

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**



**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**  
**Département Biochimie-Microbiologie**

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en Biologie**

**Option: Microbiologie Appliquée**

**Présenté par : Mlle RABAHI Katia**

**Thème**

## **Etude de l'effet du courant électrique sur le traitement biologique des eaux usées domestiques de la ville de Tizi-Ouzou**

**Soutenu le : 30/09/2015 devant le jury composé de :**

<b>Mr AMROUCHE Tahar</b>	<b>Maître de Conférences A (UMMTO)</b>	<b>Président</b>
<b>Mr TAZDAÏT Djaber</b>	<b>Maître de Conférences B (UMMTO)</b>	<b>Promoteur</b>
<b>Mme SALAH-TAZDAÏT Rym</b>	<b>Maître de Conférences B (UMMTO)</b>	<b>Co-Promotrice</b>
<b>Mr OUELHADJ Akli</b>	<b>Maître de Conférences A (UMMTO)</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mlle BENAHMED-DJILALI Adiba</b>	<b>Maître de Conférences B (UMMTO)</b>	<b>Examinatrice</b>

**Promotion : 2014-2015**

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**



**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**  
**Département Biochimie-Microbiologie**

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en Biologie**

**Option: Microbiologie Appliquée**

**Présenté par : Mlle RABAHI Katia**

**Thème**

**Etude de l'effet du courant électrique sur le traitement  
biologique des eaux usées domestiques de la ville de  
Tizi-Ouzou**

**Soutenu le : 30/09/2015 devant le jury composé de :**

<b>Mr AMROUCHE Tahar</b>	<b>Maître de Conférences A (UMMTO)</b>	<b>Président</b>
<b>Mr TAZDAÏT Djaber</b>	<b>Maître de Conférences B (UMMTO)</b>	<b>Promoteur</b>
<b>Mme SALAH-TAZDAÏT Rym</b>	<b>Maître de Conférences B (UMMTO)</b>	<b>Co-Promotrice</b>
<b>Mr OUELHADJ Akli</b>	<b>Maître de Conférences A (UMMTO)</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mlle BENAHMED-DJILALI Adiba</b>	<b>Maître de Conférences B (UMMTO)</b>	<b>Examinatrice</b>

**Promotion : 2014-2015**





## REMERCIEMENT

*On dit souvent que le trajet est aussi important que la destination. Le long de ces années d'études m'on permit de bien comprendre la signification de cette phrase toute simple. Ce parcours, en effet, ne s'est pas réalisé sans défis et sans soulever de nombreuses questions pour lesquelles les réponses nécessitent de longues heures de travail.*

*Je tiens avant toute chose remercier **ALLAH** le tout puissant de m'avoir donné la foi et la volonté qui m'a permis d'en arriver là, malgré tous les sacrifices que j'ai consentis et tous les défis que j'ai pu surmonter tout en long de cette années qui été spéciale ; très spéciale.*

*Je tiens à présenter mes vifs remerciements à **M<sup>er</sup>. TAZDAIT** mon promoteur de mémoire qui m'a accordé sa confiance, sa disponibilité, sa contribution dans la réalisation de ce modeste travail, son sens d'application scientifique et sa rigueur pour le travail bien fait, je ne le remercierai jamais assez pour ses différentes orientations.*

*Mes remerciements s'dressent également à **M<sup>me</sup>. TAZDAIT** pour ses conseils avertis, sa compréhension, sa gentillesse, et son aide précieuse ce qui m'a permis de réaliser mon travail dans sa meilleure forme.*

*Une très grande reconnaissance va à **M. AMROUCHE** maître de conférence de rang A de l'UMMTO pour l'honneur qu'il fait de présider le jury de cette thèse et pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à mon travail.*

*J'adresse également mes sincères remerciements à **M. OUELHADJ** maître de conférence de rang A de l'UMMTO, d'avoir accepté de juger ce travail et d'apporter ses critiques tant constructives.*

*Je remercie chaleureusement Melle **BENAHME-DJILALI** maître de conférence de rang B, pour avoir bien voulu examiner ce travail et de contribuer par conseils tant souhaités.*

*Je tiens aussi à remercier : Le directeur de la station d'épuration de L'Est de Tizi-Ouzou, pour m'avoir accordée l'accès à la station d'épuration, ainsi que toute l'équipe de la station et plus particulièrement l'ensemble du personnel du Laboratoire.*

*Enfin, nous tenons à remercier également toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*



# DEDICACES

Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant qui m'a donné la volonté  
et la force pour mener à terme ce travail.

Je dédie ce modeste travail

A

Ma très chère mère, qui m'a toujours apportée

Son amour et son affection

Mon très chère père, qui m'a toujours encouragée conseillée et

Soutenu dans ce travail

Mes très chers frères : *ALI & JUBA*

Ma Petite sœur adorée : *LYDIA*

Mon oncle *HAMID*, sa femme *SOURAYA* & leurs petits anges:

*YOUNDAS, MAYAS & MAYLIS*

A mon âme sœur : *ABDELHAZ* pour toute son aide et ses conseils.

A la mémoire de mes grands parents: *FATIMA & MOUHEND*

A toute ma Famille et mes plus proches amis.

Tout les étudiants de Biologie et tout spécialement les étudiants de la  
promotion

2014-2015 Maser II microbiologie appliquée.

*Katia*

**AFNOR** : Agence Française de Normalisation.

**BCPL** : Bromocresol Purple Lactose (Gélose lactosée au pourpre de bromocrésol).

**BHIB** : Brain-Heart Infusion Broth (Bouillon infusion cerveau cœur).

**CE** : Conductivité Electrique.

**CERES -ERTI** : Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environnement et la Société (-Environmental Research and Teaching Institute).

**CIRC** : Centre International de Recherche sur le Cancer.

**COT** : Carbone Organique Total.

**CSR** : Clostridium Sulfito-Réducteur.

**DBO** : La demande Biochimique en Oxygène.

**DCE** : La Directive Cadre sur l'Eau.

**DCO** : La Demande Chimique en Oxygène

**ENGEES** : Ecole Nationale de Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg.

**EPA** : Eau Peptonée Alcaline.

**FTU** : Formazine Turbidity Unit (Unité de Turbidité référencées à une suspension stable standardisée de Formazine).

**GC** : Giolitti-Cantoni.

**GN** : Gélose Nutritive.

**GNAB** : Gélose Nutritive Alcaline Biliée.

**IBGE** : Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement.

**ICPE** : Installation Classés de la Protection de l'Environnement.

**INRS** : Institut National de la Recherche et de la Sécurité.

**MES** : Matière En Suspension.

**MMS** : Matière Minérale en Suspension.

**MVS** : Matière Volatile Sèche.

**NPP** : Nombre le Plus Probable.

**NTU** : Nephelometric Turbidity Unit (Unité de Turbidité Néphélométrique).

**PCA** : Plate Count Agar.

**SFB** : Selenite-F Broth (Bouillon au selenite)

**SS** : Salmonella-Shigella

**STEP** : STation d'EPuration.

**TSSAPC** : Techniciens Supérieurs de la Spécialité Analyses Physico-chimiques.

**UFC** : Unité Formant Colonie.

**V** : Volume.

<b>Tableau I</b> : Nombre d'huileries au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou .....	8
<b>Tableau II</b> : Normes de rejet de l'OMS, appliqué en Algérie .....	10
<b>Tableau III</b> : Valeurs de turbidité usuelles .....	12
<b>Tableau IV</b> : Rapport entre la conductivité et la minéralisation.....	13
<b>Tableau V</b> : Classification des eaux selon leurs pH.....	16

<b>Figure 1</b> : Schéma de principe de la coagulation-floculation.....	24
<b>Figure 2</b> : Schéma de principe de la mise en œuvre des micro-organismes en aérobiose .....	25
<b>Figure 3</b> : Schéma de principe d'une installation d'épuration par boue activée avec recirculation.....	26
<b>Figure 4</b> : Cycles biologiques d'une lagune.....	27
<b>Figure 5</b> : Schéma de principe de la mise en œuvre des micro-organismes en anaérobiose.....	27
<b>Figure 6</b> : Etapes d'une filière de traitement des eaux .....	28
<b>Figure 7</b> : Schéma du principe de l'électrocoagulation .....	33
<b>Figure 8</b> : Schéma d'une cellule d'électroflottation .....	34
<b>Figure 9</b> : Vue générale de la STEP de Tizi-Ouzou .....	37
<b>Figure 10</b> : Bassin biologique d'aération de la STEP .....	38
<b>Figure 11</b> :-Photo et schéma du dispositif expérimental utilisé.....	39
<b>Figure 12</b> : Schéma représentant les étapes de la recherche de la flore mésophile totale Aérobie .....	43
<b>Figure 13</b> : Schéma représentant les étapes de recherche de coliformes totaux sur BCPL de couleur rouge.....	44
<b>Figure 14</b> : Résultats de la décantation des boues activées observée après 6h de temps .....	50
<b>Figure 15</b> : Variation de la turbidité moyenne de l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique (d=2cm).....	52
<b>Figure 16</b> : Variation de la turbidité moyenne de l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique (d=6cm).....	54
<b>Figure 17</b> : Variation de la conductivité électrique de l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique (d=2cm).....	56
<b>Figure 18</b> : Variation de la conductivité électrique de l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique (d=6cm).....	57
<b>Figure 19</b> : Variation de la concentration des MES de l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique (d=2cm).....	59
<b>Figure 20</b> : Variation de la concentration des MES de l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique (d=6cm).....	60
<b>Figure 21</b> : Variation du pH dans l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique (d=2cm).....	63
<b>Figure 22</b> : Variation du pH dans l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique (d=6cm).....	64
<b>Figure 23</b> : Résultats du dénombrement des flores mésophile total aérobie, des coliformes et des streptocoques obtenus avec ou sans application du courant électrique.....	68
<b>Figure 24</b> : Résultats du dénombrement de Salmonelles, Staphylocoques, <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , Vibriion (A) et les Clostridium Sulfito-Réducteur (CSR) (B) obtenus avec ou sans application du courant électrique .....	69

# SOMMAIRE

Liste des abréviations .....	I
Liste des tableaux .....	III
Liste des figures .....	IV
Introduction .....	1

## Partie bibliographique

### Chapitre I : Paramètres de qualité sur les eaux usées

I-Généralités sur la pollution des eaux .....	3
I-1-Définition d'une eau usée .....	3
I-2-Origine des eaux usées .....	3
I-2-1-Eaux usées domestiques.....	3
I-2-2-Eaux usées industrielles .....	4
I-2-3-Eaux usées agricole.....	5
I-2-4-Eaux usées pluviale.....	5
I-3-Les différents types de pollution des eaux .....	6
I-3-1-Pollution physico-chimique .....	6
I-3-2-Pollution organique.....	6
I-3-3-Pollution biologique.....	7
I-4-Les normes de rejet .....	7
II-Caractéristiques des eaux usées.....	7
II-1-Caractères organoleptiques .....	8
II-1-1-Odeur .....	8
II-1-2-Couleur .....	8
II-2-Caractères physico-chimiques .....	8
II-2-1-Les paramètres physiques.....	8
I-2-1-1-La température (T).....	8
II-2-1-2-Turbidité .....	9
II-2-1-3-Conductivité électrique (CE).....	9
II-2-1-4-l'oxygène dissous.....	10
II-2-1-5-Matière en suspension (MES) .....	10
II-2-2-les paramètres chimiques.....	11
II-2-2-1-La demande biochimique en oxygène (DBO).....	11
II-2-2-2-La demande chimique en oxygène (DCO).....	12
II-2-2-3-Le carbone organique total (COT) .....	12
II-2-2-4-la biodégradabilité .....	12
II-2-2-5-Le potentiel d'oxygène (pH).....	12
II-2-2-6-Les éléments toxiques chimiques.....	13
II-2-2-7-les sels minéraux .....	14

II-3-Caractères microbiologiques .....	14
II-3-1-la flore microbienne de l'eau usée .....	14
II-3-2-Paramètres bactériologiques de l'eau usée .....	15
II-3-2-1-Recherche des germes mésophiles totaux .....	15
II-3-2-2-Recherche des Coliformes totaux .....	15
II-3-2-3-Recherche des Coliformes Thermo-tolérants .....	15
II-3-2-4-Recherche des Streptocoques fécaux .....	15
II-3-2-5-Recherche des germes pathogènes .....	16

## Chapitre II : Epuration des eaux usées

I-Introduction .....	17
I-1-La nécessité de l'épuration .....	17
II-Traitements des eaux usées .....	17
III-Procédé d'épuration des eaux usées .....	18
III-1-Prétraitement.....	18
III-1-1-Dégrillage .....	18
III-1-2-Dessablage.....	18
III-1-3-Dégraissage-Déshuilage .....	18
III-2-Traitement primaire .....	19
III-2-1-Décantation primaire (Physique naturel).....	19
III-2-2-Décantation secondaire (physico-chimique) .....	19
III-3-traitement secondaire (biologique) .....	20
III-3-1-Les traitements secondaires aérobies .....	21
III-3-1-1-Les procédés aérobies à culture fixée .....	21
III-3-1-2- Les procédés aérobies à culture libre .....	21
III-3-2- Les traitements secondaires anaérobies.....	23
III-4-Traitements tertiaire .....	24

## Chapitre III : La bioremédiation dans l'effluent et les méthodes de traitements par champs électrique

Introduction .....	25
I-la Bioremédiation par les micro-organismes .....	25
I-1-Principe de la bioremédiation.....	25
I-1-1-La bio filtration .....	25
I-1-2-La biostimulation .....	26
I-1-3-Compostage.....	26
I-1-4-Les micro-organismes utilisés dans la bioremédiation .....	26
I-2-La phytoremédiation .....	27
II-Méthodes de traitement des effluents par champs électrique.....	27
II-1-Electrocoagulation .....	27

II-2-Électroflottation .....	29
------------------------------	----

## **Partie expérimentale**

### Chapitre I : Matériels et Méthodes

I-Présentation de la STEP de l'Est de Tizi-Ouzou.....	31
II-Matériel .....	32
II-1- Description du dispositif expérimental .....	32
II-2-Echantillonnage (prélèvement de l'inoculum) .....	33
II-3-Paramètres physique ou chimique .....	34
II-3-1-Mesure de la turbidité .....	34
II-3-2- Mesure de la conductivité électrique (CE) .....	34
II-3-4-Mesure de la matière en suspension (MES) .....	35
II-3-4-Le potentiel d'oxygène (pH) .....	36
II-4-Analyse Microbiologique.....	36
II-4-1Recherche et dénombrement de la Flore Mésophile Totale.....	36
II-4-2Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux(Colimétrie).....	37
II-4-3-Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux.....	38
II-4-4-Recherche et dénombrement des salmonelles .....	39
II-4-5- Recherche des staphylocoques .....	40
II-4-6- Recherche de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	40
II-4-7- Recherche des vibrions .....	41
II-4-8-Recherche des <i>Clostridium</i> sulfito- réducteurs.....	41

### Chapitre II : Résultats et discussions

I-1- Analyse olfactive et aspect des boues activées après ou sans application du courant électrique .....	43
I-2-Variation de la turbidité de l'influent à traiter avec ou sans application du courant électrique .....	44
I-3-Variation de la conductivité de l'influent à traiter avec ou sans application du courant électrique .....	48
I-4-Variation des matières en suspension de l'influent à traiter avec ou sans application du courant électrique .....	51
I-5- Variation du potentiel d'hydrogène (pH) de l'influent à traiter avec ou sans application du courant électrique .....	54
I-6-Variation de la flore bactérienne de l'influent avec ou sans application du courant électrique .....	58
Conclusion et perspectives .....	64
Références bibliographiques .....	66
Annexes .....	80
Résumé	

# **Introduction générale**

## Introduction générale

L'eau ne peut être considérée comme un simple produit commercial, elle doit être classée comme un patrimoine universel qui doit être protégée, défendue et traité. Elle est une ressource pour l'homme, sa survie, sa santé, son alimentation; elle l'est également pour ses activités agricoles, économiques et la qualité de son environnement en dépend étroitement. Cependant, elle est le réceptacle universel de tous types de pollution.

