	-	-	-	-	-	-	1500
CO <sub>2</sub> libre	mg/l	1	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32	10

Paramètres de pollutions										
Absorbance UV 254 nm		126	2,80	4,90	4,05	-	1,750	2,650	2,186	-
Nitrates	mg/l	4	< 0,03	< 0,03	< 0,03	50	< 0,03	< 0,03	< 0,03	50
Nitrites	mg/l	50	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,20
Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	50	< 0,03	< 0,03	< 0,03	4	< 0,015	< 0,015	< 0,015	0,50
Matières organiques	mg/l d'O <sub>2</sub>	10	1,25	1,70	1,45	-	0,87	0,95	0,64	5
Phosphate	mg/l	15	< 0,09	< 0,09	< 0,09	-	< 0,09	< 0,09	< 0,09	0,50
Métaux										
Aluminium	mg/l	312	-	-	-	-	0,054	0,162	0,098	0,20
Fer	mg/l	13	< 0,02	< 0,02	< 0,02	1	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,30
Chlore résiduel libre	mg/l	1427	-	-	-	-	0,77	1,04	0,94	2

### ➤ Température

La température de l'eau est fonction de la température ambiante. Elle atteint les 22°C pour l'eau brute et l'eau traitée. C'est des températures un peu élevées vu que la période où celle-ci sont relevées est estivale. Néanmoins, elles restent inférieures à la norme (25 °C pour l'eau brute) ou dans les normes (12 – 25°C pour l'eau traitée).

### ➤ pH

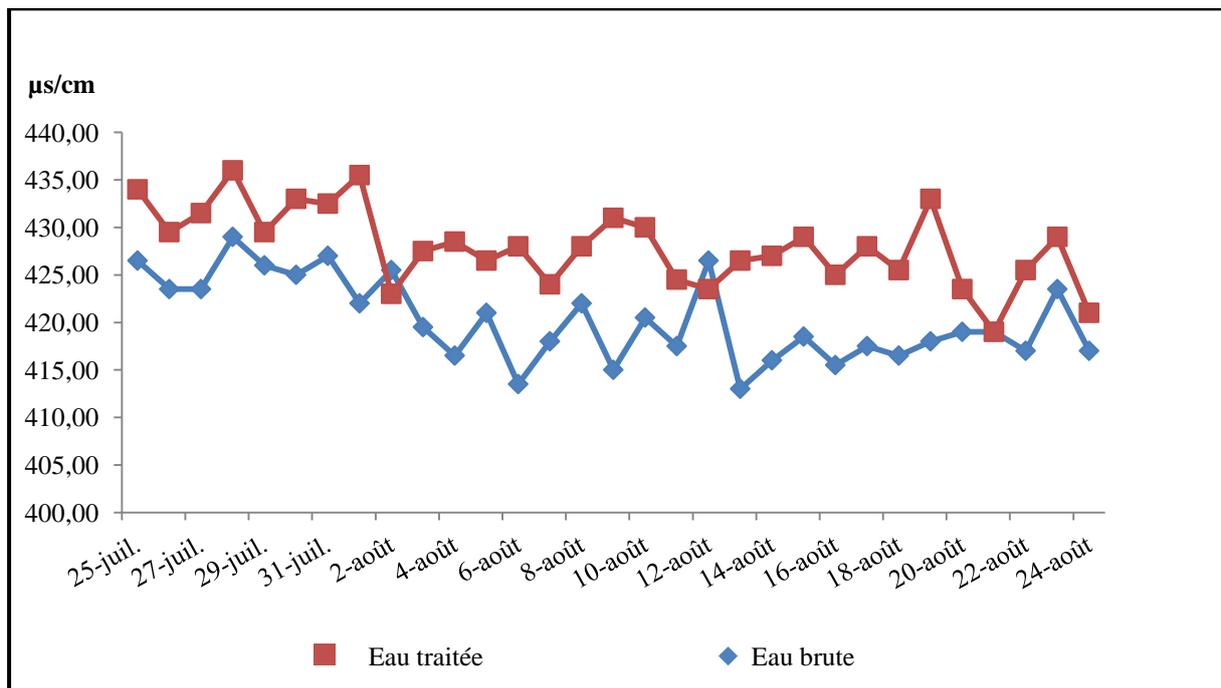
Généralement, les eaux où la vie se développe de manière optimale sont caractérisées par un pH naturel situé entre 6,5 et 8,5. Les résultats que nous avons obtenus montrent que les eaux brute et traitée possèdent toutes les deux un pH qui avoisine la neutralité ( $\approx 7$ ) ; de ce fait, les normes (6,5 – 9) sont satisfaites.

### ➤ Conductivité

La conductivité est proportionnelle à la minéralisation de l'eau ; plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée. Elle est également influencée par la température. Pour une eau naturelle, la conductivité est généralement comprise entre 50 et 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (CREPA, 2007).

Les résultats obtenus montrent une certaine stabilité de ce paramètre ; ça serait dû à la stabilité de la minéralisation de l'eau brute et la stabilité du facteur température. La norme (2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) n'est pas dépassée, ni pour l'eau brute, ni pour l'eau traitée.

Le suivi de ce paramètre est illustré au niveau de la figure 16.



**Figure 16 :** Évolution de la conductivité sur l'eau brute et l'eau traitée.

Nous constatons une légère augmentation de la conductivité de l'eau traitée (428  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) par rapport à l'eau brute (420  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), c'est-à-dire une augmentation de la minéralisation globale de l'eau ; chose qui s'expliquerait par l'ajout de réactifs libérant des ions, c'est l'exemple des ions sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) provenant du sulfate d'alumine et de l'acide sulfurique.

### ➤ Turbidité

Nous remarquons, pour l'eau traitée, des valeurs qui varient entre 0,08 et 0,22 NTU, elles sont, de ce fait, inférieures à la norme qui est de 5 NTU. Pour l'eau brute, les valeurs varient entre 0,90 et 1,60 NTU.

En comparant ces valeurs, nous constatons un abattement du taux de turbidité, après traitement. Ceci serait dû à l'efficacité des traitements de clarification (élimination des MES), à savoir : coagulation, floculation, décantation et filtration.

### ➤ Couleur

La couleur est due à l'absorption de certaines bandes de la lumière blanche, par les substances organiques dissoutes présentes dans l'eau, et qui comportent des groupements chromatophores. Elle peut également être due à la présence de métaux.

Les résultats obtenus montrent des valeurs  $< 5$  unités Hazen pour l'eau brute (norme fixée à 200 unités Hazen) et, également, pour l'eau traitée (norme fixée à 15 unités Hazen).

### ➤ Oxygène dissous

L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau, ...etc. Cette concentration en oxygène dissous est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau (DJELLOULI et TALEB).

Concernant nos résultats, la moyenne des valeurs obtenues est égale à 7,61 mg/l d'O<sub>2</sub> pour l'eau traitée et 3,03 mg/l d'O<sub>2</sub> pour l'eau brute.

Selon l'OMS, l'eau de qualité supérieure contient une quantité d'oxygène supérieure à 7 mg/l d'O<sub>2</sub>. Elle est de bonne qualité lorsque l'oxygène dissous varie de 5 à 7 mg/l d'O<sub>2</sub>; et elle est médiocre lorsque la quantité d'oxygène dissous est inférieure à 3 mg/l d'O<sub>2</sub>.

Selon les valeurs obtenues pour ce paramètre, l'eau traitée sera considérée de qualité supérieure.

Nous remarquons également une augmentation de la concentration en oxygène dissous, après traitement. Ça pourrait s'expliquer par une bonne qualité de l'eau (diminution de l'absorption

de l'oxygène qui est due à la diminution considérable des organismes et des matières organiques, présents initialement dans l'eau).

#### ➤ Dureté

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et  $\text{H}^+$ . Elle est souvent due aux ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ .

La moyenne des valeurs de TH obtenues pour l'eau brute et l'eau traitée est de 14,4 °f, une valeur qui reste inférieure à la norme (20 °f pour l'eau de boisson). Il s'agit d'eaux douces, selon AFNOR (1986) (Tableau X).

**Tableau X** : Dénomination des eaux selon les plages de valeurs du titre hydrotimétrique (AFNOR, 1986).

TH (°f)	0 - 7	7 - 15	15 - 25	25 - 42	42
<b>Eau</b>	Très douce	Douce	Moyennement dure	dure	Très dure

#### - Dureté calcique et magnésienne

La concentration en calcium est de 43,20 mg/l (eaux brute et traitée) et celle du magnésium est de 8,75 mg/l. Ces valeurs sont conformes à celles fixées par les normes algériennes.

Rappelons que la concentration maximale admissible pour le calcium est de 200 mg/l alors qu'elle est de 150 mg/l pour le magnésium (pour l'eau de boisson).

Les valeurs obtenues pour l'eau brute et l'eau traitée sont pratiquement les mêmes, ceci serait dû à l'absence de traitement d'adoucissement.

#### ➤ Titre alcalimétrique complet

Le TAC est représenté par les bicarbonates et les carbonates qui sont liés aux ions calcium et magnésium, formant ainsi des sels dans l'eau.

Les valeurs de TAC obtenues pour l'eau traitée (26 °f) restent inférieures à celles fixées par la norme (50 °f).

#### ➤ Chlorures

Les valeurs enregistrées (39,71 mg/l pour l'eau brute et 38,71mg/l pour l'eau traitée) restent loin des normes maximales fixées par la législation algérienne (600 mg/l pour l'eau brute et 500 mg/l pour l'eau de boisson).

### ➤ Sulfates

Les valeurs obtenues sont de l'ordre de 26 mg/l pour l'eau brute et 33 mg/l pour l'eau traitée. Ces résultats sont conformes aux normes de potabilité algériennes (400 mg/l) et à la norme fixée par l'OMS (250 mg/l).

Toutefois, la légère augmentation après traitement résulterait de l'utilisation du sulfate d'alumine (coagulant) et de l'acide sulfurique.

### ➤ Matière organique et absorbance UV

Pour ces deux paramètres, nous remarquons un bon abattement après traitement (presque 50%). Ceci serait dû à l'efficacité des traitements de clarification (élimination des MES).

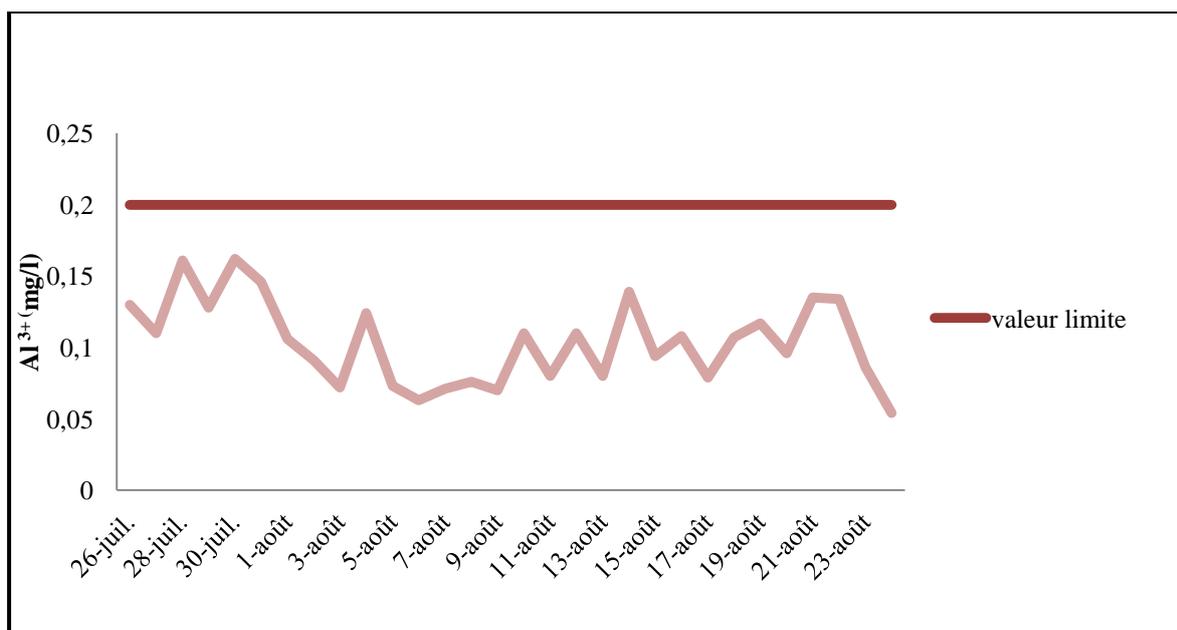
### ➤ Azote minéral

Les valeurs enregistrées des différents paramètres de pollution analysés (ammonium, nitrites, nitrates) sont inférieures à celles fixées par les normes algériennes. Ces résultats nous ont permis de conclure que l'eau du barrage TAKSEBT n'est pas chargée en polluants.

### ➤ Métaux lourds

Suite aux résultats obtenus (0,098 mg/l pour l'aluminium et 0,02 mg/l pour le fer dans l'eau traitée), nous constatons que les normes sont satisfaites (0,2 mg/l pour le premier et 0,3 mg/l pour le second).

La figure 17 montre l'évolution du taux d'aluminium dans l'eau traitée.



**Figure 17 :** Évolution de la concentration en aluminium sur l'eau traitée.

Nous remarquons que la teneur en aluminium résiduel dans l'eau traitée ne dépasse pas la norme (0,2 mg/l) mais elle reste trop proche d'elle (concentrations un peu élevées). Ceci serait dû aux dosages élevés en sulfates d'alumine.

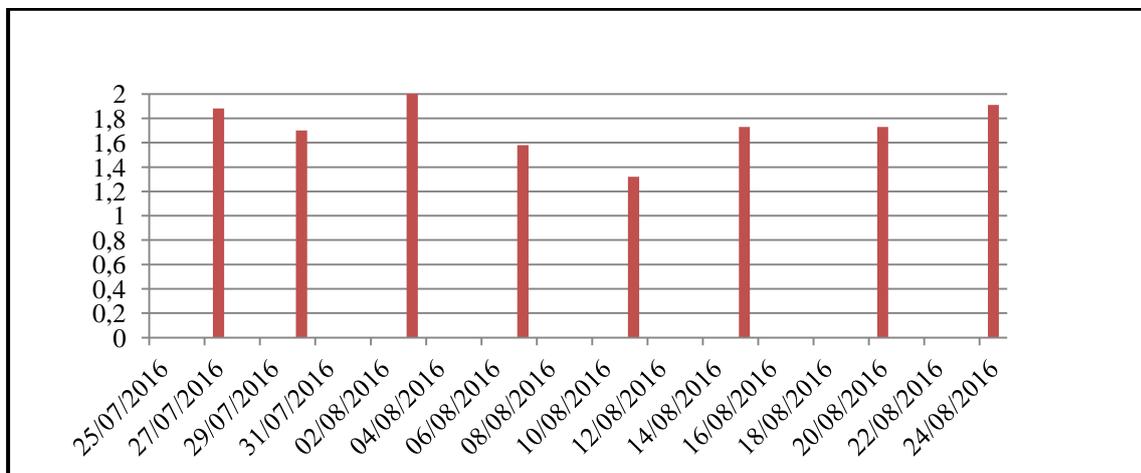
Nous remarquons également les fluctuations des concentrations, qui seraient dues aux essais d'adaptation d'autres méthodes (autres coagulants et autres dosages du sulfate d'alumine), ayant pour objectif final la réduction considérable du taux d'aluminium dans l'eau traitée.

#### ➤ Chlore libre

Le risque de trouver du chlore libre dans les eaux de surface est très limité dans la mesure où cette molécule est très réactive. Le chlore libre peut se combiner à des substances organiques pour former des formes halogénées (chloroforme, ...), c'est pour cela qu'on n'effectue pas d'analyse de ce paramètre pour l'eau brute (OFSP, 2010).

Pour l'eau traitée, la moyenne des valeurs obtenues est de 0,94mg/l. elle reste inférieure à la norme qui est de 2mg/l.

#### ➤ Goût



**Figure 18 :** Évolution du seuil du goût sur l'eau traitée.

Nous remarquons que la norme pour le seuil de goût (qui est de 2,5) est respectée, mais les valeurs obtenues sont assez élevées durant la période du stage. Ça serait dû au goût de chlore.

En ce qui concerne les analyses réalisées au niveau du laboratoire central de la SEAAL (Alger), un exemple illustratif figure au niveau de l'annexe XVII.

Nous pouvons remarquer l'absence d'analyses concernant la recherche d'éléments radioactifs.

**CONCLUSION**

Nos ressources en eau subissent de nombreuses pressions. Il nous faut encore acquérir davantage d'informations fiables sur la qualité et la quantité d'eau disponible, ainsi que sur la manière dont cette disponibilité varie dans le temps et d'un endroit à l'autre. Les activités humaines influent de maintes façons sur le cycle de l'eau, et leur impact doit être compris et quantifié, afin de gérer les ressources en eau de manière rationnelle.

L'eau potable n'est pas tout à fait qu'un "bien du ciel". Avant de parvenir au robinet, elle a subi des traitements plus ou moins poussés, elle a été stockée, acheminée puis distribuée. Elle est, de ce fait, une denrée rare et précieuse qui a un coût. Par ailleurs, il ne faut pas omettre qu'elle est produite à partir de ressources naturelles qu'il est impératif de protéger, afin d'éviter la mise en place de traitements complexes et plus coûteux.

Au cours de cette étude, nous nous sommes focalisés sur le contrôle de la qualité organoleptique, physicochimique et bactériologique de l'eau du barrage Taksebt : qualité de l'eau à l'entrée de la station et sa qualité à la sortie, une fois qu'elle a subi les différents traitements.

L'examen analytique de l'eau brute a montré qu'elle est d'une assez bonne qualité du point de vue physicochimique (turbidité, pH,...). Concernant la qualité bactériologique, nous avons remarqué la présence de certains groupes de germes (coliformes, ASR, ...), mais les valeurs obtenues restent en dessous des normes fixées pour l'eau brute (44 UFC/100 ml dans le cas d'*E. coli* est remarquablement inférieur à la norme, qui est de 10000 UFC/100 ml). De ce fait, elle ne peut pas être utilisée pour l'alimentation en eau potable qu'après traitement (chloration,...etc).

Par ailleurs, l'eau traitée s'est révélée de meilleure qualité, vu que les normes en vigueur ne sont pas dépassées ; qu'il s'agisse de paramètres organoleptiques, bactériologiques ou encore physicochimiques, à l'exception du :

- goût de chlore, parfois ressenti en consommant l'eau traitée;
- taux d'aluminium, même s'il ne dépasse pas la norme, reste quand même un peu élevé, surtout que c'est l'un des métaux lourds qui nuisent énormément à la santé humaine.

À l'issue de ces résultats, nous pouvons conclure que l'eau que nous buvons est d'assez bonne qualité, ce qui reflète la convenance, la fiabilité et l'efficacité des procédés utilisés. Il est à noter, quand même, que quelques modifications s'avèrent utiles, pour améliorer davantage la qualité de cette eau, à savoir :

- \* un bon dosage au moment de la chloration, afin d'avoir une eau de meilleure qualité gustative, n'ayant pas le goût de « l'eau de javel » ;
- \* la recherche et l'application d'une nouvelle méthode, à l'issue de laquelle la concentration finale en aluminium serait moins élevée ;
- \* la recherche des radionucléides ;
- \* la recherche (à une fréquence définie) de germes pouvant être responsables de maladies hydriques.

Ça serait également plus bénéfique si les boues seraient valorisées et utilisées à des fins agricoles, par exemple, au lieu d'être rejetées dans la lagune.

Au final, nous dirons que la disponibilité et la distribution d'une eau potable, aux consommateurs, sont la résultante logique d'efforts consentis, au niveau du contrôle permanent de la qualité et de la surveillance rigoureuse à tous les stades : du captage jusqu'aux robinets des consommateurs. Il faut donc en prendre soin et arrêter d'en gaspiller !

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES



**A, B**

**AMSTRONG E., ROGERSON A. et LEAFLEY J.W. (2001).** Abondance des Protistes Hétérotrophes. Ed. East Coast Shelf Science.

**ANCTIL F. (2008).** L'Eau et ses Enjeux. Ed. Boeck Université, Bruxelles, Belgique.

**ANONYME 1 (2014).** La molécule d'eau. [www.septiemecontinent.com](http://www.septiemecontinent.com)

**ANONYME 2 (2015).** Histoire de l'eau : La source de la vie. [www.lemieuxetre.ch](http://www.lemieuxetre.ch)

**ANONYME 3 (2013).** La qualité de l'eau. Les Agences de l'Eau, Établissements Publics du Ministère en Charge du Développement durable, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, France.

**ANONYME 4 (2014).** L'alimentation en eau potable. Cahier pédagogique n°3. Agence de l'Eau, Loire-Bretagne, Établissement Public du Ministère Chargé du Développement durable, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, France.

**ANONYME 5 (2012).** Comprendre la radioactivité dans l'eau. Les cahiers Eau service, supplément du magazine Eau service, n°35, février 2012. Ed. Lyonnaise des Eaux, Paris, 1633-003 X.