La croissance alarmante de la pollution des eaux par des matières diverses, organique ou inorganique: pesticides, détergents, métaux lourds et d'autres substances toxiques, représenté un réel danger pour la flore et la faune aquatique et cause des sérieux problèmes à l'humanité. Bien qu'apparemment inépuisable, l'eau est très inégalement répartie sur la planète.

Tous les pays auront, à court ou à long terme, à faire face au problème de sa raréfaction. La mobilisation des eaux superficielles a été de tous temps une préoccupation majeure des pouvoirs publics **(DEVAUX, 1999; ECOSSE, 2001)**.

Le traitement des eaux usées est un enjeu d'ordre environnemental mondial. La production d'eaux usées ne cesse d'augmenter avec l'accroissement de la population et l'activité industrielle. Ce sérieux problème génère non seulement des risques de pollution pour les écosystèmes naturels mais entraîne également des conditions d'insalubrité et des risques sanitaires importants **(MELANIE, 2010)**.

Le travail entrepris dans ce mémoire a pour objectif l'évaluation, *in vitro*, de l'effet du courant électrique sur les performances des micro-organismes présents dans des boues activées destinées à traiter un influent d'eaux usées et prélevées à partir du bassin d'aération de la station d'épuration des eaux usées sis à l'Est de la ville de Tizi-Ouzou.

# **Partie bibliographique**

## **I-Généralités sur la pollution des eaux**

Il existe plusieurs types de polluants dans l'eau usée. Ils ont été mis en évidence progressivement grâce aux améliorations des techniques de détection. Les premiers éléments à avoir attiré l'attention ont été les bactéries, à l'origine de problèmes sanitaires, tels le choléra. Les eaux usées domestiques sont aussi source de matière organique, dissoute ou sous forme particulaire qui contient du carbone, de l'azote et aussi du phosphore ; ces substances nutritives en trop fortes concentrations enrichissent, parfois jusqu'à l'asphyxie, le milieu où elles sont déversées, sols et eaux de surface (**ANONYME 1, 2013**).

La pollution des eaux souterraines ou de surface peut être appréciée relativement à des normes établies régissant leur qualité physico-chimique et bactériologique. Elle peut être le résultat d'une détérioration des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques du milieu naturel ou écosystème, généralement, suite à une surcharge due à un apport excessif incontrôlé de certains éléments à de fortes concentrations; ou suite à un apport d'éléments toxiques même à des teneurs très infimes (**DJAMEL et MESBAH, 2008**).

### **I-1-Définition d'une eau usée**

Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement (**LAVOISIER, 1995**).

### **I-2-Origine des eaux usées**

En suivant l'origine et la qualité de substances polluantes, on distingue quatre catégories d'eaux usées:

#### **I-2-1-Eaux usées domestiques**

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux domestiques se retrouvent dans les égouts et peuvent aller jusqu'à la station d'épuration (**ANONYME 2, 2014**).

Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales et des matières organiques. Les matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, etc.) et les matières organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (**VAILLANT, 1974**).

La charge polluante d'un effluent domestique ou mixte est calculée en admettant que chaque habitant produit 54grammes par jour (54g/J) de charge polluante entraînée à l'égout en suspension ou en solution (**ANONYME 3, 2005**).

On distingue généralement deux « types » d'eaux usées domestiques qui arrivent toutes les deux dans le réseau d'assainissement :

#### **Eaux grises :**

Elles sont constituées essentiellement d'excréments humains des eaux de ménagères de vaisselle chargées de détergents, lavage de linge, douches (bains) et graisse. Elles contiennent typiquement des concentrations élevées de matière organique facilement biodégradable (MENECEUR et SAIDJ, 2013).

#### **Eaux noires :**

Elles contiennent divers substances plus polluantes aux plus difficiles à éliminer tels que des matières fécales, des produits cosmétiques ou tous types de sous-produits industriels mélangées à l'eau. Elles sont aussi appelées eaux de vanes ou de toilettes chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux (METAHRI, 2012).

### **I-2-2-Eaux usées industrielles**

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques et leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques ou des hydrocarbures. En raison de leurs spécificités, certains d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles ne sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collectes et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épuration ou du milieu récepteur (BELHMADI, 2011).

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc. Ainsi, dans la Wilaya de Tizi-Ouzou, plusieurs types de rejets existent dont :

#### **Les rejets d'huileries**

Le nombre d'huileries au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou est de 704 et dont les rejets aboutissent dans l'oued Sébaou et ces affluents (Tableau I).

**Tableau I :** Nombre d'huileries au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou (DJEMEL et MESBAH, 2008).

Wilaya de Tizi-Ouzou		
Nombre d'huileries	Quantité d'olives triturées en quintaux	Charge polluante (Eq/hab)
704	886120	44 306 000

Le coefficient de la charge polluante (équivalent/habitant) est égal à 500 eq/hab pour 01 tonne d'olives triturées.

#### ✚ Les rejets des stations de services lavage-graissage:

La wilaya de Tizi-Ouzou compte 81 stations-services lavage-graissage. Les rejets de ces stations sont très polluants et peuvent endommager la qualité des eaux de surface et souterraines.

#### ✚ Les décharges publiques

La wilaya de Tizi-Ouzou totalise un nombre de 55 décharges dont 23 sont brutes contrôlées et 23 sauvages non contrôlées qui reçoivent 779 tonnes/jour de déchets.

#### ✚ Les rejets d'abattoirs

Les abattoirs principaux de la wilaya de Tizi-Ouzou sont au nombre de 19 abattoirs avec une quantité abattue de 29344 T/an (**DJEMEL et MESBAH, 2008**).

### I-2-3-Eaux usées agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable. En effet, les eaux agricoles issues de terres cultivées chargés d'engrais nitrates et phosphates, sous une forme ionique ou en quantité telle qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes conduisent par ruissellement à un enrichissement en matière azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eaux ou des retenues (**METAHRI, 2012**).

### I-2-4-Eaux usées pluviales

Le rôle des eaux pluviales est également important dans les transferts de pollution. Les eaux de ruissellement peuvent être polluées par le lessivage des sols, des surfaces imperméabilisées, etc. Les eaux pluviales peuvent contenir de ce fait des métaux lourds et des toxiques : plombs, zinc, hydrocarbures, etc. En milieu rural, les eaux pluviales provoquent en outre le lessivage des terres agricoles, entraînant engrais et pesticides vers les cours d'eau ou les nappes. Les décharges de déchets domestiques ou industriels, lorsqu'elles ne sont pas aménagées, sont également lessivées par les eaux de pluie qui se chargent alors de pollution organique et/ou toxique (**ANONYME 4, 2010**).

Les eaux de pluies collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration sont souvent drainées directement dans la rivière entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique (METAHRI, 2012).

### I-3-Les différents types de pollution des eaux

Selon leur nature, on distingue divers types de la pollution de l'eau:

#### I-3-1-Pollution physico-chimique

##### Thermique

Ce type de pollution est causé par les rejets d'eaux chaudes provenant des systèmes de refroidissement des centrales nucléaires en particulier. Ces eaux chaudes provoquent la réduction de la teneur en oxygène dissous de l'eau et peut avoir des actions néfastes sur la faune en changeant leur référendum thermique.

##### Chimique

La pollution chimique de l'eau devient de nos jours une préoccupation de santé publique, qui prend des formes multiples. Certaines formes de pollution chimique échappent souvent aux méthodes ordinaires de traitement de l'eau et posent par conséquent des problèmes complexes de pollution, tant au niveau de surface, qu'au niveau des nappes.

La pollution chimique de l'eau est due essentiellement aux déversements des polluants organiques et des sels de métaux lourds par industries. L'enrichissement des sols pour augmenter leur productivité agricole, par diverses catégories d'engrais et de pesticides est également source de pollution chimique des nappes phréatiques souterraines (MENECEUR et SAIDJ, 2013).

#### I-3-2-Pollution organique

Elle est engendrée par le développement des eaux usées domestiques ou des eaux résiduaires provenant des industries textiles, papeteries, industrie de bois, de raffineries et d'abattoirs.

Ces matières organiques qui se présentent aussi bien, en suspension (particules solides) qu'en solution dans l'eau appelées à devenir des polluants lorsqu'elles sont déversées en quantités massives ou de façon répétée dans les espaces limités en créant une bioaccumulation. Les matières organiques peuvent être biodégradables c'est-à-dire susceptibles d'être détruites par autoépuration grâce aux micro-organismes présents dans l'eau qui se nourrissent de cette pollution, mais entraînent en contre partie une consommation importante d'oxygènes dissous (BECHAC *et al.*, 1987).

### I-3-3-Pollution biologique

Ce type de pollution d'origine humaine et animal est engendré par les rejets urbains, elle est dangereuse surtout s'il y a des microorganismes pathogènes qui peuvent être à l'origine de maladies infectieuses.

### I-4-Les normes de rejet

On entend par normes de rejet, les valeurs admissibles des paramètres de pollution qui réglementent le rejet des effluents dans le milieu naturel. Les normes de rejet des eaux usées appliquées en Algérie sont résumées dans le tableau II.

**Tableau II** : Normes de rejet de l'OMS, appliquées en Algérie (ANONYME 3, 2013).

Paramètres	Unités	Normes
Température	°C	30
pH	-	6,5à 8,5
O <sub>2</sub>	mg/l	5
DBO <sub>5</sub>	mg/l	30
DCO	mg/l	90
MES	mg/l	30
Zinc	mg/l	2
Chrome	mg/l	0,1
Azote total	mg/l	10
Phosphore	mg/l	2
Hydrocarbure	mg/l	10
Détergent	mg/l	1
Huile et graisses	mg/l	20

### II-Caractéristique des eaux usées

Les eaux usées représentent l'une des principales voies d'entrée des contaminants organiques et inorganiques dans l'environnement en raison de leur composition complexe et les exigences spécifiques pour leur traitement. Ainsi, la compréhension de la composition des eaux usées constitue une étape primordiale pour mieux comprendre les interactions entre les composés organiques et inorganiques, et permettre l'optimisation des performances des procédés de traitement dans les stations d'épuration (DARWANO, 2013).

Les eaux usées municipales sont principalement composées d'eau (99,9%), la partie restante comprend généralement des matières en suspension dissoutes et solides d'origine minérale et organique, ainsi que des microorganismes. En terme de contamination présente dans les eaux usées, elle peut être présentée sous différentes formes, en fonction de sa nature (polluant organique et inorganique ou encore biologique ou liée à la température) ou même en fonction de la taille et la solubilité (dissous, particulaire ou colloïdale) (**BIRKETT et LESTER, 2003; VON SPERING, 2007**).

Il existe une grande variété de paramètres indicateurs de pollution de l'eau :

## **II-1-Caractères organoleptiques**

### **II-1-1-Odeur**

L'odeur d'une eau est généralement un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition en quantité souvent si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyses (**METAHRI, 2002**).

### **II-1-2-Couleur**

La coloration des eaux peut avoir une origine naturelle comme la présence de fer et de manganèse dans les eaux profondes, de substances chimiques dans les eaux de surfaces. (**CESSAC et GEORGE, 2001**).

Elle peut être une des conséquences du phénomène d'eutrophisation à savoir un développement excessif d'algues et de plancton. Elle peut avoir aussi une origine industrielle chimique provenant des colorants des tanneries et de l'industrie textiles, d'impression et de teintures (**MOKDDEM et KOUDDANE, 2005**).

La couleur constitue un critère beaucoup moins important dans le traitement des eaux usées que dans le traitement des eaux potables. Toutefois, dans le traitement des eaux usées, mis à part le fait qu'il peut permettre d'observer l'efficacité d'un traitement, il peut aussi être utilisé pour indiquer la "condition" des eaux usées. En d'autres mots, on peut déterminer par la couleur s'il s'agit d'une eau usée fraîche ou d'une eau usée noire "venue complètement anaérobie, avec une teneur en oxygène dissous égale à zéro (**METCALFT et EDDY, 1979**).

## **II-2-Caractères physico-chimique**

### **II-2-1-Les paramètres physiques**

#### **II-2-1-1-La température**

C'est une caractéristique physique importante. Elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH et la vitesse des réactions chimiques. Sa

mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants. D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air (**RODIER, 1997**).

La température agit aussi comme facteur physiologique sur le métabolisme des micro-organismes vivants dans l'eau (**MEKHALIF, 2009**).

### II-2-1-2-Turbidité

La turbidité représente la mesure du niveau d'adsorption ou de dispersion de la lumière par la matière en suspension contenue dans une eau usée (**PEAVY *et al.*, 1985**).

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées (**METAHRI, 2012**).

Pour la sécurité de l'eau, il faut maintenir une turbidité inférieure à 5 NTU (**JOUBERT, 1991**). Le tableau III représente les valeurs de turbidité usuelles traduisant la qualité des eaux (**RODIER *et al.*, 2009**).

**Tableau III :** Valeurs de turbidité usuelles (**RODIER *et al.*, 2009**).

Valeurs (NTU)	Qualité des eaux
NTU<5	Eau claire
5<NTU<30	Eau légèrement trouble
NTU>50	Eau trouble

### II-2-1-3-Conductivité électrique (CE)

La conductivité est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau).

La conductivité exprimée en micro-Siemens par centimètre est l'inverse de la résistance qui s'exprime en Ohm par centimètre. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation de l'eau (**REJSEK, 2002**).

Le tableau IV établit une relation entre le degré de la minéralisation et la conductivité.