**ASSOULINE S. et ASSOULINE J. (2007).** Géopolitique de l'Eau : Nature et Enjeux. Ed. Studyrama Perspectives.

**BOISLÈVE J.B. (2010).** Structure et propriétés de l'eau. HOLOSYS, Conseil et Formation Santé-Relations Humaines. Disponible sur [www.sante-vivante.fr](http://www.sante-vivante.fr)



**C**

**CHAUSSADE J.L., ROVEL J.M., MOUCHET P., ANDRIAMIRADO L., MARCHAND D., LESOILLE M., BAIG S., MAZONIE P., BOURDELLOT J.C., BONNELYE V., HESSE C., HAUBRY A., MOLES J., NICOL R. et SANZ M.A. (2005).** Mémento Technique de l'Eau. Degrémont, Tome I, 10<sup>ème</sup> Ed., Lavoisier Tec. & Doc., Paris, France.

**CASTANY G. (1982).** Principes et Méthodes de l'Hydrogéologie. Ed. DUNOD, Paris, France.

**CNRS (2014).** Répartition de l'eau sur Terre : Pour en savoir plus ... Centre National de la Recherche Scientifique, France. Disponible sur [www.cnrs.fr](http://www.cnrs.fr)

**CREPA (2007).** Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées : Protocole de détermination des paramètres physicochimiques et bactériologiques – Guide. Centre Régional pour l'eau potable et l'assainissement à faible coût, Centre collaborant de l'OMS.



**D**

**DACOSTA Y. (1998).** Les *Yersinia enterocolitica* dans les Produits Alimentaires. Ed. Tec. & Doc., Cachan, France.

**DJELLOULI H.M. et TALEB S. (2005).** Qualité Chimique et Bactériologique des Eaux de Consommation du Sud Algérien. Faculté des Sciences, Université LIABES de Sidi Bel Abbès, Algérie.

**DUGUET J.P., BERNAZEAU F., CLERET D., GAID A., LAPLANCHE A., MOLES J., MONTIEL A., RIOU G. et SIMON P. (2006).** Réglementation et Traitement des Eaux Destinées à la Consommation Humaine. 1<sup>ère</sup> Ed., ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'Environnement).



**E, F**

**ETCHEBER H., BILLY I. et SAVOYE N. (2011).** Détermination de la Concentration en Matières En Suspension. Ed. Somlit.

**FESTY B., HARTEMANN P., LEDRANS M., LEVALLOIS P., PAYMENT P., et TRICARD D. (2003).** Qualité de l'eau ; in « Environnement et santé publique – Fondements et pratiques », pp. 333-368. Ed. Tec & Doc, Acton Vale, Paris.

**FILDIER F. (1983).** Amélioration de la Ressource en Eau : La Réalimentation des Nappes. Office International de l'Eau.



**G, H**

**GAUJOUS D. (1995).** La Pollution des Milieux Aquatiques : Aide Mémoire. 2<sup>ème</sup> Ed., Lavoisier Tec. & Doc., Paris, France.

**GOURMELON M., DERRIEN A., CRENN I. et LOAEC S. (2002).** Dénombrement des coliformes thermotolérants ou des *Escherichia coli* dans des sédiments côtiers vaseux. Direction de l'environnement et de l'aménagement littoral, Département Microbiologie et Phyco-toxines (DEL/MP), Brest, France.

**HASLAY C. et LECLERC H. (1993).** Microbiologie des Eaux d'Alimentation. Ed., Lavoisier Tec. & Doc., Paris, France.



**I**

**ISO 6058 NA 1655 (1984).** Qualité de l'eau - Dosage du calcium – Méthode titrimétrique à l'EDTA.

**ISO 6059 NA752 (1984).** Qualité de l'eau - Dosage de la somme du calcium et du magnésium - Méthode titrimétrique à l'EDTA.

**ISO 7150/1 (1984).** Qualité de l'eau - Dosage de l'ammonium - Partie 1: Méthode spectrométrique manuelle.

**ISO 8467 (1993).** Qualité de l'eau - Détermination de l'indice de permanganate.

**ISO 11923 (1997).** Qualité de l'eau - Dosage des matières en suspension par filtration sur filtre en fibres de verre.



**JARAUD S., REYROLLE M., MEUGNIER H., FOREY F. et ETIENNE J. (2007).** Légionellose. Lyon, France.

**JESTIN E. (2005).** La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires. AGENCE DE L'EAU SEINE-NORMANDIE, Direction des Bocages Normands, 1 rue de la Pompe, 14200 Hérouville-Saint-Clair, France.

**JORADP (2011).** Journal Officiel de la République Algérienne N°18. Décret exécutif n°11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

**JORADP (2011).** Journa Officiel de la République Algérienne N°34. Décret exécutif n° 11-219 du 10 Rajab 1432 correspondant au 12 juin 2011 fixant les objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau des populations.

**KASSOU N. et KACIMI I. (2010).** Les Eaux Souterraines. Université Mohammed V-Agdal, Rabat, Maroc.



**MAIGA A.S. (2005).** Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : Évaluation saisonnière. Thèse de doctorat, Université de Bamako, Mali.

**MARSILY G.D. (2002).** L'eau. Ed. Flammarion, 978-208035-1937.

**MOREL J. (2007).** Les ressources en eau sur Terre : origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique – un tour d'horizon de la littérature. Cahier de recherche, LEP II ; 2/2007. 2007. <halshs-00134979>. LABORATOIRE D'ÉCONOMIE DE LA PRODUCTION ET DE L'INTÉGRATION INTERNATIONALE, France.

**MYRAND D., BICCHI D., BRODEUR M., ELLIS D., GIGNAC M., MASSE M., OUELLET M., PAQUIN J., PERRON R., ROY N. et TREMBLAY H. (2003).** Le Puits. Ministère de l'Environnement, Québec, Canada.



**NA 763 (1990).** Norme algérienne/ISO 6222. Qualité de l'eau – Dénombrement des microorganismes revivifiables – Comptage des colonies par inoculation dans ou sur un milieu de culture nutritif gélosé.

**NA 766 (1998).** Norme algérienne/ISO 7899-2 : 1984. Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux - Méthode par filtration sur membrane.

**NF T 90-415 (1985).** Essais des eaux : Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices et de *Clostridium* sulfito-réducteurs.

**NF T 90-413 (1986).** Recherche et dénombrement des coliformes et des coliformes thermotolerants. Méthode générale par ensemencement en milieu liquide (NPP).

**NF ISO 9297 (1989).** Qualité de l'eau - Dosage des chlorures - Titrage au nitrate d'argent avec du chromate comme indicateur (Méthode de Mohr).

**NF T90-036 (1996).** NF EN ISO 9963-1. Qualité de l'eau - Détermination de l'alcalinité - Partie 1 : détermination de l'alcalinité totale et composite.

**NF T 90-011 (2001).** Qualité de l'eau – Dosage du dioxyde de carbone dissous.

**NF T90-029 (2002).** Qualité de l'eau - Détermination des résidus secs à 105°C et 180°C.



**Observatoire Régional de l'Environnement (2011).** Répartition de l'Eau sur Terre. Poitou-Charentes, France.

**OFSP (2010).** Procédés reconnus destinés au traitement de l'eau potable. Office Fédéral de la Santé Publique, Département Fédéral de l'Intérieur DFI, Suisse.

**OMS (2004).** Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson. 3<sup>ème</sup> Ed., Volume 1, Recommandations. Organisation Mondiale de la Santé.

**OMS (2008).** Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson. Organisation Mondiale de la Santé.

**ONU (2006).** Ressources en eau : Résumé du deuxième Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau. Green Facts asbl, Rue des Palais 44, 1030 Bruxelles, Belgique.



**REJSEK F. (2002).** Analyse des Eaux : Aspects Réglementaires et Techniques. Ed. Centre Régional de Documentation Pédagogique d'Aquitaine.

**RODIER J., LEGUBE B. et MERLET N. (2009).** L'Analyse de l'Eau. 9<sup>ème</sup> Ed., DUNOD, Paris, 978-2-10-054179-9.



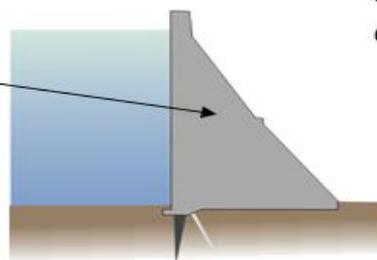
**VILAGINES R. (2003).** Eau, Environnement et Santé Publique : Introduction à l'Hydrogéologie. 2<sup>ème</sup> Ed., Lavoisier, Paris, France.

# ANNEXES

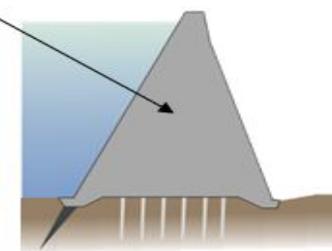
## Annexe I : Différents types de barrages.

Il existe **plusieurs types** de barrages :

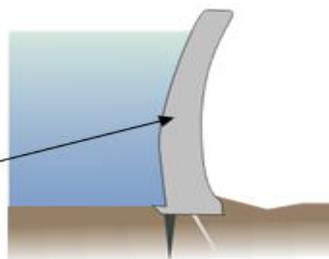
Les barrages poids sont les plus anciens et les plus répandus. En terre ou en béton, ils opposent leur masse à la poussée de l'eau



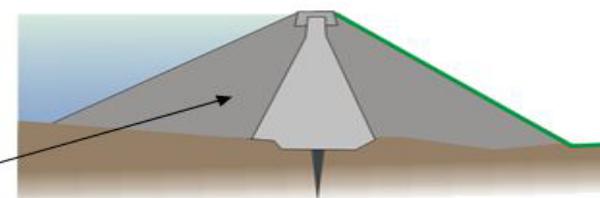
Les barrages à contrefort reportent la pression de l'eau sur le sol



Les barrages voûte en forme d'arc de cercle reprennent le principe de la voûte romaine, repoussant sur les berges la poussée de l'eau



Les digues à noyau central



Annexe II : Maquette représentant la STE TAKSEBT.



Annexe III : Représentation graphique des différents ouvrages des étapes de traitement.



Vanne murale



Canal de by-pass



Décanteurs



Floculateurs



Filtres à sable



Réservoir d'eau traitée



Dessableurs



Bassin d'équilibre



Épaisseur

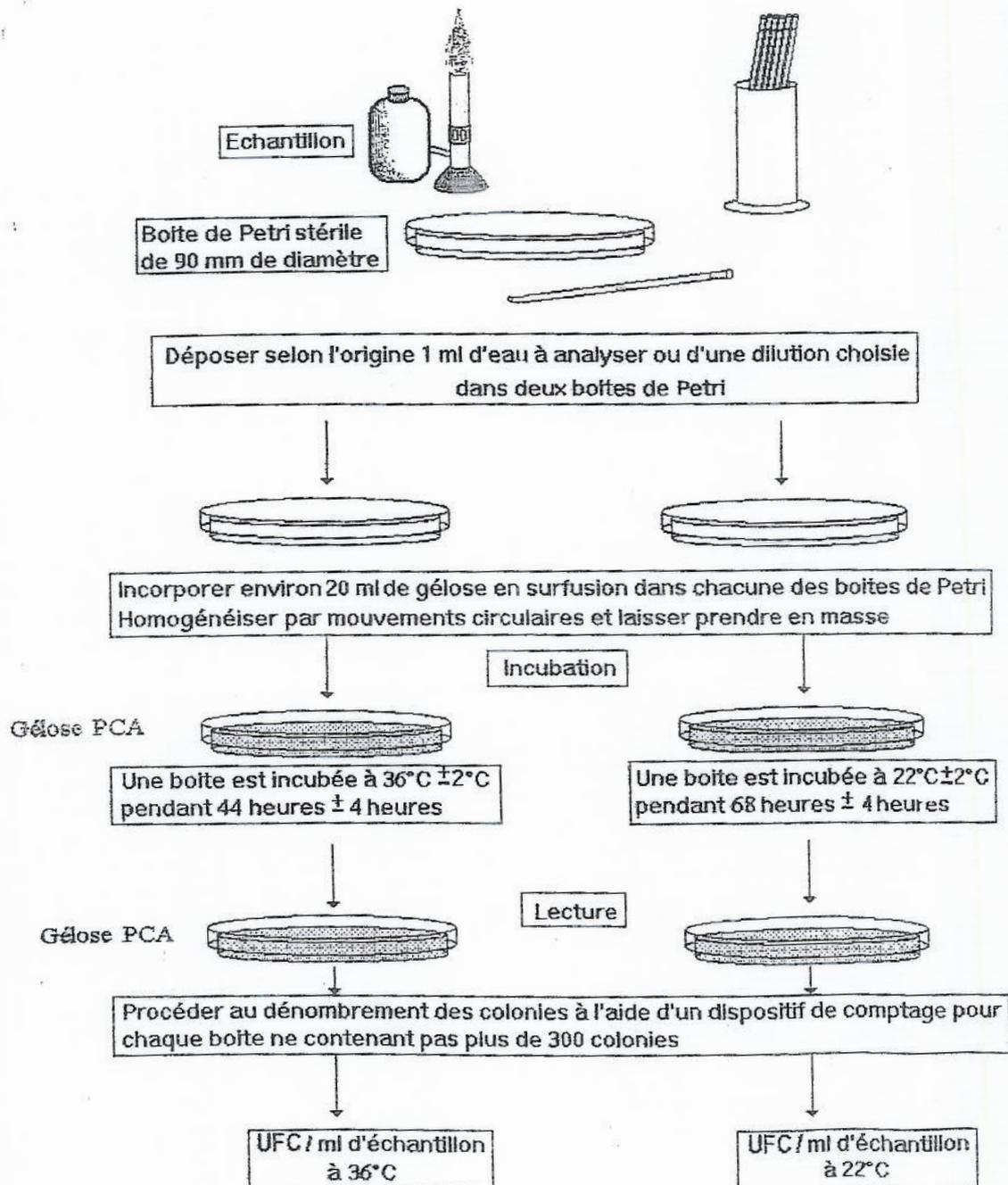


Lagune

## Annexe IV : dénombrement des microorganismes revivifiables.


**DENOMBREMENT DES MICRO-ORGANISMES REVIVIFIABLES**

Selon la norme NF EN ISO 6222 de juillet 1999

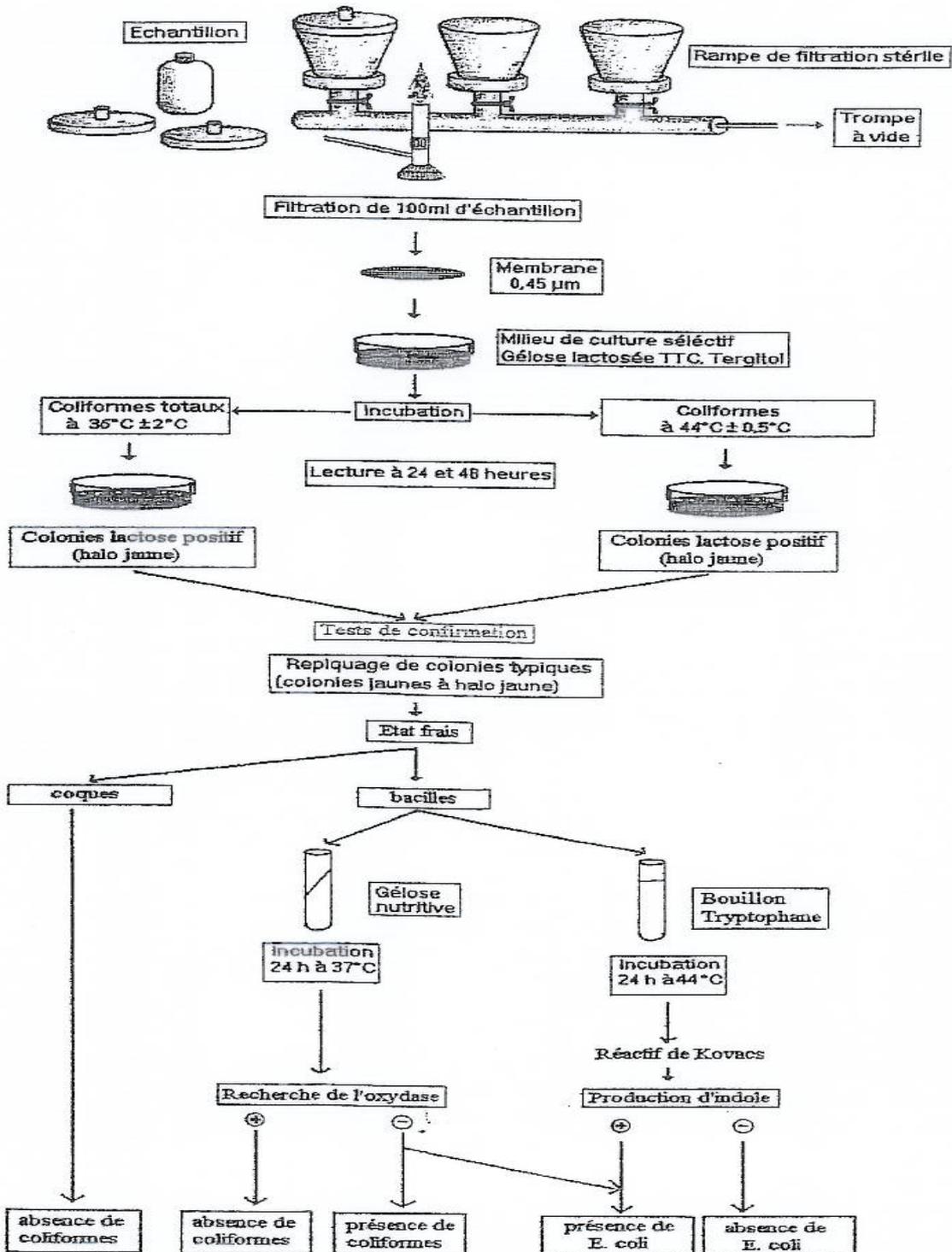


Source : « Schémas des méthodes microbiologiques utilisées pour le contrôle sanitaire des eaux. » Catherine DEBEAUPUIS – Suez Environnement

Annexe V : Recherche et dénombrement des *E. coli* et des bactéries coliformes.

RECHERCHE ET DENOMBREMENT DES ESCHERICHIA COLI ET DES BACTERIES COLIFORMES

Selon la norme: NF EN ISO 9308-1 Partie 1 - essai standard



Source : « Schémas des méthodes microbiologiques utilisées pour le contrôle sanitaire des eaux. » Catherine DEBEAUPUIS – Suez Environnement

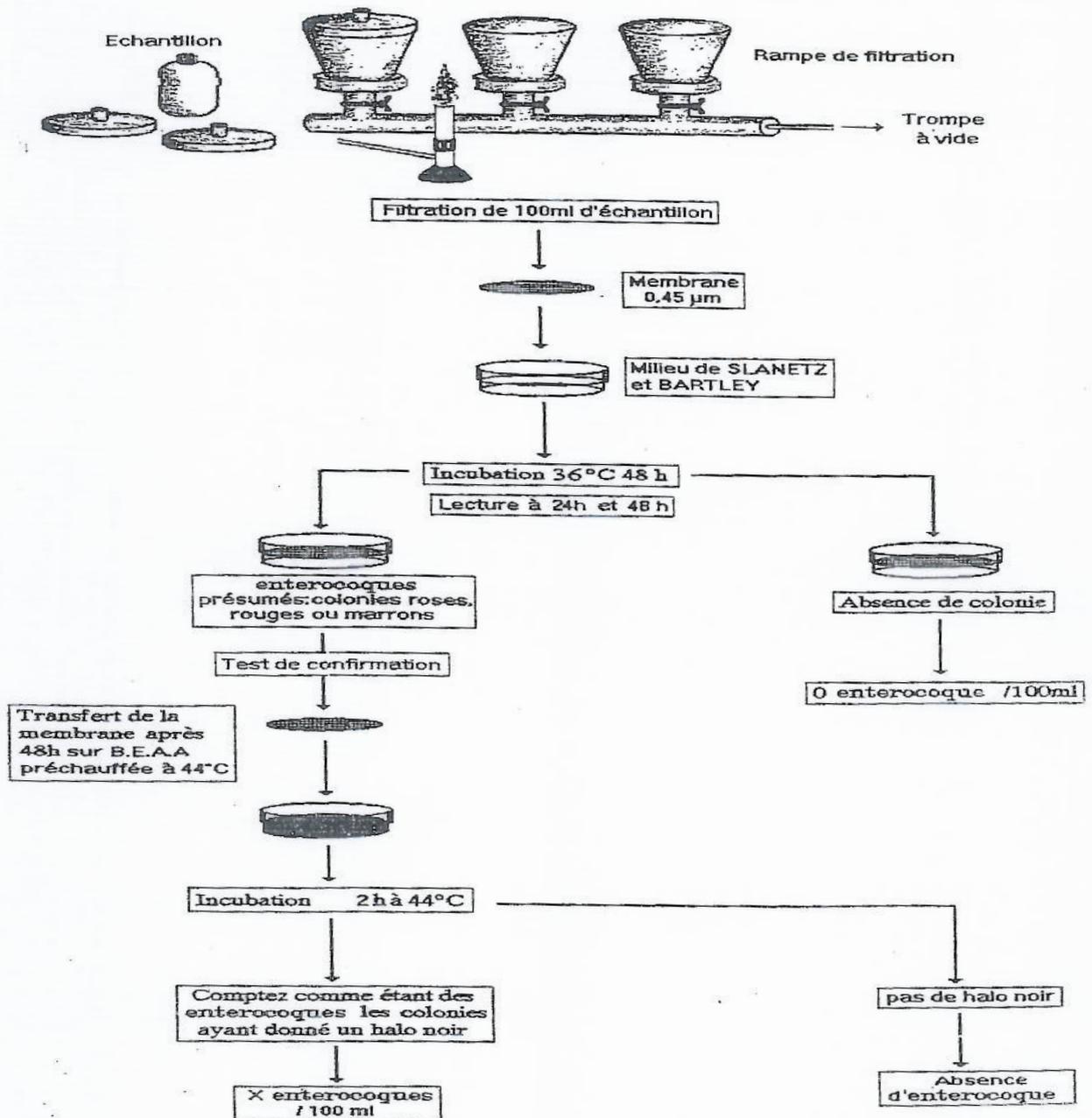
## Annexe VI : Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux.