**Tableau IV:** Rapport entre la conductivité et la minéralisation (**DIALLO, 1996**).

Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ )	Minéralisation
Conductivité $<100 \mu\text{S}/\text{cm}^2$	Minéralisation très faible
$100 \mu\text{S}/\text{cm}^2 < \text{conductivité} < 200 \mu\text{S}/\text{cm}^2$	Minéralisation faible
$200 \mu\text{S}/\text{cm}^2 < \text{conductivité} < 333 \mu\text{S}/\text{cm}^2$	Minéralisation Moyenne accentuée
$333 \mu\text{S}/\text{cm}^2 < \text{conductivité} < 666 \mu\text{S}/\text{cm}^2$	Minéralisation Moyenne
$666 \mu\text{S}/\text{cm}^2 < \text{conductivité} < 1000 \mu\text{S}/\text{cm}^2$	Minéralisation important
Conductivité $>1000 \mu\text{S}/\text{cm}^2$	Minéralisation excessive

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau entre deux électrodes métalliques de  $1\text{cm}^2$  (**RODIER, 1997**).

La conductivité est la mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ion. Ainsi, plus elle contient des ions comme le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le sodium ( $\text{Na}^+$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ), le bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée (**HADE, 2002**).

#### II-2-1-4-l'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 (**HADE, 2007**).

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 salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. 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 (**ECOSSE, 2001**).

#### II-2-1-5-Matière en suspension (MES)

Ce sont des matières biodégradables pour la plupart. Ces matières en suspension représentent la qualité de la pollution organique et minérale non dissoute dans l'eau, c'est-à-dire les matières décantables et colloïdales (**AIF, 1993**).

Elles représentent la fraction constituées par l'ensemble des particules, organiques (MVS) ou minérales (MMS) non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre

important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. Les MES s'expriment par la relation suivante (équation 1).

$$\text{MES} = \text{MVS} + \text{MMS} \quad (1)$$

#### ✚ Les matières volatiles sèches (MVS)

Elles représentent la fraction organique des MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525° C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à 105°C et MES à 525°C correspond à la teneur en MVS en mg/l d'une eau (METAHRI, 2012). Le suivi de la MVS permet de connaître la stabilité de la boue d'épuration.

#### ✚ Les matières minérales en suspension (MMS)

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau c'est-à-dire son "extrait sec" constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures et les phosphates, etc (METAHRI, 2012). L'abondance des matières minérales en suspension dans l'eau augmente la turbidité, réduit la luminosité et par ce fait abaisse la productivité d'un cours d'eau, entraînant ainsi une chute en oxygène dissous et freinant les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à la réaération de l'eau. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matières organiques consommatrices d'oxygène (DUGUET *et al.*, 2006).

## II-2-2-Les paramètres chimiques

### II-2-2-1-La demande biochimique en oxygène (DBO)

C'est le test le plus populaire utilisé pour la détection de la pollution organique des eaux usées et des eaux potables. La DBO permet de mesurer l'oxygène dissous utilisé par les micro-organismes lors de la dégradation de la matière organique (METCAL et EDDY, 1979). Ainsi un échantillon d'eau possédant une DBO élevée représente une contamination organique élevée; ce qui a tendance à favoriser la prolifération des micro-organismes et des odeurs quand toutes les conditions favorables à la croissance des micro-organismes sont atteintes (température, pH, nutriments, etc.), suite à l'intense activité biologique présente. Par contre, une eau ayant une DBO faible se caractérise par une activité biologique plus lente, dégage moins d'odeur *et* favorise moins bien la prolifération des micro-organismes (BANDU, 1999).

La DBO a été standardisée en DBO<sub>5</sub> mesuré au bout de 5 jours considérée comme une période significative du processus global de biodégradation qui prend des semaines. Elle se résume à la réaction chimique suivante (équation 2) :



La durée utilisée pour l'incubation des échantillons lors de l'application de ce test est donc de cinq jours ( $DBO_5$ ) dans l'obscurité et dans un milieu contrôlé à une température constante de 20°C (BEHMADI, 2011).

### II-2-2-La demande chimique en oxygène (DCO)

C'est la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation de l'ensemble des matières minérales (sels) et organiques biodégradables ou non, présentes dans un milieu, soit les matières oxydables par les processus purement chimiques et celles oxydables par les processus biochimiques (BOUSSEBOUNA, 2005).

La DCO est obtenue à l'aide d'un agent oxydant puissant comme le dichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) en milieu acide ( $H_2SO_4$ ) pendant 2 heures d'ébullitions à 150°C. La valeur de la DCO est toujours plus élevée que celle de la  $DBO_5$ , car de nombreuses substances organiques peuvent être oxydées chimiquement mais ne peuvent s'oxyder biologiquement (AZIMI *et al.*, 2006). La DCO exprimée en  $mgO_2/L$  (PELMONT, 2005).

### II-2-2-3-Le carbone organique total (COT)

La mesure du carbone organique totale est une autre méthode de mesure de la teneur en matières organiques d'une eau. Il représente la teneur en carbone liée à la matière organique (METCAL et EDDY, 1979).

### II-2-2-4-la biodégradabilité

Le terme biodégradation signifie la transformation biologique d'un composé inoffensif en composé offensif toxique, altérer la toxicité d'un composé. Cependant lorsqu'on juge un composé comme biodégradable, cela signifie qu'il peut être minéralisé. Le terme biodégradation primaire est utilisé pour indiquer une simple transformation, alors que le terme biodégradation partielle signifie une transformation qui arrive à un stade entre la biotransformation primaire et la minéralisation (LABRECQUE, 2003).

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel qu'il est représenté dans l'équation 3.

$$K = DCO/DBO_5 \quad (3)$$

- ✚ Si  $K < 1,5$  : cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matière fortement biodégradable.
- ✚ Si  $1,5 < K < 2,5$  : cela signifie que la matière oxydables sont moyennement biodégradable.
- ✚ Si  $2,5 < K < 3$  : les matières oxydables sont peu biodégradable.
- ✚ Si  $K > 3$  : les matières oxydables sont non biodégradable (METAHRI, 2012).

### II-2-2-5-Le potentiel d'oxygène (pH)

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est -à-dire de la concentration en ions d'hydrogène ( $H^+$ ). Le pH d'une eau naturelle peut varier de 5 à 8 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés ou bien son origine ces valeurs sont indiquées dans le Tableau V (ANONYME 3, 2005).

**Tableau V:** Classification des eaux selon leurs pH (RODIER *et al.*, 2005).

Valeur de pH.	Nature des eaux.
pH<5	Acidité forte → présence d'acide minéral ou organique
pH=7	Neutralité.
7<pH<8	Neutralité appropriée → la majorité des eaux de surface.
5.5<pH<8	Majorité des eaux souterraines.
pH≥8	Alcalinité forte → évaporation intense.

Les organismes sont très sensibles aux variations du pH et un développement correct de la faune et la flore aquatique. Des pH faibles (eau acide) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés (pH basique) augmentent les concentrations d'ammoniac toxique (ANONYME 3, 2005).

### II- 2-2-6-Les éléments toxiques chimiques

Ils sont soit minéraux soit organiques ; en l'occurrence des anions comme les sulfates, nitrites, nitrates, chromes ou cations comme calcium, sodium, magnésium.

#### ✚ Les composés toxiques minéraux

Ce sont essentiellement des métaux lourds (mercure, plomb, zinc, vanadium, chrome VI); des minéraux d'origine agricole (organochlorés, organophosphorés et organométalliques) ou des minéraux d'origine industrielle (cyanures, sulfure, etc.).

- **Métaux lourds**

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux et les plus abondants (de l'ordre de quelques  $\mu g/l$ ) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces. Leur origine est multiple : ils proviennent « des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des

matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets Industriels (CAUCHI *et al.*, 1996).

#### ✚ Les composés toxiques organiques

##### ✚ Les pesticides

On désigne généralement sous le nom de pesticides, tous produits utilisés pour lutter contre les organismes qui portent atteinte à la santé publique ou s'attaquant à tous les stades et de toutes les manières aux ressources végétale ou animales nécessaires à l'alimentation humaine, à l'industrie ou encore à la conservation de l'environnement (SIDIBE, 1992).

D'après leurs usages, les pesticides sont classés de la manière suivante: les insecticides, les fongicides, les nématocides, les rodenticides, les herbicides, les acaricides. Leur présence dans l'eau peut être liée à leur utilisation en excès dans l'agriculture, l'accumulation de rejets urbains et industriels (RODIER *et al.*, 2005).

##### ✚ Les hydrocarbures

La pollution par les hydrocarbures est liée aux rejets d'activités diverses tel que les stations de services, les huiles industriels et les carburants. Les hydrocarbures empêchent la ré-oxygénation naturelle de l'eau (METAHRI, 2012).

#### II-2-2-7-Les sels minéraux

Les anions et les cations plus couramment rencontrés dans la pollution des eaux sont: les nitrates, l'azote ammoniacal, les phosphates, les sulfates, les nitrites et les chlorures, calcium, sodium, potassium, magnésium, etc.

Les principales sources des pollutions en sels minéraux sont: les effluents industriels et urbains et le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais et la nature des terrains traversés (DJERMAKOYE, 2005).

#### II-3-Caractères microbiologiques

L'eau potable ne doit contenir ni bactéries pathogènes, ni virus qui pourraient entraîner une contamination bactériologique et être la cause d'une épidémie (RODIER, 1996).

Par contre, les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries et les parasites (les protozoaires et les helminthes) (BAUMONT *et al.*, 2004).

### **II-3-1-La flore microbienne de l'eau usée**

La nature des micro-organismes rencontrés dans l'eau dépend de celle de l'eau analysée ; eau de captage ou de distribution, eau de traitement ou de circuits industriels, eaux résiduaires. Ces micro-organismes sont classés en quatre types:

1-Les germes typiquement aquatiques, ce sont des bactéries (Vibrions, *Pseudomonas*, Salmonelles, etc.).

2-Les germes telluriques, ce sont des bactéries sporulées (Bacilles, *Clostridium*, etc.).

3-Les germes de pollution humaine ou animale, ce sont des germes souvent pathogènes et essentiellement d'origine intestinale (*E.coli*, Salmonelles et Streptocoques Fécaux, etc.).

4-On peut également rencontrer dans l'eau des parasites (kystes d'amibes), des helminthes (*Ascaris lumbricades*) et des virus (BERNE, 1972).

### **II-3-2-Paramètres bactériologique de l'eau usée**

#### **II-3-2-1-Recherche des germes mésophiles totaux**

Correspond aux microbes qui se développent à température ambiante ou on trouve la flore saprophyte (ce sont des micro-organismes menant dans la nature une vie entièrement autonome en y puisant leur énergie et en y effectuent leur synthèses, il existe dans le sol, l'eau ou dans l'air) ou la flore pathogène (ce sont des micro-organismes déterminant chez un hôte une maladie qui peut se traduire par des signes cliniques ou au contraire rester inapparente). C'est un indicateur microbiologique qui permet d'évaluer la charge bactérienne globale présente dans les eaux surtout usées et le risque de présence de ces germes pathogènes (MIQUET, 2003).

#### **II-3-2-2-Recherche des Coliformes totaux**

Sous le terme de coliformes est regroupe un certains-nombre d'espèces bactériennes Gram négative appartenant en fait à la famille des *Enterobacteriaceae* et dont la caractéristique classique est la fermentation du lactose avec production de gaz à 30°C. Le groupe des coliformes pris dans son ensemble ne présente pas une bonne spécificité ; ce sont des bactéries que l'on trouve dans l'intestin, mais qu'on peut rencontrer aussi dans d'autres environnements (MOUSSA, 2005).

#### **II-3-2-3-Recherche des Coliformes thermo-tolérants (Coliformes fécaux)**

Il s'agit de coliformes se développant à 44°C, ils remplacent dans la majorité des cas l'appellation de coliformes fécaux à l'exemple d'*E.coli*, qui produit de l'indole à partir du tryptophane et fermente le lactose ou le mannitol avec production d'acide et de gaz, leurs présences dans l'eau indique une pollution fécale récente (LEVRAL *et al.*, 2002).

#### II-3-2-4-Recherche des Streptocoques fécaux

Les streptocoques se distinguent par leur forme coccoïde (sphérique ou ovoïde), leur mode de groupement en paires ou en chaînettes et leur caractère homofermentaire. Dans ce groupe, les streptocoques fécaux se caractérisent par leur appartenance au groupe sérologique D de LANCEFIELD et par le fait que leur habitat normal étant le tube digestif des animaux à sang chaud (comme l'homme) (MOUSSA, 2005).

#### II-3-2-5-Recherche des germes pathogènes

##### 🚩 Recherche des *Clostridium* sulfito-réducteurs

Les *Clostridium* sulfito-réducteurs représentent un indice de contamination fécale ancienne aussi ils sont résistants aux conditions défavorables grâce à la sporulation. Ce sont des bactéries anaérobies strictes, sporulées, Gram positif, réduisent les sulfites en sulfates et dont la plupart des espèces sont mobiles (GREGORIO et PIERRE-MARIE, 2007).

##### 🚩 Recherche des Salmonelles

Les Salmonelles sont l'un des principaux contaminants microbiologiques responsable de toxi-infections alimentaires, ils appartiennent à la famille des *Enterobacteriaceae*. Bacilles à Gram négative, anaérobies facultatif, lactose (-), oxydase (-) et fermentant les glucides avec production d'acides. Ces salmonelles présentent plusieurs sérotypes qui causent des maladies pour l'homme: Typhoïde, paratyphoïde et Salmonellose (GREGORIO et PIERRE-MARIE, 2007).

##### 🚩 Recherche des Staphylocoques

Les bactéries du genre *Staphylococcus* sont des coques (cocci) à Gram positif, groupés en amas ayant la forme de grappes de raisin, immobiles, non sporulés, catalase positive et oxydase négative. Parmi les 27 espèces du genre actuellement répertoriées, les principales sont *Staphylococcus aureus*, *S.epidermidis* et *S.saprophyticus* (GREGORIO et PIERRE-MARIE, 2007).

##### 🚩 Recherche des *Pseudomonas*

Le genre *Pseudomonas* de la famille des *Pseudomonadaceae* comprend une soixantaine d'espèces, bacilles à Gram négatif, aérobie stricts, capable de se multiplier sur milieux usuels, mobiles par ciliature polaire sauf *P. Mallei* oxydase +, incapable de fermenter le glucose, pouvant produire des pigments, ces bactéries sont ubiquitaires c'est-à-dire que l'on trouve dans les sols sur les végétaux et surtout dans les eaux douces, marines et dans les boues activées des eaux usées (GREGORIO et PIERRE-MARIE, 2007).

## **I-Introduction**

Les eaux usées issues des industries et des collectivités ne devraient pas être directement rejetées dans le milieu naturel, car sans traitement elles peuvent engendrer de graves problèmes environnementaux et de santé publique. Par conséquent elles devraient être dirigées vers des stations d'épuration dont l'objectif est de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous la forme d'un petit volume de résidu, les boues, et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises, et cela grâce à des procédés physico-chimiques ou biologiques.

L'épuration biologique est, et restera sans doute encore longtemps, le mode de traitement le plus utilisé pour assurer l'élimination de la pollution organique biodégradable des effluents urbains, car de loin le plus économique en exploitation. Le traitement par boues activées est le type de traitement le plus dominant dans le monde entier

### **I-1-La nécessité de l'épuration**

Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être tels que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une mesure incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique et, d'une façon générale, avec les exigences des diverses utilisations ou activités (alimentation en eau des hommes et des animaux, utilisation agricole ou industrielles, production piscicole ou production de coquillages navigation, baignades et autres activités sportives) (XANTHOULIS, 1993).

## **II-Traitements des eaux usées**

Une station d'épuration comporte généralement une phase de prétraitement, pendant laquelle les éléments les plus grossiers sont éliminés par dégrillage (pour les solides de grandes tailles), puis par flottaison/décantation (pour les sables et les graisses). Vient ensuite un traitement dit primaire, une décantation plus longue, pour éliminer une partie des MES. Des traitements physico-chimiques et/ou biologiques sont ensuite appliqués, afin d'éliminer la matière organique. Ils sont généralement suivis d'une phase de clarification qui est encore une décantation. Enfin, un traitement des nitrates et des phosphates est exigé en fonction de la sensibilité du milieu récepteur. Il existe également des traitements dits extensifs, comme le lagunage, qui combinent des traitements biologiques, physiques et naturels (AMONYME 2, 2014).

### **III-Procédé d'épuration des eaux usées**

Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre trois niveaux de traitement sont définis (**LOGARDETTE, 2004**).

#### **III-1-Prétraitement**

Les eaux brutes doivent généralement subir avant leur traitement, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opération, uniquement physique ou mécanique. Il est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou dimension constitueront une gêne pour les traitements ultérieurs selon la nature des installations des eaux à traiter et la conception des installations. Le prétraitement peut comprendre les opérations (le dégrillage) principalement pour les déchets volumineux (le dessablage) pour les sables et graviers et (le dégraissage -désuilage) pour les huiles et les graisse (**METAHRI, 2012**).

##### **III-1-1-Dégrillage**

Premier post de traitement qui consiste à faire passer les eaux usées à travers des barreaux métalliques d'une grille qui retiennent les déchets volumineux (papiers, feuilles, matières plastique, objets divers). Cela permet de protéger les ouvrages ovales contre l'arrivée de ces gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans des tuyauteries (**LAURENT, 1994**).

##### **III-1-2-Dessablage**

Après le dégrillage, il reste encore dans l'eau des fragments qui peuvent décanter facilement, mais dont la dureté et la taille sont relativement importantes, supérieurs à 0,2mm de diamètre, et qui pourraient conduire à l'abrasion de certains éléments de la station et particulièrement les pompes. On élimine ces matériaux facilement décantables dans de petits bassins rectangulaires ou circulaires (**BRAME, 1986**).

##### **III-1-3-Dégraissage-Désuilage**

L'objectif du désuilage et dégraissage est de retenir les graisses et les huiles qui en principe flottent car leurs densités sont inférieures à celle de l'eau. Ces deux opérations sont réalisées ensemble bien qu'elles correspondent à deux phénomènes physiques différents. Le désuilage correspond à une opération de séparation liquide-liquide, le dégraissage correspond à une opération solide-liquide (à condition que la température de l'eau soit suffisamment basse pour permettre le figeage des graisses) (**LAURENT, 1994**).

Contrairement à la décantation, la flottation consiste à former des amas de particules qui ont une densité inférieure à celle de l'eau et qui vont donc se retrouver en surface. La flottation est utilisée pour éliminer les graisses par exemple (dégraissage), des floccs, pour

séparer et récupérer des fibres en papeterie, épaissir des boues de station d'épuration (diminuer leur teneur en eau) (**RENE MOLETTA, 2007**).

### **III-2-Traitement primaire**

#### **III-2-1-Décantation primaire**

Permet d'alléger le traitement biologique ou chimique ultérieurs, en éliminant des particules solides en suspension de diamètre inférieur à 0,2mm. On fait circuler l'eau lentement dans un bassin le plus souvent de forme cyclonique. L'efficacité de ce traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle. La décantation permet d'éliminer, pour une vitesse ascensionnelle de  $1,2\text{m}^3/\text{h}$ , 40 à 60 % des MES (matières organique et minérales) soit 10 à 30 % de virus, 50 à 90 % des helminthes et moins de 50 % des kystes de protozoaires (**FAB et BRISSAUD, 1997**).

#### **III-2-2-Décantation secondaire (physico-chimique)**

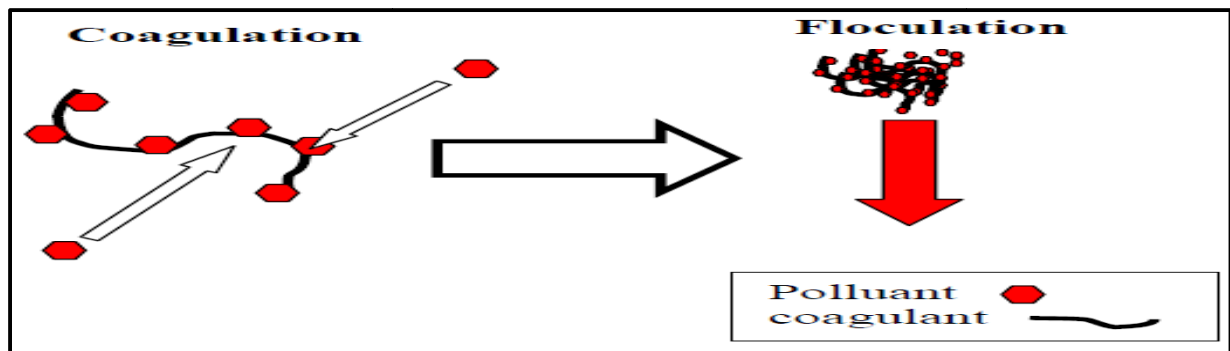
Appelée également clarification, elle intervient après le traitement biologique ou chimique afin d'éliminer les floccs issus de ces derniers. Lors des phases de décantation, l'élimination des microorganismes et des micropolluants se fait principalement par décantation des MES sur lesquelles ils sont adsorbés (**FAB et BRISSAUD, 1997**).

##### **Coagulation**

S'obtient par addition dans l'eau d'un réactif chimique le sel d'aluminium ou de fer qui neutralise les charges électriques superficielles répulsives, et permet ainsi leur agglomération. Celle-ci est accélérée par l'ajout d'un polymère, sorte de macromolécule à longue chaîne qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées en floccs volumineux qui se déposent par gravité. C'est le flocc (**LAZAROVA et al., 2007**).

##### **Floculation**

La floculation a pour objectif de favoriser à l'aide d'un mélange lent les contacts entre les particules déstabilisées, ces particules s'agglutinent pour former un flocc qu'on peut facilement éliminer par les procédés de décantation (secondaire) et d'une filtration. Une coagulation-floculation, suivie d'une décantation appliquée sur une eau domestique, permet d'éliminer jusqu'à plus de 90 % des matières en suspension et de 40 à 65 % de la  $\text{DBO}_5$  (**LAZAROVA et al., 2007**). Le principe de coagulation-floculation montré dans la figure1.



**Figure 1:** Schéma de principe de la coagulation-floculation (MOLETTA, 2010).

### III-3-Traitement secondaire (biologique)

Le traitement secondaire a pour objectif principal d'élimination des composés solubles d'origine organique. Parallèlement, la floculation de la biomasse permet de piéger les matières en suspension restant à l'issue du traitement primaire.

Le principe de ce traitement est de mettre en contact la matière organique contenue dans les eaux usées avec une population bactérienne. Celle-ci assimile alors la matière organique pour son propre développement. Ces dispositifs permettent d'intensifier et de localiser sur des surfaces réduites les phénomènes de transformation et de dégradation des matières organiques tels qu'ils se produisent en milieu naturel. Ils sont la reconstitution d'un écosystème simplifié et sélectionné faisant intervenir une microflore bactérienne et une microfaune de protozoaires et de métazoaires (BASSOMPIERRE, 2007).

#### Les bactéries épuratrices

Dans la biomasse épuratrice, les bactéries constituent le groupe le plus important, qui est en même temps l'acteur principal de l'élimination de la pollution (DEGREMONT, 2005). Les bactéries peuvent se présenter sous différentes formes :

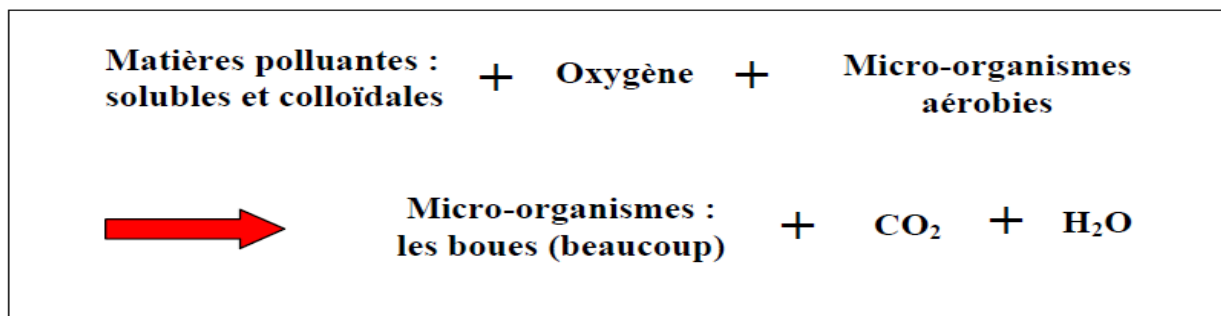
- ✚ Bactéries libres : peu abondantes du fait de la prédation par d'autres microorganismes.
- ✚ Bactéries filamenteuses : présentes normalement en petite quantité, elles entravent la décantation par le phénomène de foisonnement (DEGREMONT, 2005). Parmi ces bactéries indésirables : *Sphaerotilus natans* et *Thriothrix nivea* (PERRY *et al.*, 2004).
- ✚ Bactéries floculées : plus intéressantes dans le procédé d'épuration car elles permettent une bonne séparation entre la biomasse épuratrice et l'eau épurée (FRANCK, 2002). Les genres les plus fréquents de bactéries floculantes sont : *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Zooglea*, *Citromonas* et *Flaviobacterium* (DEGREMONT, 2005).

Les procédés de traitement secondaires sont fondés sur la digestion microbienne à la fois en présence ou en absence d'oxygène pour réduire la concentration en matières

organiques (MADIGAN et MARTINKO, 2007). Les procédés biologiques de traitements, peuvent être classés en procédés aérobies et anaérobies (VILAGINES, 2003).

### III-3-1-Les traitements secondaires aérobies

Les bactéries utilisées exigent un apport permanent d'oxygène. Deux grandes familles peuvent être distinguées : les procédés à cultures fixes (microorganismes fixés sur des supports), les procédés à culture libre (micro-organismes maintenus en suspension dans le mélange à épurer). Nous pouvons citer les plus courantes selon (DEGREMONT, 2005). Le principe du traitement en aérobiose par des micro-organismes est montré dans la figure 2.



**Figure 2:** Schéma de principe de la mise en œuvre des micro-organismes en aérobiose (MOLETTA, 2010).

#### III-3-1-1-Les procédés aérobies à culture fixée (traitement intensif)

- ✚ **Le lit bactérien ou granulaire:** ruissellement de l'eau à traiter sur le support, ne nécessite pas de clarificateur en ce qui concerne le lit granulaire, coûts de fonctionnement faibles, rendement moyen pour un lit bactérien et bon pour un lit granulaire, chocs toxiques supportés, fonctionnement stable, risque de colmatage.
- ✚ **Les bio disques:** biomasse fixée sur des disques tournant au sein du mélange à traiter, coûts de fonctionnement faibles, efficace à faible charge uniquement, sensible aux conditions climatiques (lessivage du biofilm par la pluie) (BASSOMPIERRE, 2007).

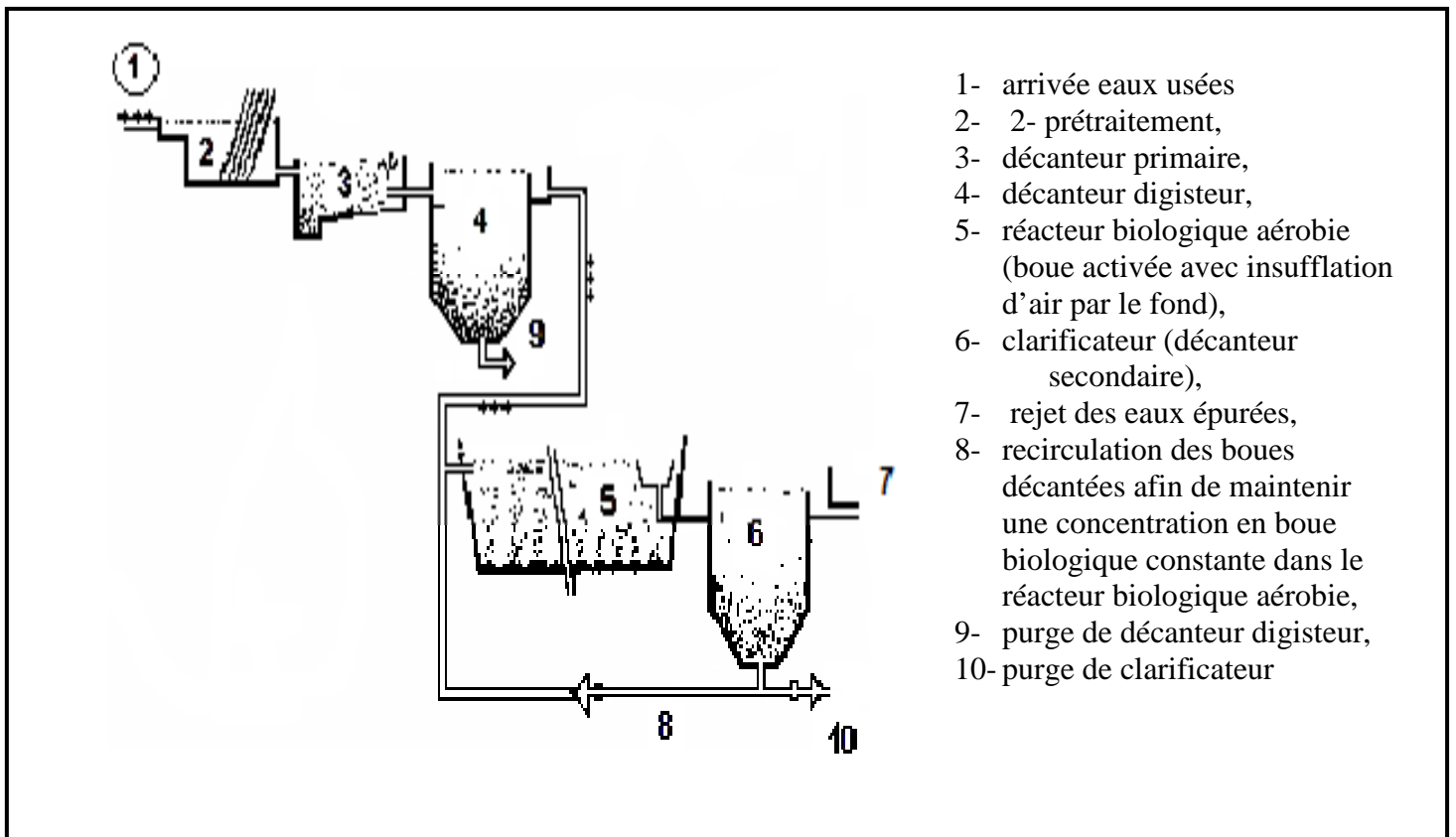
#### III-3-1-2-Les procédés aérobies à culture libre (traitement intensif)

##### ✚ Les boues activées

Le traitement par boues activées est très largement utilisé. Il s'agit d'un réacteur qui contient les eaux à traiter, dans lequel est injectée une boue chargée de bactéries. Les bactéries consomment la matière organique et contribuent à l'élimination de l'azote et du phosphate. A la sortie du réacteur, l'effluent passe dans un clarificateur. La boue décantée est séparée en deux flux: l'un rejoint le réacteur (ensemencement) et l'autre est évacué vers la filière des boues. L'action des bactéries dans le réacteur nécessite de l'oxygène. Une épuration biologique (boues activées puis bassin de clarification) permet d'éliminer 90 % des virus,

60% des bactéries, mais par contre a peu d'effet sur les kystes de protozoaires et les œufs d'helminthes (FABY et BRISSAUD,1997).