## RECHERCHE ET DENOMBREMENT DES ENTEROCOQUES INTESTINAUX

Laboratoire &amp; control

Selon la norme NF EN ISO 7899-2 d'août 2000

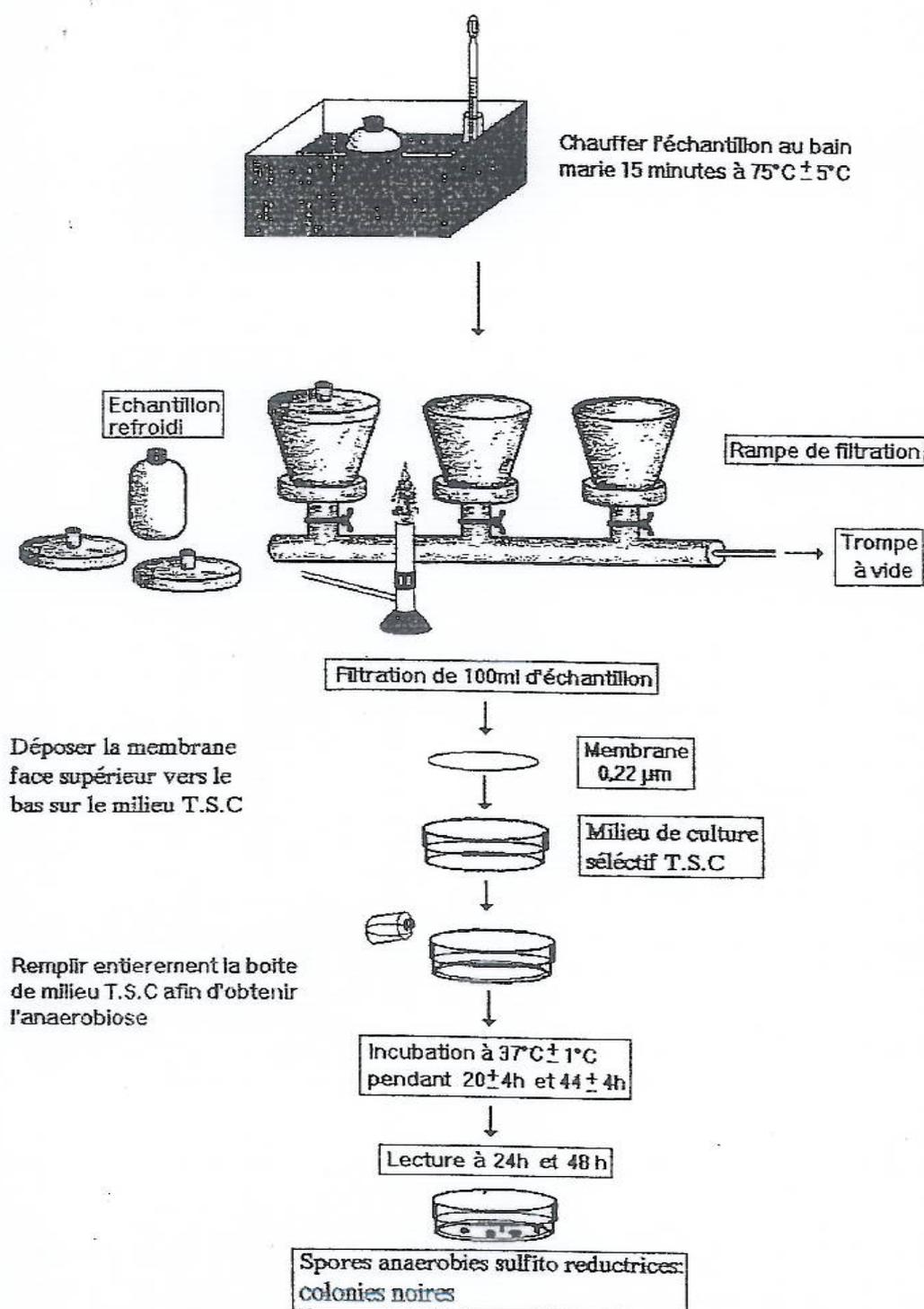


Source : « Schémas des méthodes microbiologiques utilisées pour le contrôle sanitaire des eaux. » Catherine DEBEAUPUIS – Suez Environnement

## Annexe VII : Recherche et dénombrement des spores de microorganismes anaérobies sulfito-réducteurs.

## RECHERCHE ET DENOMBREMENT DES SPORES DE MICRO-ORGANISMES ANAEROBIES SULFITO-REDUCTEURS

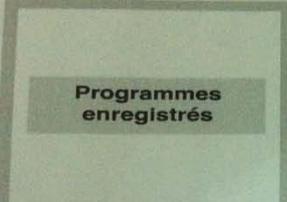
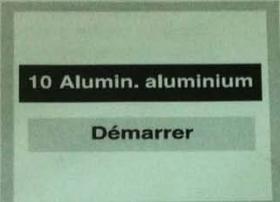
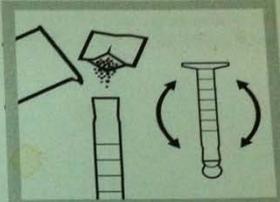
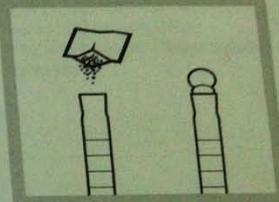
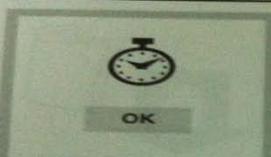
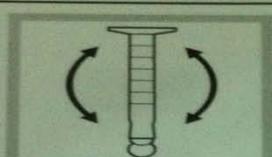
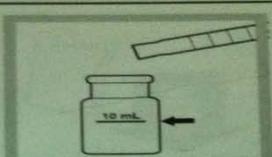
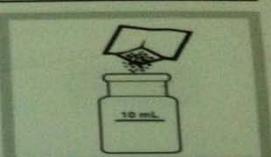
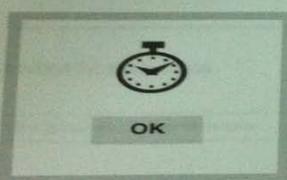
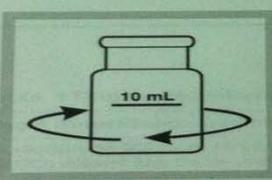
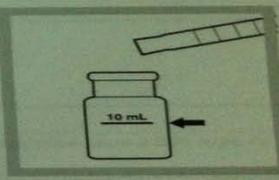
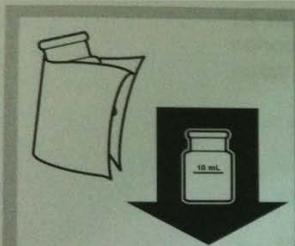
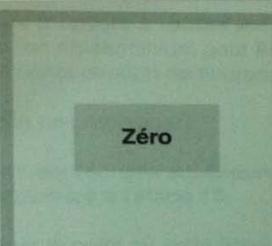
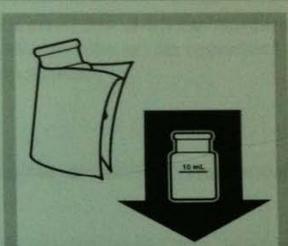
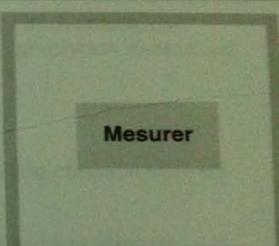
Selon la norme NF EN 26461-2 de juillet 1993



Source : « Schémas des méthodes microbiologiques utilisées pour le contrôle sanitaire des eaux. » Catherine DEBEAUPUIS – Suez Environnement

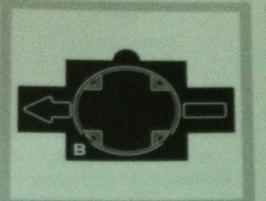
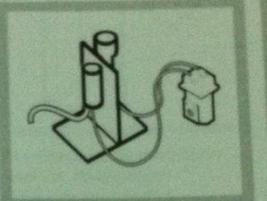
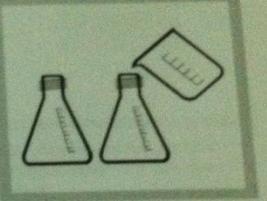
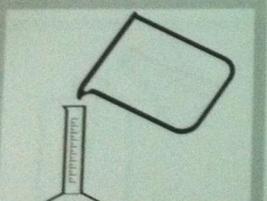
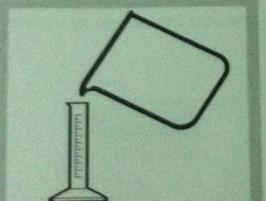
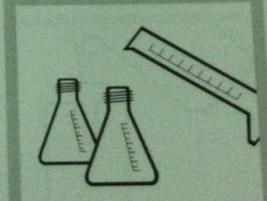
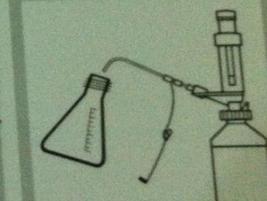
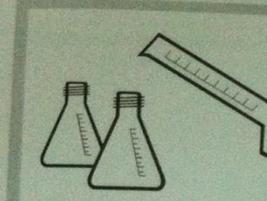
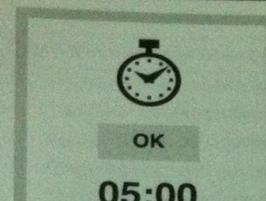
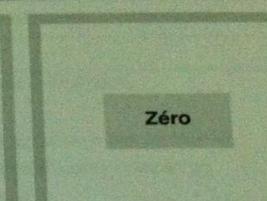
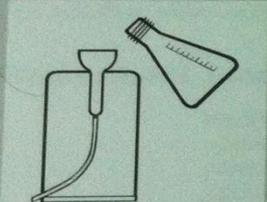
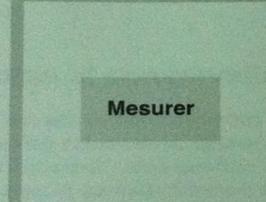
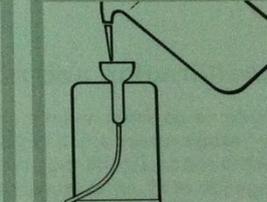
## Annexe VIII : Dosage de l'aluminium.