Un traitement par boues activées élimine 90 % des bactéries entériques, 80 à 99 % des entérovirus et des rotavirus, 90 % de *Giardia* et de *Cryptosporidium*. L'élimination a lieu grâce à la sédimentation des MES, la compétition avec les microorganismes non pathogènes et la température ; la part la plus importante est due à la sédimentation (ASANO, 1998). Le principe d'épuration par boues activées est représenté dans la figure 3.



**Figure 3** : Schéma de principe d'une installation d'épuration par boue activée avec recirculation (EDDEGUESSE, 2008)

#### 🚧 Le lagunage secondaire (traitement extensif)

Le lagunage est un procédé d'épuration qui consiste à faire circuler des effluents dans une série de bassins pendant un temps suffisamment long pour réaliser les processus naturels de l'auto-épuration. Il est pratiqué dans les régions très ensoleillées, dans des bassins de faible profondeur. Les bactéries assurent la part prépondérante de l'épuration et la microfaune contribue à l'éclaircissement du milieu par ingestion directe des populations algales et des bactéries (DHAOUADI, 2008). Un schéma du traitement par lagunage représenté dans la figure 4.

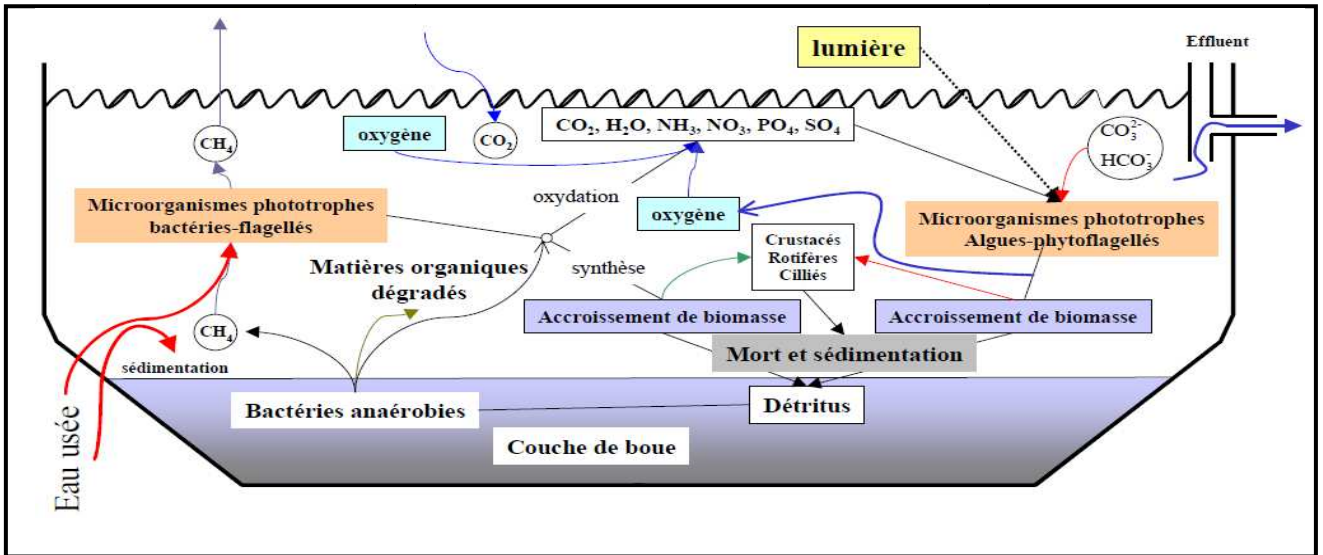


Figure 4 : Cycles Biologiques d'une lagune (DHAOUADI, 2008).

### III -3-2- Les traitements secondaires anaérobies

Le traitement secondaire anaérobie est un processus microbiologique de conversion de la matière organique, faisant intervenir essentiellement des populations bactériennes (*Bacteria* et d'*Archaea*), ainsi que des protozoaires et quelques champignons anaérobies (EFFEBI, 2009).

Dans ce genre de traitement on utilise essentiellement la fosse Imhoff ou fosse à double étage, qui consiste en une consommation des matières organiques par les microorganismes présents dans l'eau en absence d'air. Il se produit une fermentation méthanique dans une première fosse et on recueille ainsi les eaux épurées dans une seconde fosse placée sous la première pour qu'elles puissent décanter, ce traitement est de moins en moins utilisé car il est difficile à conduire et son mauvais fonctionnement peut avoir de graves inconvénients (odeur nauséabondes, risques d'explosion, etc.). En outre les quantités des gaz produites sont trop faibles pour qu'on puisse à les récupérer (JAROZ, 1985). Un schéma de principe de la mise en œuvre des micro-organismes en anaérobiose est montré dans la figure5.

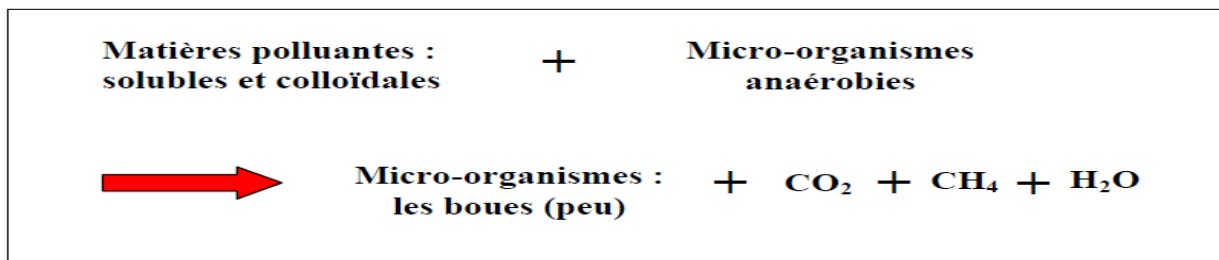


Figure 5 : Schéma de principe de la mise en œuvre des micro-organismes en anaérobiose (MOLETTA, 2010).

### III-4-Traitement tertiaire

Pour obtenir une épuration plus poussée, notamment lorsque la sensibilité du milieu récepteur l'exige (zone de baignade, vie piscicole, prise d'eau potable en aval de la station, etc.), il peut être nécessaire d'effectuer des traitements complémentaires du type : filtration sur lit de sable, désinfection par chlore ou autres produits oxydants tel que l'ozone, ainsi que l'élimination de l'azote et/ou du phosphore (HENERI *et al.*, 2004).

On peut représenter toute les étapes d'une filière de traitement des eaux usée dans le schéma montré dans la figure 6

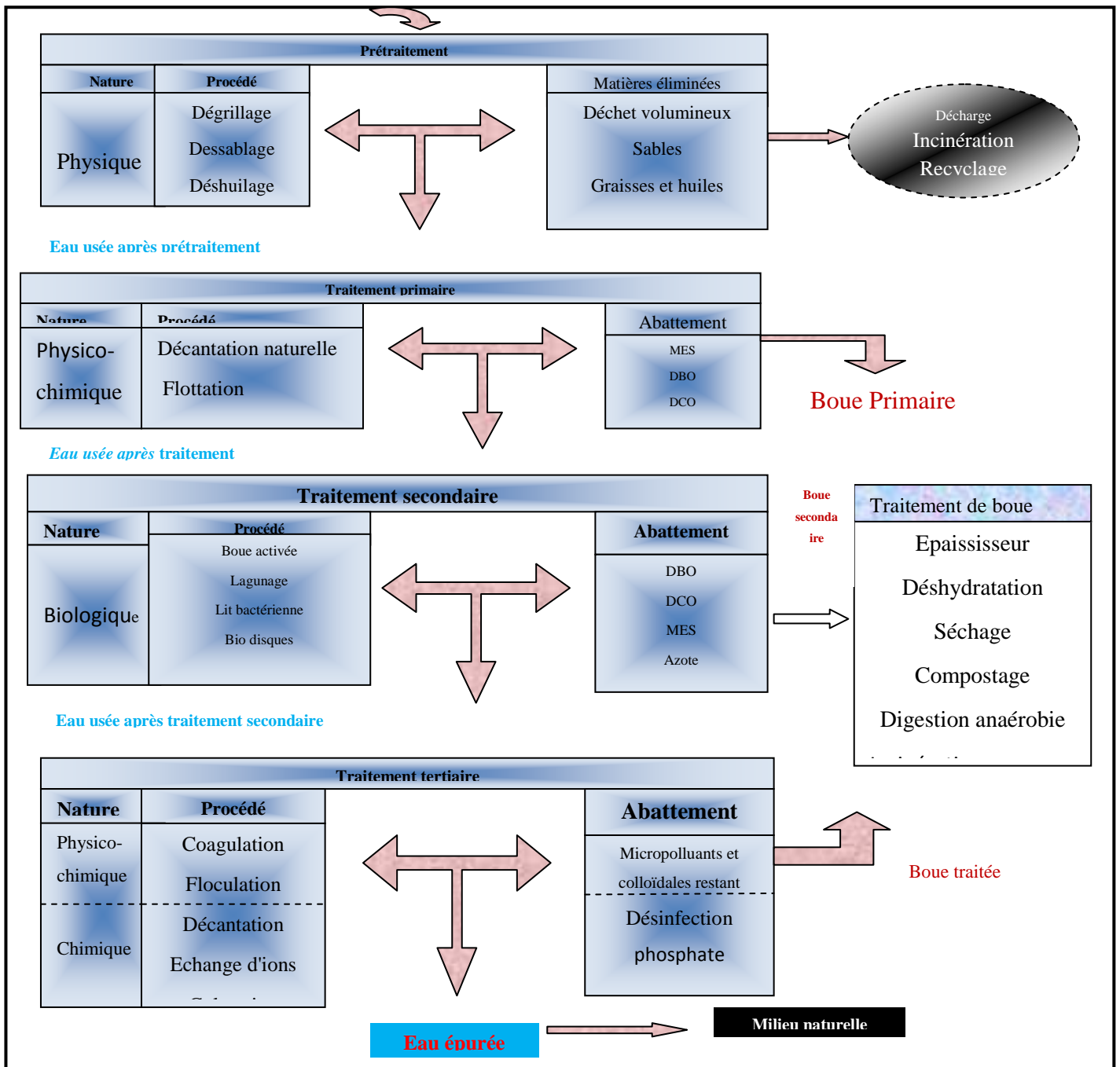


Figure 6 : les étapes d'une filière de traitement des eaux usées (HADJ-SADOK, 1999).

## **Introduction**

Le développement de l'électricité comme nouvelle source d'énergie, l'aspect non polluant et les facilités d'automatisation qu'elle apporte ont permis ces dernières années, un développement important des techniques électrochimiques dans le domaine du traitement des eaux qui sont des procédés phares actuellement dans les stations d'épurations dans le monde

### **I- La bioremédiation par les micro-organismes**

La bioremédiation, c'est-à-dire l'emploi de procédés biologiques pour éliminer les polluants industriels qui contaminent le cycle biogéochimique des substances naturelles, c'est une option avantageuse pour diminuer la pression exercée sur l'environnement. La bioremédiation consiste à utiliser des systèmes biologiques pour réduire le niveau de pollution présents dans l'air, l'eau ou le sol.

Une biodégradation complète parvient à détoxifier des polluants jusqu'au stade du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), de l'eau et des sels minéraux inoffensifs ou une biodégradation incomplète peut fournir des produits de dégradation moins toxiques que le polluant initial (ABDELLY, 2007).

IL existe des micro-organismes capables de dégrader efficacement des polluants pétroliers, les huiles, les graisses ainsi que les composés ayant des effets néfastes pour l'environnement. Les microorganismes sont utilisés depuis environ un siècle pour le traitement des eaux usées et des composts, cette technique permet de diminuer les coûts d'assainissements (BOIGENIE, 1994). On peut améliorer ce genre de situation en complétant par des traitements électrochimiques les plus utilisées l'électrocoagulation, électroflottation.

#### **I-1-Principe de la bioremédiation (biodépollution)**

La bioremédiation se déroule généralement en condition d'aérobie, cependant l'application de systèmes de bioremédiation en condition d'anaérobie permet la dégradation d'un certain nombre de molécules récalcitrantes (ABDELLY, 2007).

Les principales technologies utilisées dans la bioremédiation sont les suivantes :

##### **I-1-1-La bio filtration**

Cette technique consiste à forcer le passage de gaz ou de l'effluent à traiter au travers d'un matériau dégrainé (trouble, compost) sur lesquels sont fixés les micro-organismes épurateurs.

Le principe consiste à utiliser des microorganismes pour dégrader les polluants contenus dans l'air à traiter: la phase aqueuse (l'air contaminé) est mise en contact avec une phase aqueuse dans laquelle se développe la population microbienne, connue aussi sous le

nom de la biomasse. Cette technologie est par exemple utilisée pour traiter l'air pollué par le xylène ou par des composés azotés (ABDELLY, 2007).

### **I-1-2-La biostimulation**

La biostimulation utilise l'activité bactérienne pour dépolluer les sols *in situ*. Les micro-organismes du sol ont la capacité de "casser" les molécules organiques et de consommer certaines substances polluantes. Les procédés de biostimulation consistent à favoriser le rendement de cette biodégradation en injectant au milieu pollué des nutriments et de l'oxygène.

La bioaugmentation implique un ensemencement bactérien avec des souches sélectionnées en vue de dégrader un produit spécifique. La combinaison de la biostimulation à la bioaugmentation permet d'obtenir un effet nettement supérieur à la simple somme arithmétique des effets de chacun des produits pris séparément (BUREAU, 2004).

### **I-1-3-Compostage**

Le compostage peut être défini comme un procédé biologique contrôlé qui assure la transformation et la valorisation des matières organiques (sous-produits de la biomasse, déchets organiques d'origine biologique) en un produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau riche en composés humiques le compost. C'est la fermentation des ordures ménagères organiques (résidus alimentaires) et des déchets verts (feuillages, résidus de jardinage) afin de produire un compost réutilisable en agriculture ou dans le jardin pour fertiliser la terre. L'aération et l'humidité sont deux éléments indispensables pour entretenir les conditions d'une bonne fermentation. Le compostage peut se faire chez soi ou collectivement par des procédés industriels (ABDELLY, 2007).