## Mode opératoire

Pochettes de réactif		Méthode 8012	
			
1. Appuyer sur <b>Programmes enregistrés</b> .	2. Sélectionner le programme d'analyse.	3. Remplir une éprouvette graduée pour homogénéisation de 50 mL jusqu'au trait de 50 mL avec l'échantillon. Transférer le contenu d'une pochette de réactif à l'acide ascorbique dans l'éprouvette. Boucher et retourner plusieurs fois pour homogénéiser jusqu'à dissolution de la poudre.	4. Transférer le contenu d'une pochette de réactif pour aluminium AluVer 3 dans l'éprouvette. Boucher. Une coloration rouge-orange apparaîtra en présence d'aluminium.
			
5. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur <b>OK</b> .	6. Retourner plusieurs fois pour homogénéiser jusqu'à dissolution de la poudre pendant une minute. Des résultats aberrants seront obtenus s'il reste de la poudre non dissoute.	7. <b>Préparation du blanc</b> : Remplir une cuve carrée de 1" jusqu'au trait de 10 mL avec le mélange de l'éprouvette.	8. Transférer le contenu d'une pochette de réactif décolorante Bleaching 3 dans la cuve.
			
9. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur <b>OK</b> .	10. Agiter énergiquement pendant les 30 secondes pour homogénéiser. Cette solution devrait virer vers une couleur orange moyennement faible.	11. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur <b>OK</b> . Une période de réaction de 15 minutes va commencer.	12. <b>Préparation de l'échantillon</b> : Remplir une autre cuve carrée de 1" jusqu'au trait de 10 mL avec de la solution restante dans l'éprouvette graduée.
			
13. Dans les 5 minutes après le retentissement de la minuterie, essayer l'extérieur du blanc (cuve) et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.	14. Sélectionner sur l'écran : <b>Zéro</b> Indication à l'écran : <b>0,000 mg/L Al<sup>3+</sup></b>	15. Essayer immédiatement l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.	16. Sélectionner sur l'écran : <b>Mesurer</b> Les résultats sont indiqués en <b>mg/L Al<sup>3+</sup></b> <i>Consulter le mode d'emploi de l'appareil pour de plus amples informations sur les modalités de lecture.</i>

## Annexe IX : Dosage du fer.

## Mode opératoire

Cuve à circulation		Méthode 8147	
 <p>1. Sélectionner le programme d'analyse.</p>	 <p>2. Installer l'adaptateur B.</p>	 <p>3. Installer la cuve à circulation et la rincer avec 50 mL d'eau déionisée.</p>	 <p>4. Rincer deux erlenmeyers propres de 125 mL trois fois avec l'échantillon.</p>
 <p>5. Rincer une éprouvette graduée propre en plastique de 50 mL trois fois avec l'échantillon.</p>	 <p>6. Remplir cette éprouvette rincée jusqu'au trait 50 mL avec l'échantillon.</p>	 <p>7. Préparation de l'échantillon : Transférer le contenu de l'éprouvette de 50 mL dans l'une des erlenmeyers.</p>	 <p>8. Transférer 1,0 mL de solution de réactif fer à la FerroZine dans l'une des erlenmeyers en utilisant le distributeur Repipet. Agiter pour homogénéiser.</p>
 <p>9. Préparation du blanc : Mesurer une seconde portion de 50 mL d'échantillon dans l'éprouvette graduée et transférer le contenu dans la seconde erlenmeyer.</p>	 <p>10. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur <b>OK</b>. Une période de réaction de 5 minutes va commencer.</p>	 <p>11. Lorsque la minuterie retentit, l'indication suivante apparaît à l'écran : <b>mg/L Fe</b> Transférer le contenu de l'erlenmeyer contenant le blanc dans la cuve à circulation.</p>	 <p>12. Après l'arrêt du flux, sélectionner sur l'écran : <b>Zéro</b> Indication à l'écran : <b>0,000 mg/L Fe</b></p>
 <p>13. Transférer le contenu de l'erlenmeyer contenant l'échantillon préparé dans la cuve à circulation.</p>	 <p>14. Après l'arrêt du flux, sélectionner sur l'écran : <b>Mesurer</b> Les résultats sont indiqués en <b>mg/L Fe</b>.</p>	 <p>15. Rincer la cuve à circulation avec 50 mL d'eau déionisée immédiatement après emploi.</p>	

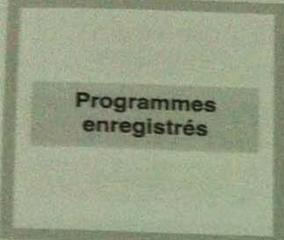
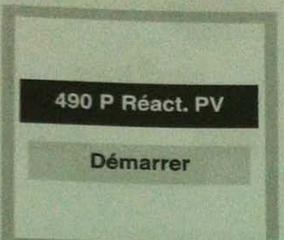
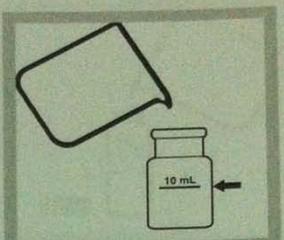
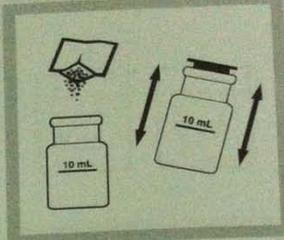
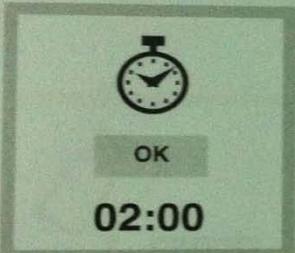
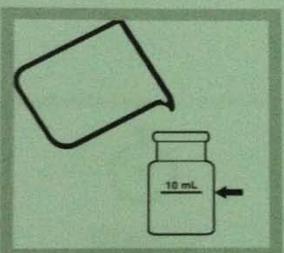
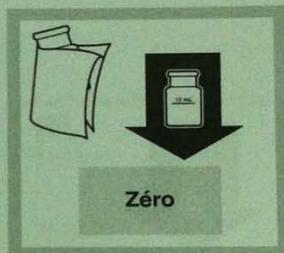
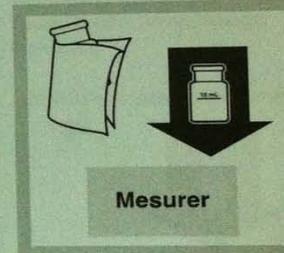
## Annexe X : Dosage du manganèse.

## Mode opératoire

Pochettes de réactif		Méthode 8149	
1. Appuyer sur <b>Programmes enregistrés</b> .	2. Sélectionner le programme d'analyse.	3. <b>Préparation du blanc</b> : Remplir une cuve carrée de 1" jusqu'au trait de 10 mL avec de l'eau désionisée.	4. <b>Préparation de l'échantillon</b> : Remplir une autre cuve carrée de 1" jusqu'au trait de 10 mL avec l'échantillon.
5. Transférer le contenu d'une pochette de réactif à l'acide ascorbique dans chaque cuve. Boucher et retourner doucement pour dissoudre la poudre.	6. Ajouter 12 gouttes de la solution réactif de cyanure alcalin dans chaque cuve. Agiter doucement pour homogénéiser. La solution peut devenir trouble. La turbidité devrait se dissiper à l'issue de l'étape 7.	7. Ajouter 12 gouttes de la solution indicatrice au PAN à 0,1% dans chaque cuve. Agiter doucement pour homogénéiser. L'échantillon virera à l'orange en présence de manganèse.	8. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur <b>OK</b> . Une période de réaction de 2 minutes va commencer.
9. Lorsque la minuterie retentit, essuyer l'extérieur du blanc (cuve) et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.	10. Sélectionner sur l'écran : <b>Zéro</b> Indication à l'écran : <b>0,000 mg/L Mn</b>	11. Essuyer l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.	12. Sélectionner sur l'écran : <b>Mesurer</b> Les résultats sont indiqués en <b>mg/L Mn</b> <i>Consulter le mode d'emploi de l'appareil pour de plus amples informations sur les modalités de lecture.</i>

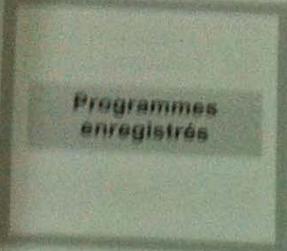
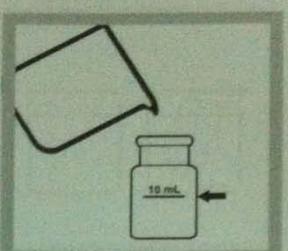
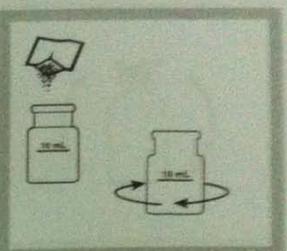
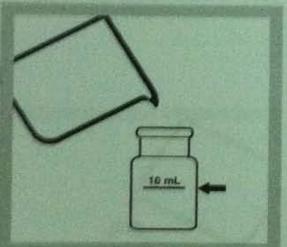
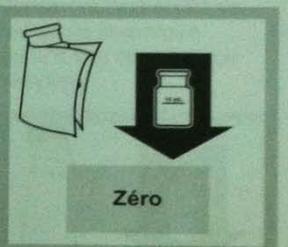
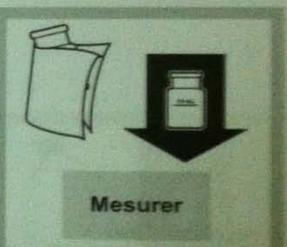
## Annexe XI : Dosage des orthophosphates.

## Mode opératoire

Pochettes de réactif		Méthode 8048	
			
<p>1. Appuyer sur <b>Programmes enregistrés</b>.</p>	<p>2. Sélectionner le programme d'analyse.</p>	<p>3. Remplir une cuve carrée de 1" jusqu'au trait de 10 mL avec l'échantillon.</p>	<p>4. <b>Préparation de l'échantillon</b> : Transférer le contenu d'une pochette de réactif pour phosphate PhosVer 3 dans la cuve. Immédiatement boucher la cuve et l'agiter vigoureusement pour 30 secondes pour homogénéiser.</p>
			
<p>5. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur <b>OK</b>.</p> <p>Une période de réaction de 2 minutes va commencer.</p> <p>Utiliser un temps de 10 minutes pour le phosphore total après digestion au persulfate acide.</p>	<p>6. <b>Préparation du blanc</b> : Remplir une autre cuve carrée de 1" jusqu'au trait de 10 mL avec l'échantillon.</p>	<p>7. Lorsque la minuterie retentit, essuyer l'extérieur du blanc (cuve) et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.</p> <p>Sélectionner sur l'écran : <b>Zéro</b></p> <p>Indication à l'écran : <b>0,00 mg/L PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b></p>	<p>8. Essuyer l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.</p> <p>Sélectionner sur l'écran : <b>Mesurer</b></p> <p>Les résultats sont indiqués en <b>mg/L PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b></p> <p><i>Consulter le mode d'emploi de l'appareil pour de plus amples informations sur les modalités de lecture.</i></p>

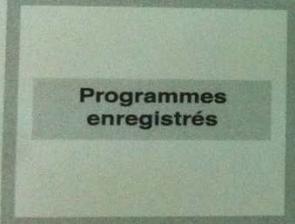
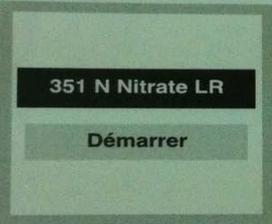
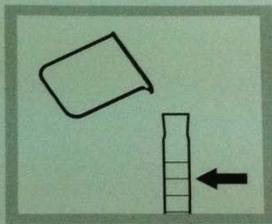
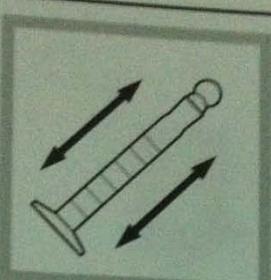
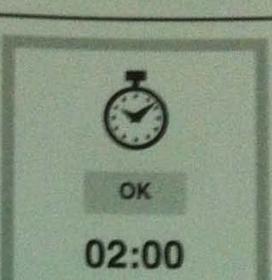
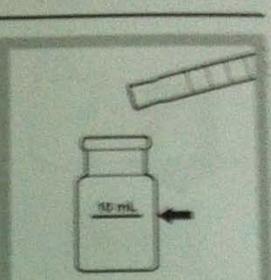
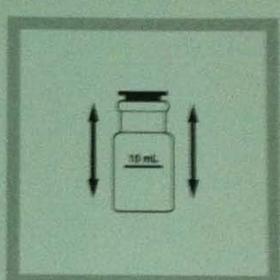
## Annexe XII : Dosage des sulfates.

## Mode opératoire

Pochettes de réactif		Méthode 8051	
 <p>Programmes enregistrés</p>	 <p>680 Sulfate Démarrer</p>		
<p>1. Appuyer sur <b>Programmes enregistrés</b>.</p>	<p>2. Sélectionner le programme d'analyse.</p>	<p>3. Remplir une cuve carrée de 1" jusqu'au trait de 10 mL avec l'échantillon.</p>	<p>4. <b>Préparation de l'échantillon</b> : Transférer le contenu d'une pochette de réactif SulfaVer 4 dans la cuve.</p> <p>Agiter pour homogénéiser.</p> <p>Une turbidité blanche apparaîtra en présence de sulfate.</p>
 <p>OK 05:00</p>		 <p>Zéro</p>	 <p>Mesurer</p>
<p>5. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur <b>OK</b>.</p> <p>Une période de réaction de 5 minutes va commencer.</p> <p>Ne pas remuer la cuve durant cette période.</p>	<p>6. <b>Préparation du blanc</b> : Remplir une autre cuve carrée de 1" jusqu'au trait de 10 mL avec l'échantillon.</p>	<p>7. Lorsque la minuterie retentit, essuyer l'extérieur du blanc (cuve) et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.</p> <p>Sélectionner sur l'écran : <b>Zéro</b></p> <p>Indication à l'écran : <b>0 mg/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b></p>	<p>8. Dans les 5 minutes après le retentissement de la minuterie, essuyer l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.</p> <p>Sélectionner sur l'écran : <b>Mesurer</b></p> <p>Les résultats sont indiqués en mg/L SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></p>

## Annexe XIII : Dosage des nitrates.

## Mode opératoire

Pochettes de réactif		Méthode 8192	
			
1. Appuyer sur <b>Programmes enregistrés</b> .	2. Sélectionner le programme d'analyse.	3. Remplir une éprouvette graduée de 25 mL jusqu'au trait de 15 mL avec l'échantillon.	4. Transférer le contenu d'une pochette de réactif NitraVer 6 dans l'éprouvette. Boucher l'éprouvette.
			
5. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur <b>OK</b> . Une période de réaction de 3 minutes va commencer.	6. Agiter énergiquement l'éprouvette pendant 3 minutes.	7. Lorsque la minuterie retentit, appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur <b>OK</b> . Une période de réaction de 2 minutes va commencer.	8. Lorsque la minuterie retentit, transférer avec précaution 10 mL de l'échantillon dans une cuve carrée de 1" propre. Prendre soin de ne pas transférer de particules de cadmium.
			
9. <b>Préparation de l'échantillon</b> : Transférer le contenu d'une pochette de réactif NitriVer 3 dans la cuve (l'échantillon préparé). Boucher.	10. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur <b>OK</b> . Une période de réaction de 30 secondes va commencer.	11. Agiter doucement la cuve pendant 30 secondes. Une coloration rose apparaîtra en présence de nitrate.	12. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur <b>OK</b> . Une période de réaction de 15 minutes va commencer.



**13. Préparation du blanc :** Lorsque la minuterie retentit, remplir une autre cuve carrée de 1" jusqu'au trait de 10 mL avec l'échantillon original.

**14.** Essuyer l'extérieur du blanc (cuve) et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.

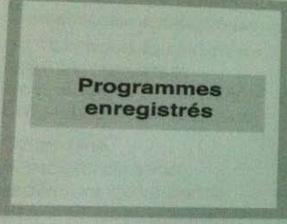
**15. Sélectionner sur l'écran : Zéro**  
Indication à l'écran :  
**0,00 mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N**

**16.** Essuyer l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.  
Sélectionner sur l'écran :  
**Mesurer**  
Les résultats sont indiqués en mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N

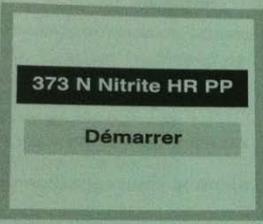
## Annexe XIV : Dosage des nitrites.

## Mode opératoire

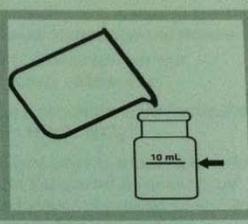
**Pochettes de réactif** **Méthode 8153**



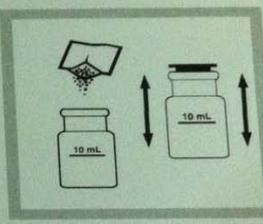
**1. Appuyer sur Programmes enregistrés.**



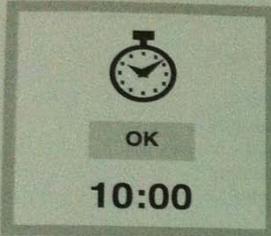
**2. Sélectionner le programme d'analyse.**



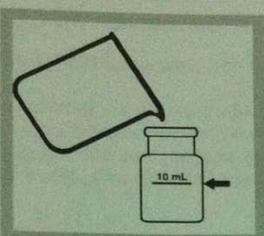
**3. Remplir une cuve carrée de 1" jusqu'au trait de 10 mL avec l'échantillon.**



**4. Préparation de l'échantillon :** Transférer le contenu d'une pochette de réactif pour nitrite NitriVer 2 dans la cuve ronde.  
Boucher et agiter pour homogénéiser.



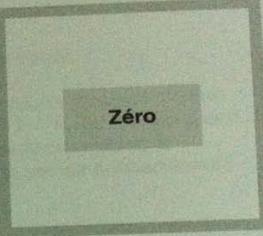
**5. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur OK.**  
Une période de réaction de 10 minutes va commencer.  
Pour éviter d'obtenir des résultats trop faibles, placer l'échantillon sur une surface horizontale et **ne pas y toucher durant toute la période de réaction.**



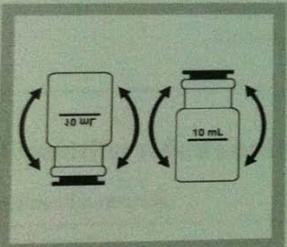
**6. Préparation du blanc :** Remplir une autre cuve carrée de 1" jusqu'au trait de 10 mL avec l'échantillon.



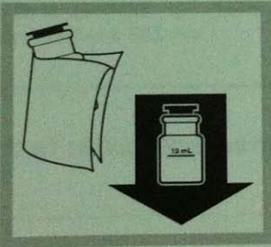
**7. Essuyer l'extérieur du blanc (cuve) et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.**



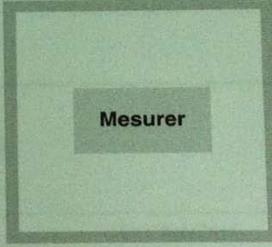
**8. Sélectionner sur l'écran : Zéro**  
Indication à l'écran : **0 mg/L NO<sub>2</sub><sup>-</sup>**



**9. Lorsque la minuterie retentit, renverser doucement l'échantillon préparé à deux reprises.**  
Eviter une homogénéisation excessive sous peine d'obtenir des résultats sous-estimés.