### **I-1-4-Les micro-organismes utilisés dans la bioremédiation**

Ils proviennent de milieux très variés et peuvent vivre dans des conditions extrêmes : des températures en dessous de 0°C ou au contraire, très élevées, dans des milieux inondés ou en plein désert, en présence d'un excès d'oxygène ou milieu anaérobie. En raison de leur pouvoir d'adaptation, ces micro-organismes sont utilisés pour éliminer les composés xénobiotiques. Parmi les bactéries aérobies reconnues pour leur pouvoir de dégradation, nous pouvons citer celles appartenant aux genres *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Sphingomonas* et *Mycobacterium*. Elles peuvent dégrader les pesticides, les hydrocarbures, les alcanes et les composés polyaromatiques. Souvent, elles utilisent le polluant comme source de carbone et d'énergie. Les bactéries anaérobies sont moins fréquentes que les aérobies. Dans tous les cas, l'opération implique le contrôle non seulement de la disponibilité des dépollueurs mais aussi

l'ajustement en permanence des conditions de leur efficacité : quantité et type de nutriments, concentration en oxygène, pH, température et salinité (ABDELLY, 2007).

### **I-2-La phytoremédiation**

La technique de la phytoremédiation est une technologie de dépollution qui semble efficace vis-à-vis d'un large spectre de pollutions organiques et inorganiques. Elle peut être utilisée sur des substrats solides (sol pollué), liquides (eaux usées ou contaminée) ou gazeux filtration d'air chargé en composés nocifs volatils) (PILON-SMITS, 2005).

La phytoremédiation regroupe de nouvelles phytotechnologies de décontamination in situ des sols et de l'eau, basée sur l'utilisation des plantes, des algues et de leurs micro-organismes associés.

## **II-Méthodes de traitement des effluents par champs électrique**

Le champ électrique peut aussi avoir une action bactéricide. En effet, de part et d'autre des membranes bactériennes, il existe un champ électrique, qui vu la faible épaisseur de ces membranes, est de l'ordre de quelques centaines de volts par centimètre. Lorsqu'une solution contaminée est soumise à un champ électrique supérieur au champ existant au niveau de la membrane bactérienne, un effet bactéricide est observé (BUREAU, 2004).

Les effets directs de l'électricité ne sont, en général, sensibles, que sur les impuretés de faibles dimensions : ions ou petites molécules, les produits chimiques et colloïdaux en solution, les pollutions biologiques... Par effet indirect, c'est-à-dire par génération électrolytique d'un produit traitant, il est possible d'agir sur d'autres particules telles que les grosses molécules, les matières en suspension et les bactéries (PERSIN et RUMEAU, 1989).

Quelques procédés électrochimiques de décontamination des eaux usées et des boues d'épuration utilisés à l'échelle industrielle et d'autres ayant fait l'objet de recherches sont présentés dans cette section.

### **II-1-Electrocoagulation**

Le procédé d'électrocoagulation est basé sur le principe des anodes solubles. Il s'agit, d'imposer un courant (ou potentiel) entre deux électrodes (fer ou aluminium) immergées dans un électrolyte contenu dans un réacteur pour générer, des ions ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ), susceptibles de produire un coagulant en solution et de provoquer une coagulation –floculation des polluants que l'on souhaite éliminer. L'électrolyse peut également coaguler les composés solubles oxydables ou réductibles contenus dans l'effluent (DROUCHE *et al.*, 2006).

Le champ électrique crée un mouvement d'ions et de particules chargées. Cette action permet de rassembler les matières en suspension sous forme de floccs qu'on élimine ensuite par un procédé physique classique (décantation, flottation, filtration) (MOHAMMAD *et al.*, 2005). La figure 7 suivante présente le principe du procédé avec des électrodes d'aluminium.

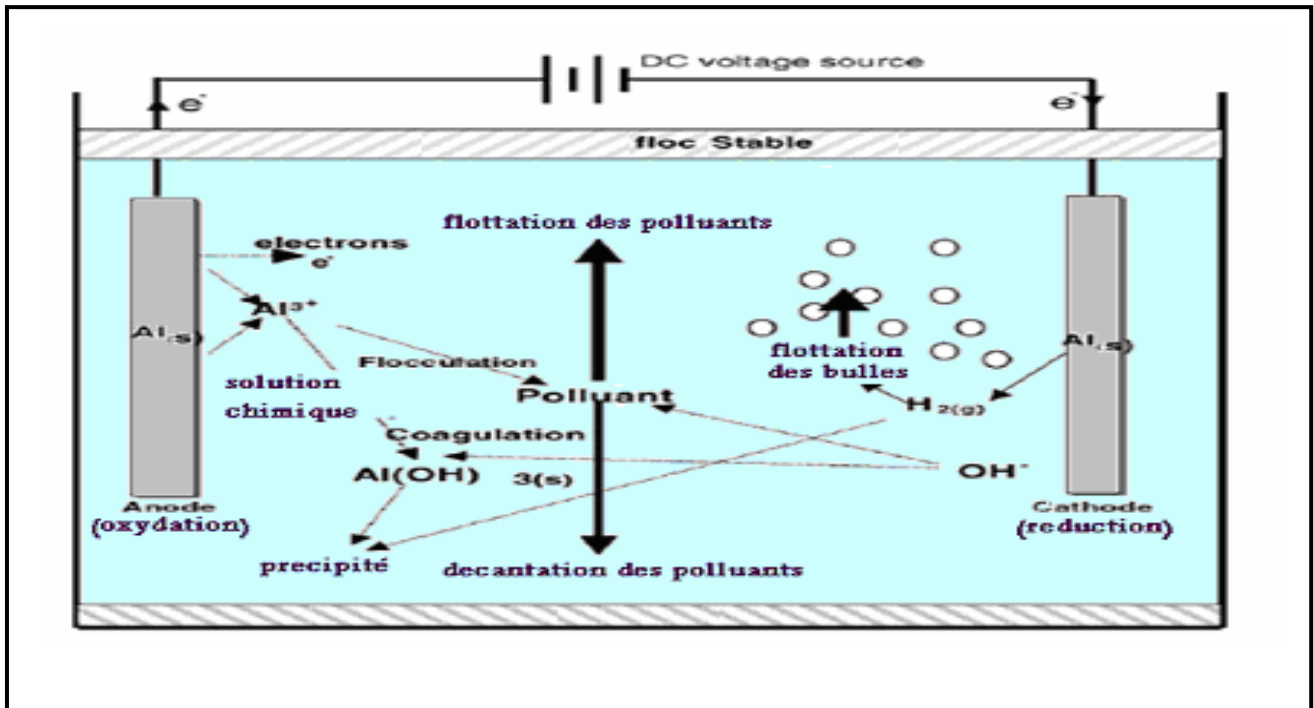


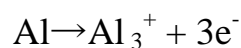
Figure 7 : Schéma du principe de l'électrocoagulation (BENNAJAH, 2007).

Les anodes et les cathodes utilisées peuvent avoir différentes configurations. Elles peuvent se présenter sous forme de plaques, de boules, de sphères à lit fluidisé, de fil, de tige ou de tube. Ces électrodes peuvent être constituées de divers métaux qui sont choisis de manière à optimiser le procédé de traitement. Les deux métaux communément utilisés sont le fer et l'aluminium (KOBYA et BAYRAMOGLU, 2003).

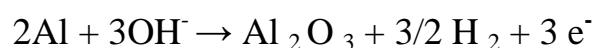
Les principales réactions qui se déroulent avec les électrodes (cas des électrodes en aluminium) sont :

A l'anode :

L'oxydation du métal :



- La formation de l'hydrogène :

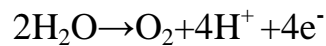


A la cathode: La réduction de l'eau:  $\text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \rightarrow 1/2 \text{H}_2 + \text{OH}^-$

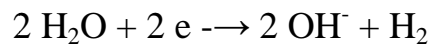
## II-2-Electroflottation

L'électroflottation est un procédé électrochimique qui consiste à créer in situ des bulles gazeuses d'oxygène et d'hydrogène par électrolyse au moyen d'électrodes insolubles.

A l'anode :



A la cathode :



La cellule d'électroflottation, cylindrique, en PVC ou en plexiglas, peut être constituée de deux électrodes percolantes de métal déposé, placées horizontalement au fond de la cellule (Figure 8). L'anode peut-être en titane recouverte d'oxyde de plomb (Ti/PbO<sub>2</sub>) et la cathode en titane. La distance inter électrode est de 0,2 à 2cm. Les microbulles de (H<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>), générées au fond de la cuve, s'accrochent aux particules en suspension et les entraînent vers la surface où elles peuvent être éliminées par simple écumage. La flottabilité des matières en suspension dépend de la probabilité de rencontre avec les bulles gazeuses, et ceci, est d'autant plus grand que les bulles sont petites et nombreuses. En général, plus le rapport surface/volume des particules est grand, mieux elles peuvent fixer les bulles (BUREAU, 2004).

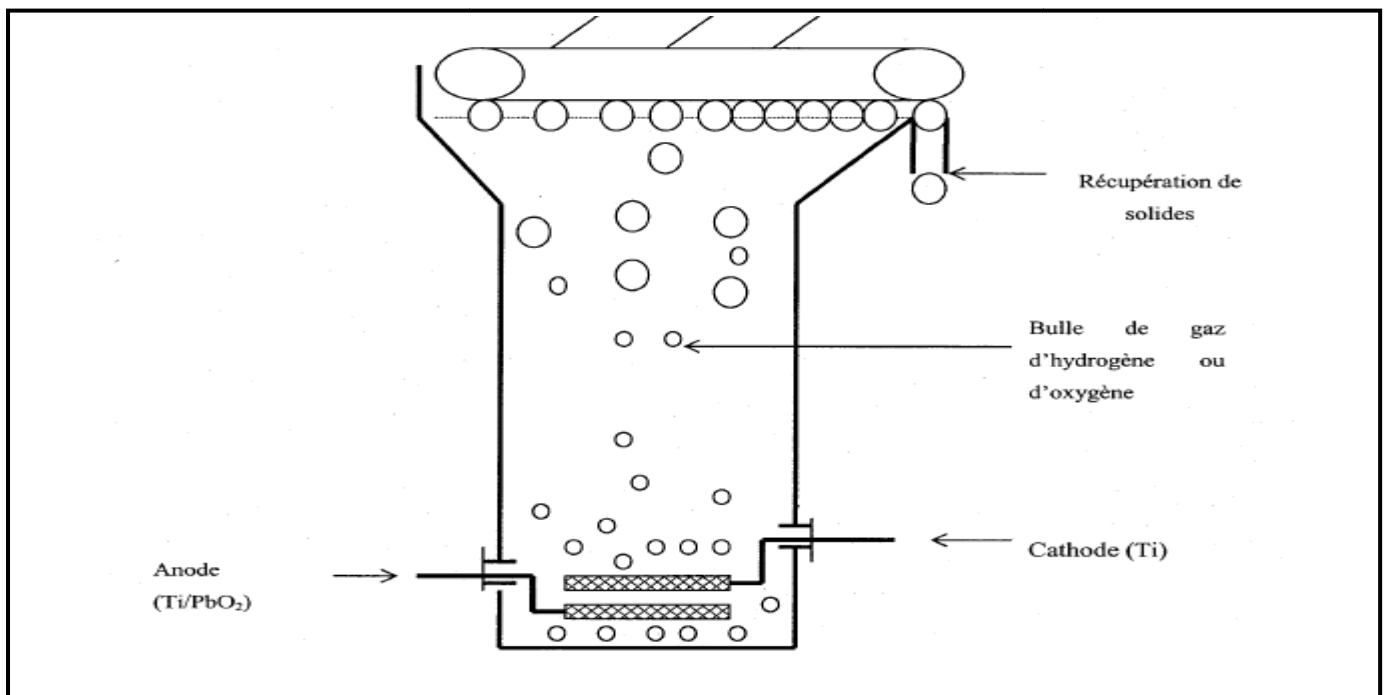


Figure 8 : Schéma d'une cellule d'électroflottation (BUREAU, 2004).

# Matériels et Méthodes

En Algérie 1,2 milliards de mètres cubes d’eaux usées sont collectés annuellement au moyen de 41000km de réseau avec un taux de raccordement de 87% ce qui a permis à l’Algérie d’occuper la deuxième position en Afrique selon le classement de l’OMS relatif à ce domaine. En effet, 138 stations d’épurations sont opérationnelles à l’échelle nationale dont 12 stations sont certifiées ISO-14001 avec une capacité de traitement de 800 millions de m<sup>3</sup>/an par ailleurs que 50% de ces eaux sont exploitées notamment dans le domaine agricole.

### I-Présentation de la STEP de l'est de Tizi-Ouzou

Le matériel biologique utilisé dans le cadre de ce travail a consisté en des boues activées utilisées provenant de la station d’épuration de la ville de Tizi-Ouzou. Placé sous la tutelle du Ministère des Ressources en Eau, l’Office National de l’Assainissement (ONA) est une EPIC, à caractère industriel et commercial, crée par le décret exécutif n°01-102 du 21 avril 2001.

La STEP de l’Est de la ville de Tizi-Ouzou a été conçue au début des années **90** et a été mise en service en **juillet 2000**. La figure 9 représente une vue d'ensemble de la dite STEP.



**Figure 9:** Vue générale de la STEP de Tizi-Ouzou.

La station possède deux grands bassins biologiques aérés et alimentés en eau a épuré avec la culture bactérienne libre développé à l'intérieur. Le brassage de l'eau permet d'homogénéiser le mélange des floccs bactériens et l'eau usée (liqueur mixte), il est assuré de façon simultanée avec l'aération. La figure 10 représente le bassin d'aération biologique de la STEP Est de Tizi-Ouzou.

En cas de dysfonctionnement, on remarque une mousse sur la surface du bassin. Ceci vient du fait que les bactéries filamenteuses se développent en grand nombre rendent les floccs hydrophobes et capable de fixé les bulle d'air, d'où forment une couche de mousse de couleur marron plus au moins foncé (ONA, 2015).



Aérateur  
de  
surface

**Figure 10 :** Bassin biologique d'aération de la STEP (ONA, 2015).

## II-Matériel

Dans la présente étude, la mise en œuvre de l'ensemble des essais ainsi que la réalisation de l'essentiel des analyses physico-chimiques ont été fait au niveau du laboratoire de l'entreprise de l'office national d'assainissements (ONA) de l'Est de la wilaya de Tizi-Ouzou. Par ailleurs, l'ensemble des analyses microbiologiques ont été réalisés au niveau du laboratoire de microbiologie de la faculté de biologie de l'UMMTO.