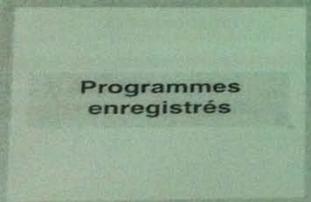
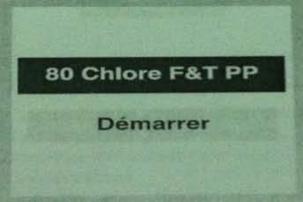
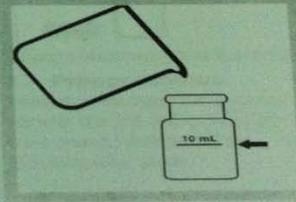
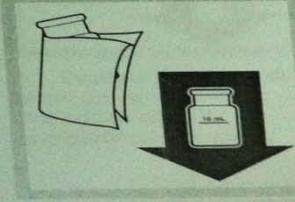
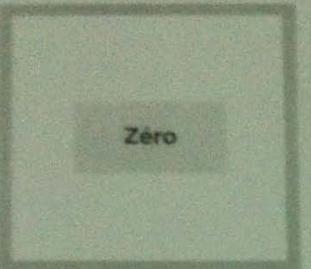
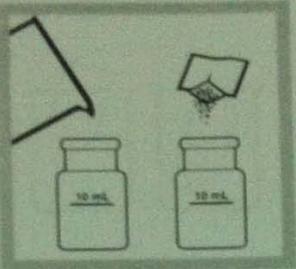
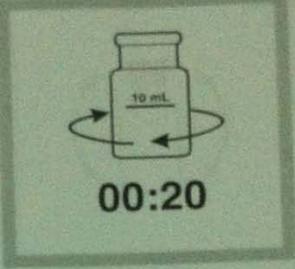
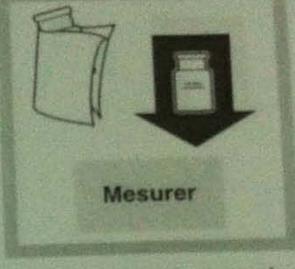
**10. Essuyer l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.**



**11. Sélectionner sur l'écran : Mesurer**  
Les résultats sont indiqués en **mg/L NO<sub>2</sub><sup>-</sup>**  
*Consulter le mode d'emploi de l'appareil pour de plus amples informations sur les modalités de lecture.*

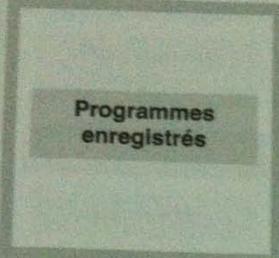
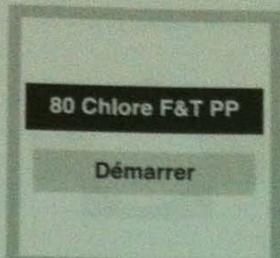
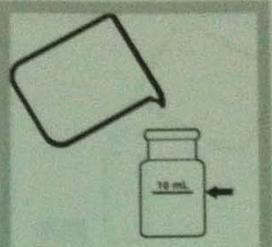
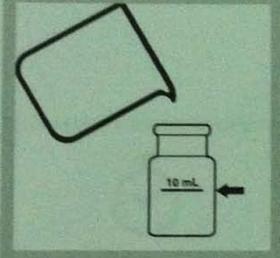
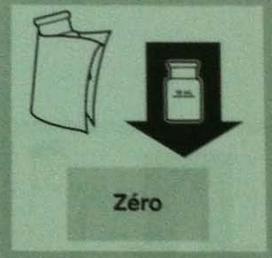
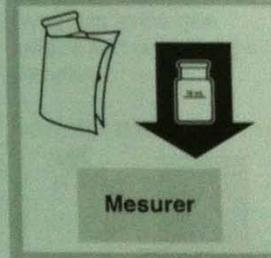
## Annexe XV : Dosage du chlore libre.

## Mode opératoire

Pochettes de réactif		Méthode 8021	
 <p>Programmes enregistrés</p>	 <p>80 Chlore F&amp;T PP Démarrer</p>		
<p>1. Appuyer sur <b>Programmes enregistrés</b>.</p>	<p>2. Sélectionner le programme d'analyse.</p>	<p>3. <b>Préparation du blanc</b> : Remplir une cuve carrée de 1" jusqu'au trait de 10 mL avec l'échantillon.</p>	<p>4. Essuyer l'extérieur du blanc (cuve) et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.</p>
 <p>Zéro</p>		 <p>00:20</p>	 <p>Mesurer</p>
<p>5. Sélectionner sur l'écran : <b>Zéro</b> Indication à l'écran : <b>0,00 mg/L Cl<sub>2</sub></b></p>	<p>6. <b>Préparation de l'échantillon</b> : Remplir une autre cuve carrée de 1" jusqu'au trait de 10 mL avec l'échantillon. Transférer le contenu d'une pochette de réactif pour chlore libre au DPD dans la cuve.</p>	<p>7. Agiter la cuve pendant 20 secondes pour homogénéiser. Une coloration rose apparaîtra en présence de chlore libre après l'adjonction du réactif dans la cuve. Passer immédiatement à l'étape 8.</p>	<p>8. Dans la 1 minute après l'adjonction de la pochette de réactif pour chlore libre au DPD, essuyer l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite. Sélectionner sur l'écran : <b>Mesurer</b> Les résultats sont indiqués en <b>mg/L Cl<sub>2</sub></b> <i>Consulter le mode d'emploi de l'appareil pour de plus amples informations sur les modalités de lecture.</i></p>

## Annexe XVI : Dosage du chlore total.

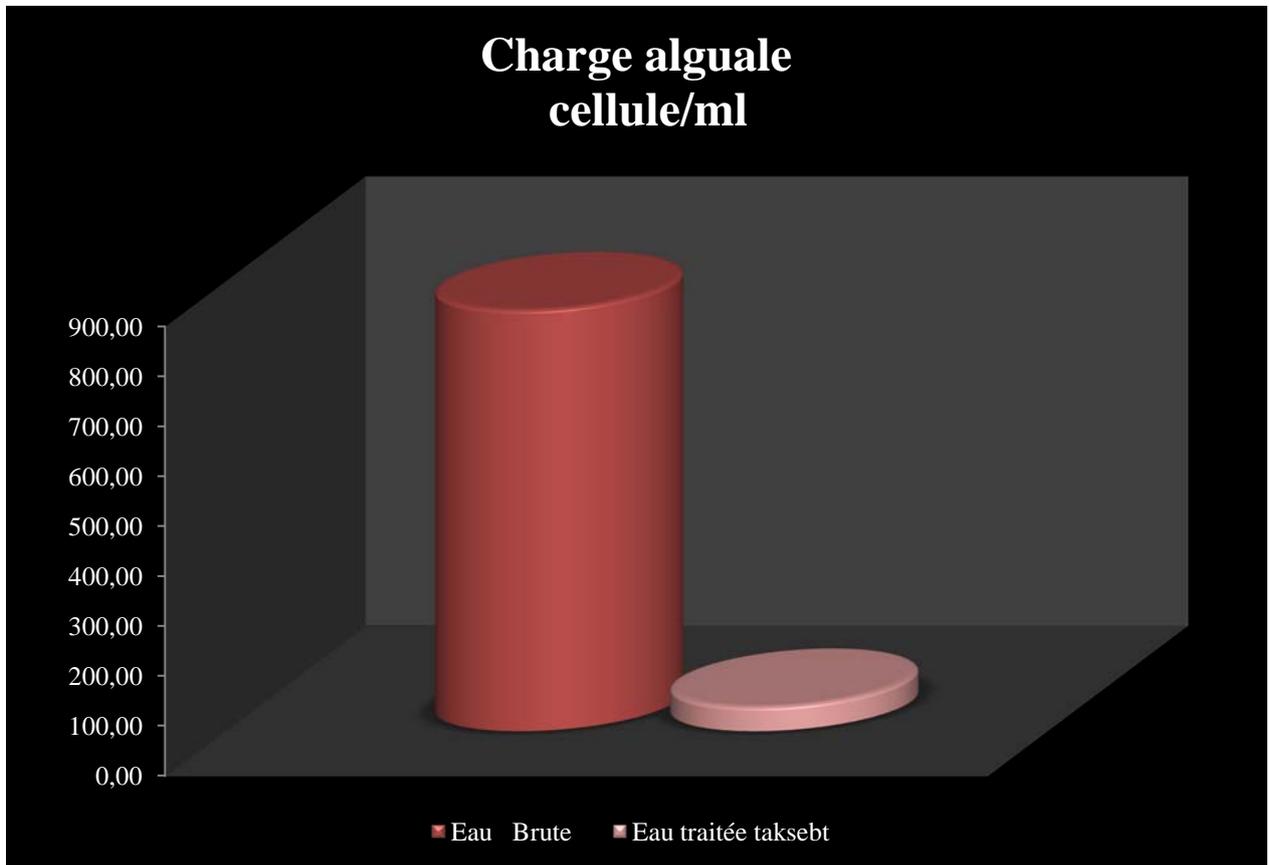
## Mode opératoire

Pochettes de réactif		Méthode B187	
			
<p>1. Appuyer sur <b>Programmes enregistrés</b>.</p>	<p>2. Sélectionner le programme d'analyse.</p>	<p>3. Remplir une cuve carrée de 1" jusqu'au trait de 10 mL avec l'échantillon.</p>	<p>4. <b>Préparation de l'échantillon</b> : Transférer le contenu d'une pochette de réactif pour chlore total au DPD dans la cuve.</p> <p>Agiter la cuve pendant 20 secondes pour homogénéiser.</p>
			
<p>5. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur <b>OK</b>.</p> <p>Une période de réaction de 3 minutes va commencer. Durant cette période de réaction, achever l'étape 6 et 7.</p>	<p>6. <b>Préparation du blanc</b> : Remplir une cuve carrée de 1" jusqu'au trait de 10 mL avec l'échantillon.</p>	<p>7. Essuyer l'extérieur du blanc (cuve) et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.</p> <p>Sélectionner sur l'écran : <b>Zéro</b></p> <p>Indication à l'écran : <b>0,00 mg/L Cl<sub>2</sub></b></p>	<p>8. Dans les 3 minutes après le retentissement de la minuterie, essuyer l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.</p> <p>Sélectionner sur l'écran : <b>Mesurer</b></p> <p>Les résultats sont indiqués en <b>mg/L Cl<sub>2</sub></b></p> <p><i>Consulter le mode d'emploi de l'appareil pour de plus amples informations sur les modalités de lecture.</i></p>

**Annexe XVII :** Exemple de résultats des analyses réalisées au niveau du laboratoire central de la SEAAL.

**1. Charge algale**

**Figure 1 :** Charge algale de l'eau brute et de l'eau traitée Taksebt.



## 2. Résultats des analyses physicochimiques

**Tableau I :** Résultats des analyses physicochimiques fournis par le laboratoire central de la SEAAL.

Paramètre	Unité	Analyses / mois	Eau brute			Eau traitée Taksebt			Norme
			Min	Max	Moyenne	Min	Max	Moyenne	
Si	µg/l		-	-	-	-	-	-	
Na <sup>+</sup>	mg/l	1	-	-	-				200
Bore	mg/l		-	-		-	-		1
Argent	mg/l		-	-	-	-	-	-	0,1
Arsenic	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Baryum	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	0,7
Cadmium	µg/l	-	-	-	-	-	-	-	3
Cyanures	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	0,07
Chrome	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	0,05
Cuivre	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	2
Fluor	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	0,30
Mercure	µg/l	-	-	-	-	-	-	-	6
Indice Hydrocarbures	mg/l		< 0.1	< 0.1	< 0.1				0,1
Plomb	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	0,01
Sélénium	mg/l		-	-	-	-	-	-	0,01
Benzène	µg/l		-	-	-				10
DCO	mg/l		< 30	< 30	< 30				
Zinc	mg/l					-	-	-	5
HPA	µg/l		-	-	-	-	-	-	0,20
Pesticides	µg/l		-	-	-	-	-	-	0,50
Détergents	mg/l		-	-	-	-	-	-	0,20
THM	µg/l		-	-	-				100