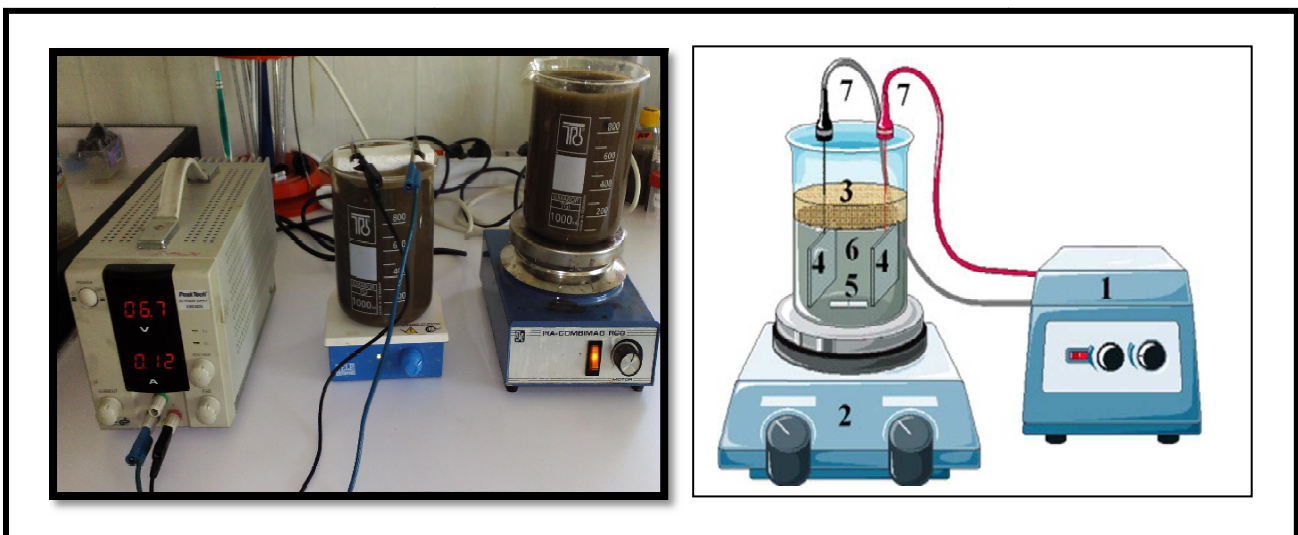
### .II-1- Description du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental (figure 11) est composé d'un générateur de courant électrique continu (Peak Tech<sup>®</sup> DE Power Supply 3303 DS) fournissant une alimentation minimale de 1 volts et maximale de 28,4 volts. Le volume de boues activées utilisé est de

1000mL pour l'essai et 1000mL pour le contrôle (non soumis au courant). Deux électrodes planes en acier inoxydable ayant les dimensions suivantes : longueur : 10cm, largeur : 2cm et épaisseur : 1mm, sont disposées à l'intérieur du bécher en position verticale. Les valeurs de deux paramètres ont été variées :

- la distance entre les électrodes (2cm et 6cm) ;
- la densité du courant électrique ( $1,4\text{mA}/\text{cm}^2$ ,  $3,8\text{mA}/\text{cm}^2$  et  $7\text{mA}/\text{cm}^2$ ).

L'agitation (100tr/min) est assurée par des agitateurs magnétiques. En plus d'assurer l'aération de l'échantillon, ce paramètre permet également d'assurer le brassage des boues activées en évitant le phénomène de cisaillement des floccs. Pour favoriser la conductivité, du sulfate de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) à 6 % (p/v) est ajoutée aux différents essais. La figure 11 représente le dispositif expérimental de notre travail.



**Figure11** : La photo de gauche montre le dispositif expérimental réel du traitement de l'influent et sur la photo de droite figure un schéma représentatif du même dispositif expérimental. **1** générateur du courant, **2** agitateur magnétique, **3** isolant électrique (polyester), **4** plaques en acier inoxydable, **5** barreau magnétique **6** influent à traiter, **7** fils électriques.

## II-2-Echantillonnage (prélèvement de l'inoculum)

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.). (RODIER, 2005).

L'échantillon de boues activées (20L) a été prélevé au niveau du bassin d'aération de la station d'épuration de l'est de la ville de Tizi-Ouzou dans les conditions règlementaires d'hygiène et maintenu sous aération à température ambiante.

Pour chaque essai, un volume de 2,5L est prélevé et reparti en trois parties: 1L pour le control, 1L pour l'essai et 0,5L pour les différentes analyses physico-chimiques et bactériologiques correspondant à l'instant  $t=0$ .

L'échantillonnage concernant les analyses physico-chimiques (pH, MES, Turbidité et Conductivité) et microbiologiques, le transport, le conditionnement des échantillons et la conservation de prélèvement après traitement électrique ont été réalisés selon la méthode préconisée par (RODIER *et al.*, 1996).

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (CHAPMAN et KIMSTACH, 1996).

Durant la période de l'étude, les valeurs de la température enregistrées variaient en fonction de l'environnement, elles étaient comprises entre 19,4°C et 23,3°C (température ambiante) dans l'ensemble des essais, et ce pendant 6 jours. Durant cette période, l'évolution des paramètres physico-chimiques suivants : pH, MES, Turbidité, Conductivité a été suivie à intervalle de temps réguliers.

## **II-3-Paramètres physique ou chimique**

### **II-3-1-Mesure de la turbidité**

La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau. Techniquement, la turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée ou absorbée par des particules (US EPA, 1999; Santé Canada, 1995). Les eaux troubles nous renseignent sur le degré de pollution car cette eau est très chargée en substances finement divisées (grain de silice, matière organique, etc.). La mesure a été effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre de type DR2000 (HACH). La turbidité est mesurée après chaque 2 heures de temps après avoir laissé l'échantillon décanter dans un bécher, puis pipeter (le surnageant) un volume de 25mL dans des flacons colorimétrique puis effectuer la mesure. L'unité de mesure de la turbidité est le FTU.

### **II-3-2- Mesure de la conductivité électrique (CE)**

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouve sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température est élevée (EDDABRA, 2011).

La conductivité des influents est un paramètre important à surveiller, car si elle est insuffisante, la résistance du milieu devient très forte et le courant ne circule pas entre les électrodes (PICARD, 2000 ; MOLLAH *et al.*, 2001).

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement de la minéralisation de l'eau. Introduire l'électrode du conductimètre à l'intérieur d'un bécher contenant un volume suffisant de l'échantillon puis mettre en service le conductimètre et lire le résultat affiché sur l'écran de l'appareil.

L'unité de mesure pour la conductivité est  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ .

### II-3-3-Mesure de la matière en suspension (MES)

Théoriquement, ce sont les matières qui ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdale. Les MES comportent des matières organiques et des matières minérales. Toutes les MES ne sont pas décantables. La détermination des MES se fait par la méthode de filtration sous vide l'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

Pour la détermination du taux de matière en suspension, on lave le disque de filtration à l'eau distillée, puis on le sèche à  $150^\circ\text{C}$  jusqu'à masse constante, après passage au dessiccateur, on pèse le filtre sur une balance de précision, le filtre est ensuite mis sur la rampe de filtration, le volume de l'échantillon (V) est ajouté puis filtré. Le filtre est retiré, séché à  $105^\circ\text{C}$  et enfin pesé.

Le taux des matières en suspension (MES), exprimé en milligramme par litre (mg/L) est donné par l'expression (équation4).

$$\text{MES} = (M_0 - M_1)1000/V \quad (\text{RODIER, 2005}) \quad (4)$$

Où

V : Le volume en ml d'échantillon utilisé.

$M_0$  : La masse en mg du disque filtrant avant utilisation.

$M_1$  : La masse en mg du disque filtrant après utilisation.

### II-3-4-Le potentiel d'oxygène (pH)

Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibre physico-chimique, et dépend de facteurs multiples dont la température est l'origine (**EDDABRA, 2011**).

Le pH est en relation avec la concentration des ions d'hydrogène présent dans l'eau. La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans la même solution est mesuré par le pH-mètre.

La mesure est réalisée à l'aide d'un pH mètre (pH 211, HANNA Instruments), muni d'une électrode préalablement étalonné avec des solutions tampon. La méthode consiste à plonger l'électrode dans un volume d'environ 100 mL de l'échantillon contenu dans un bécher. Après stabilisation de l'affichage sur le cadran du pH mètre, puis je note la valeur.

### II-4-Analyse Microbiologique

L'analyse microbiologique de l'eau usées peut se divisée en deux types d'analyses:

Une analyse sommaire qui s'effectue régulièrement et qui sert à rechercher les coliformes thermotolérants, les entérocoques (streptocoques fécaux), et les bactéries aérobies mésophile à 22°C saprophytes et à 37°C pathogène dans l'eau d'entrée et de sortie de la station.

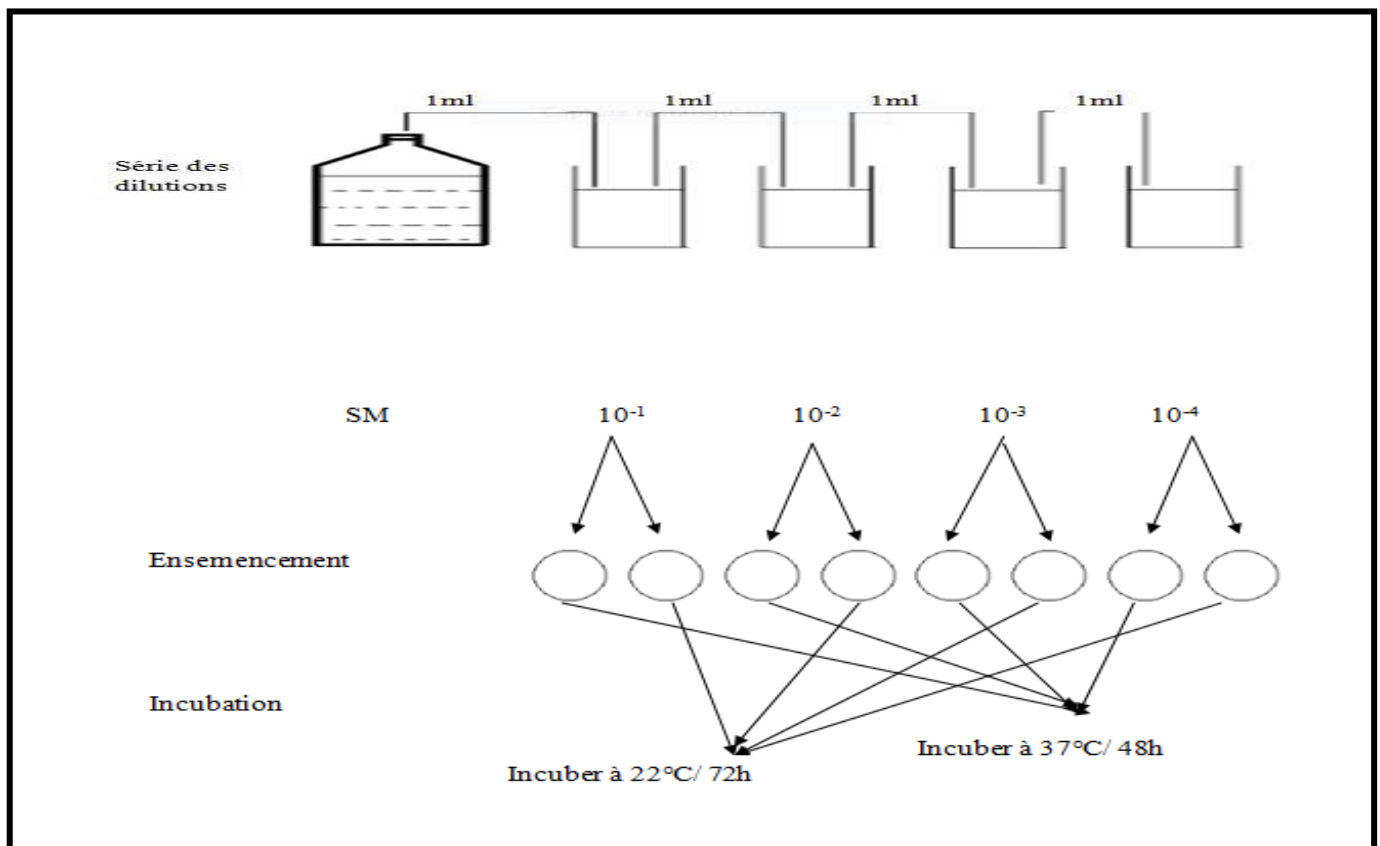
Une analyse complète qui s'effectue généralement lors d'une épidémie qui sert à rechercher les coliformes avec identification d'*Escherichia coli*, coliformes thermotolérants, entérocoques, bactéries anaérobies Sulfito-réductrices (*Clostridium*), bactéries aérobies: la flore saprophyte à 22°C et la flore pathogène à 37°C et la recherche des germes pathogènes (*Salmonella*, Staphylocoques, *Pseudomonas*, Vibrions, etc.),

L'analyse microbiologique décrite ci-après, a été effectuée après traitement par le courant électrique (essais) et sans traitement (contrôle).

La composition des différents milieux de culture utilisés dans cette partie est consultable en annexe I.

#### II-4-1-Recherche et dénombrement de la Flore Aérobie Mésophile Totale

La Flore Mésophile Aérobie Totale correspond à un bon nombre de microbes qui se développent à température ambiante (bactéries, Champignons, protozoaire, virus, etc.). C'est un indicateur microbiologique qui permet d'évaluer la charge bactérienne globale présente dans un aliment et le risque de présence de germes pathogènes. Le double dénombrement à 22°C et à 37°C permet la culture d'une gamme plus étendue de micro-organismes. La technique est celle de la numération sur milieu solide sur boîtes de Pétri avec ensemencement en masse, en utilisant le milieu PCA ou bien la GN (voir la figure 12).



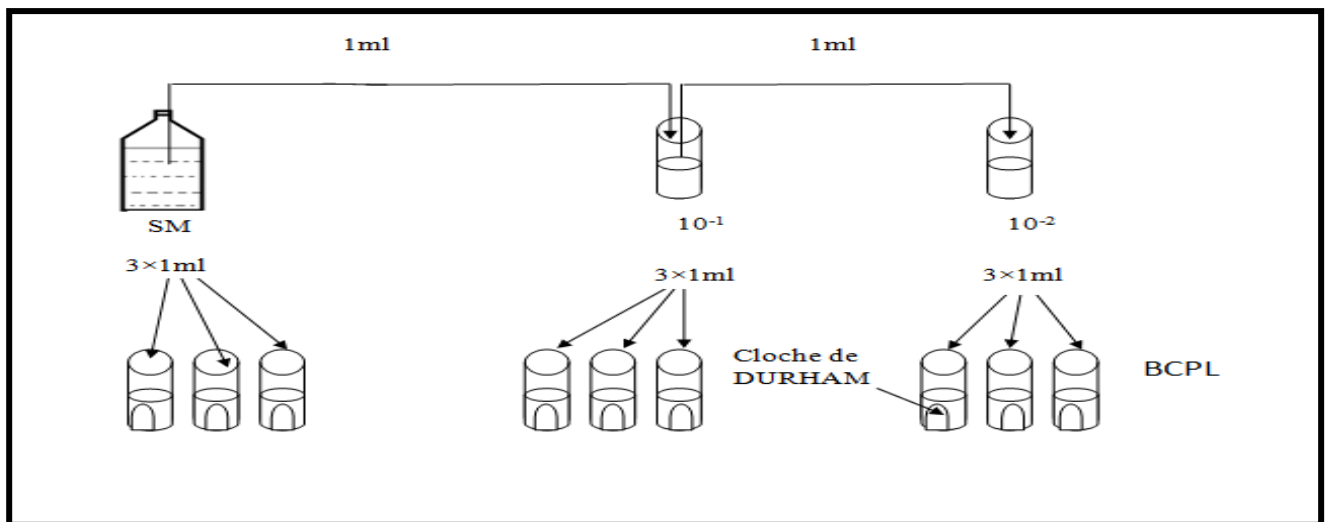
**Figure 12 :** Schéma représentant les étapes de la recherche de la flore mésophile totale aérobie.

#### II-4-2-Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux (colimétrie)

Les coliformes appartiennent à la famille des *Enterobacteriaceae* aéroanaérobies facultatifs. Les coliformes fermentent rapidement le lactose à 30 et  $37^{\circ}\text{C}$  avec production de gaz. La recherche et dénombrement des coliformes et l'identification d'*Escherichiacoli* ont été effectués par la méthode du dénombrement (NPP) (REJSEE, 2002). Cette technique se fait en deux étapes:

- Test présomptif (milieu BCPL)

Pour la recherche des coliforme totaux, on prépare trois dilution ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ) de la solution mère, puis on prépare 09 tubes dans lesquels on met 09 mL du milieu de culture BCPL comportant une cloche de durham. Faire ensemencer 1 mL de chaque dilution dans 3 tubes de BCPL. On mélange la suspension bactérienne et on incube les 09 tubes ensemencés à l'étuve à 30 ou  $37^{\circ}\text{C}$  pendant 24 à 48 h. La technique de ce test est représentée sur le schéma de la figure 13.



**Figure 13 :** Schéma représentant les étapes de recherche de coliformes totaux sur BCPL de couleur rouge

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

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

- Test confirmatif (milieu Schubert) (test de Mac Kensie)

Ce test permet de rechercher et de dénombrer des coliformes thermotolérants (coliformes fécaux) tel que *Escherichiacoli*. A partir des tubes positifs de BCPL, ensemencer 1mL du tube positif et verser dans le tube de milieu Schubert qui contient une cloche de Durham, puis incubé à 44° C pendant 24 h, rajouter le réactif de COVAX aux tubes positifs afin de confirmer la présence de *Escherichia coli*.

Les résultats positifs se traduisent par un dégagement de gaz dans la cloche ainsi que l'apparition d'un anneau rouge à la surface de tube contenant *Escherichiacoli*.

#### II-4-3-Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

Le dénombrement des entérocoques intestinaux a été effectué par la méthode NPP (le nombre le plus probable) qui se résume en deux tests:

- Test présomptif (Milieu Rothe)

Leur recherche se fait sur milieu Rothe D/C (Bouillon à l'azide de sodium simple concentration) réparties dans des tubes à essai à raison de 10 mL. On met 1mL de chaque dilution décimale est ensemencé dans le milieu Rothe D/C (3 tubes par dilution), bien mélanger puis incubé à la température de 37° C pendant 48h. Le test est noté positif quand il y a apparition d'un trouble microbien dans le milieu Rothe.

- Test de confirmation (Milieu Litsky)

Si le test de présomptif est positif, on fait un repiquage sur milieu Litsky (Eva Litsky à l'éthyl violet et azide de sodium) est effectué. L'incubation des tubes est réalisée à 37 ° C pendant 24h. Le test positif se traduit par l'apparition d'une pastille violette et un trouble blanchâtre au fond du tube.

#### II-4-4- Recherche des salmonelles

Les salmonelles appartiennent à la famille des *Enterobacteriaceae*, lactose(-) leur recherche s'effectue comme suit :

- Etape d'enrichissement

Dans 15 mL de bouillon de SFB contenu dans un tube à vis stérile, on introduit 2 mL de l'inoculum à l'aide d'une micropipette (emboué stérile). Les bouillons sont ensuite incubés à l'étuve à 42° C ± 2° pendant un temps de 18 à 24 heures. La sélectivité du bouillon et la température d'incubation relativement élevée entraînent l'élimination d'une grande partie de la flore d'accompagnement et favorisent la croissance des salmonelles.

- Etape d'isolement

Si le résultat de l'étape d'enrichissement est positif (présence de trouble de couleur brique dans le milieu d'enrichissement), on réalise un isolement sur la gélose SS (*Salmonella Shigella*) par dénombrement en surface, après incubation à 37°C pendant 24h.

**La lecture** : les bactéries lactose +, donnent des colonies rouges ou rose, alors que *Salmonella* donnent des colonies incolores ou blanchâtres et parfois avec un centre noire (les boîtes indénombrable).

Dans le but de faire un dénombrement de ce germe, on procède à la technique de la numération sur milieu solide avec ensemencement en masse, en utilisant le milieu SS (*Salmonella-Shigella*). On incube à l'étuve à 42° C ± 2 pendant 24 heures, puis on fait le dénombrement de la colonie trouvée dans l'aspect incolore ou blanchâtre.

#### II-4-5- Recherche des staphylocoques

La recherche de cette espèce nécessite une revivification sur milieu d'enrichissement GC. Ce milieu contient le pyruvate, le mannitol, la glycine et le tellurite de potassium (agent de sélection). On prend 1mL de la solution mère qu'on va ensemer dans 19 mL de bouillon GC qu'on va incuber à 37°C pendant 24 à 48 heures.

Après avoir obtenu les résultats positifs (apparition de trouble d'une couleur noir) dans le milieu GC, on passe à l'étape d'isolement sur la gélose Chapman ou on fait un dénombrement en surface qui s'effectue avec 0,1 mL de la dilution 10<sup>-2</sup> préparée à partir de la solution mère dans le milieu sélectif. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

**Lecture:** Les staphylocoques, apparaissent sous forme de petites colonies lisses légèrement bombées à contours et pigmentées en jaune (fermentation du mannitol) ou en blanc (**BOURGEOIS, 2002**).

#### II-4-6- Recherche de *Pseudomonas aeruginosa*

On entend par *Pseudomonas aeruginosa*, des bactéries hautement pathogène et résistante à plusieurs antibiotiques. Ce sont des bactéries lactose négative, autrement dit dépourvue d'enzymes de la dégradation du lactose.

On recherche et on dénombre cette espèce sur un milieu de revivification sur un milieu d'enrichissement le BHIB, puis on enseme sur le milieu d'isolement solide sélectif (King A).

On prend 1ml de la solution mère qu'on va ensemer dans 10ml de bouillon BHIB. Après homogénéisation, on incube à 35°C pendant 24 h à 48 h. Si il apparition de trouble sur le milieu d'enrichissement on effectue un isolement sur le milieu sélectif King A, puis on incube à 42 ° C pendant au moins 24 heures.

**La lecture:** *Pseudomonas aeruginosa* apparait sous forme de petites colonies lisses légèrement bombées, de pigment bleu-vert (**BOUDERHEM, 2011**).

#### II-4-7- Recherche des vibrions

La recherche du genre *Vibrio* nécessite une revivification sur milieu d'enrichissement EPA. Ce milieu contient peptone, du chlorure de sodium (agent de sélection) et de l'eau distillée. On prend 1ml de la solution mère qu'on va ensemencer dans 10ml de bouillon EPA, après homogénéisation on incube à 35°C pendant 24 h à 48 h. S'il y a apparition de trouble sur milieu d'enrichissement on fait l'isolement de sur milieu sélectif (GNAB), puis on incube à 37°C pendant au moins 24 h (GUIRAUD J-P, 2003).

**La lecture :** Les vibrions apparaissent sous forme de très petites colonies transparentes.

#### II-4-8-Recherche des *Clostridium* sulfito- réducteurs (CSR)

Ces germes sont anaérobie stricte, ont la capacité de réduire les sulfates en sulfites H<sub>2</sub>S, Gram+, bâtonnets, sporules.

La recherche de CSR se fait sur milieu gélose viande foie réparti dans 5 tubes à essais de 20 mL. On fait chauffer l'échantillon à analyser dans des flacons en verre stériles au bain-marie à 80°C pendant 10 à 15 min avant de les mettre sous l'eau froide du robinet. Ce traitement par choc thermique permet de tuer toutes les formes végétatives des bactéries. Dans chaque tubes on introduit 5 mL de l'inoculum et lui ajouter 3 à 4 gouttes de l'huile de vaseline, bien mélanger puis incuber à 37°C pendant 24 à 48 h (faire la 1<sup>er</sup> lecture après 24 h) (FRANCK, 2002).

**La lecture :** Faire un dénombrement de toutes les colonies noirâtres.

Les deux tests de routine suivants ont été effectués pour l'ensemble des germes recherchés.

#### Coloration de Gram

La coloration de Gram est une technique qui permet de mettre en évidence les caractères morphologiques (forme et taille) des bactéries. C'est une double coloration qui nous permet de connaître la forme, l'arrangement, la pureté ainsi que la nature biochimique de la paroi des cellules purifiées. Cette coloration est réalisé systématiquement sur les différentes colonies purifiés pour préciser le caractère Gram<sup>+</sup> ou Gram<sup>-</sup>. Avec cette coloration double, les bactéries Gram positive apparaissent en violet foncé tandis que les bactéries Gram négatives sont colorées en rose ou en rouge (GUIRAUD J-P, 2003).

#### Recherche de la catalase

La catalase est une enzyme ayant la propriété de décomposer le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) avec dégagement d'oxygène selon la réaction suivante: Sur une lame et à l'aide d'une pipette Pasteur, on dépose une colonie bactérienne à laquelle on ajoute de l'eau oxygénée (à 10 volumes). La présence d'une catalase est révélée immédiatement par des bulles de gaz qui correspondent à l'oxygène dégagé (**BOUDERHEM, 2011**).

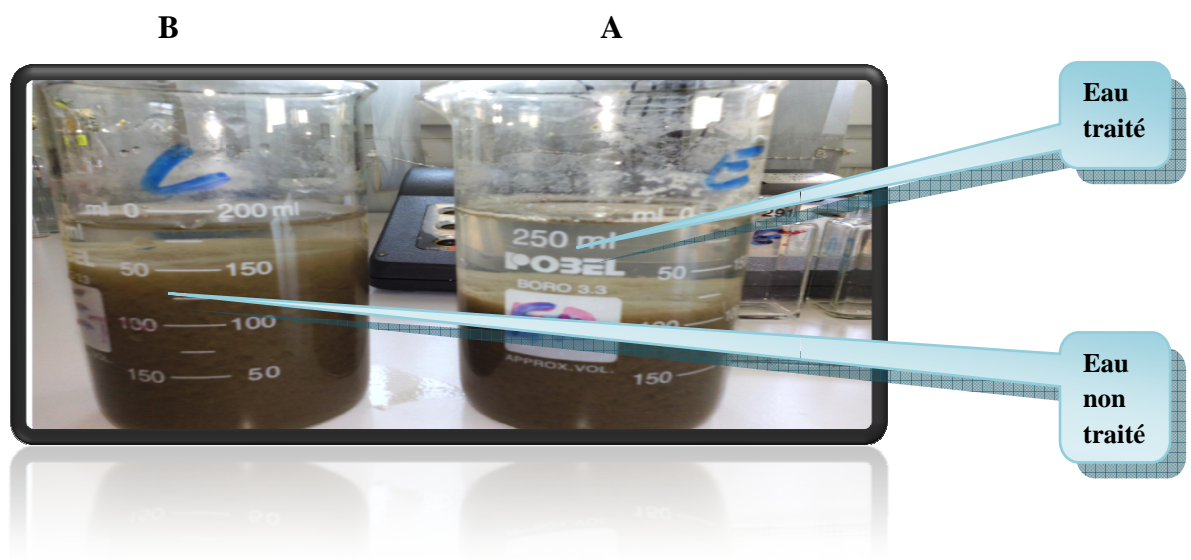
# Résultats et Discussion

Dans ce chapitre sont rassemblés les résultats des essais menés avec ou sans application du courant électrique. Ces essais ont porté sur des prélèvements de boues activées effectués dans le bassin d'aération de la station d'épuration (Tizi-Ouzou). Nous avons considéré l'effet de deux paramètres, à savoir, la distance ( $d$ ) entre les deux électrodes et la densité de courant ( $D$ ). Pour le premier paramètre, deux valeurs ont été testées:  $d=2\text{cm}$  et  $d=6\text{cm}$ , alors que pour le second paramètre trois valeurs ont été testées :  $D=1,4\text{mA/cm}^2$ ,  $D=3,8\text{mA/cm}^2$  et  $D=7\text{mA/cm}^2$ .

La variation des paramètres suivants : le pH, la conductivité électrique, les matières en suspension, la turbidité et la flore microbienne, inhérents à l'influent à traiter, a été suivie à intervalle de temps réguliers, pendant toute la durée des essais.

### I-1- Analyse olfactive et aspect des boues activées après ou sans application du courant électrique

L'analyse olfactive des échantillons de boues activées montre une odeur désagréable, et ce, avant traitement. Par ailleurs, la décantation des boues activées dans l'influent traité est plus rapide qu'elle ne l'est dans l'influent non traité. Ceci est indiqué par la différence des volumes des boues activées mesurés au bout de 6 h de temps (figure 14).



**Figure 14** : Le résultat de la décantation des boues activées observée après 6 h de temps. **A**: l'influent après application du champ électrique ; **B** : l'influent sans application du champ électrique.

Contrairement au contrôle (absence de champ électrique), les boues activées dans l'essai correspondant à l'application du courant électrique se décante d'une façon plus rapide en fonction du temps avec un volume de surnageant plus important.

Cette différence dans la vitesse de décantation des boues activées pour les deux essais avec ou sans traitement serait due à l'action de dégradation de la matière organique par les bactéries épuratrices accélérer en grande patrie après stimulation électrique.

La mauvaise odeur et le changement de la couleur de l'eau dans "l'essai" et "le contrôle" durant l'expérimentation serait dû à des composés chimiques issus de la décomposition des matières organiques, notamment le dégagement du  $H_2S$  produit par les bactéries anaérobie stricte comme les *Clostridium* (RODIER, 1996; AIT ABDELOUAHAB, 2001).

### I-2-Variation de la turbidité de l'influent à traiter avec ou sans application du courant électrique

La turbidité est due à la présence de matière en suspension entrainées dans les eaux usées (GREGORIO et PIERRE -MARIE, 2007).

La turbidité d'une eau est une mesure globale qui prend en compte toutes les matières, soit colloïdales, soit insolubles, d'origine minérale ou organique.

Les deux figures 15 et 16 représentent la variation en fonction du temps, de la turbidité moyenne exprimée en FTU pour les différents essais.

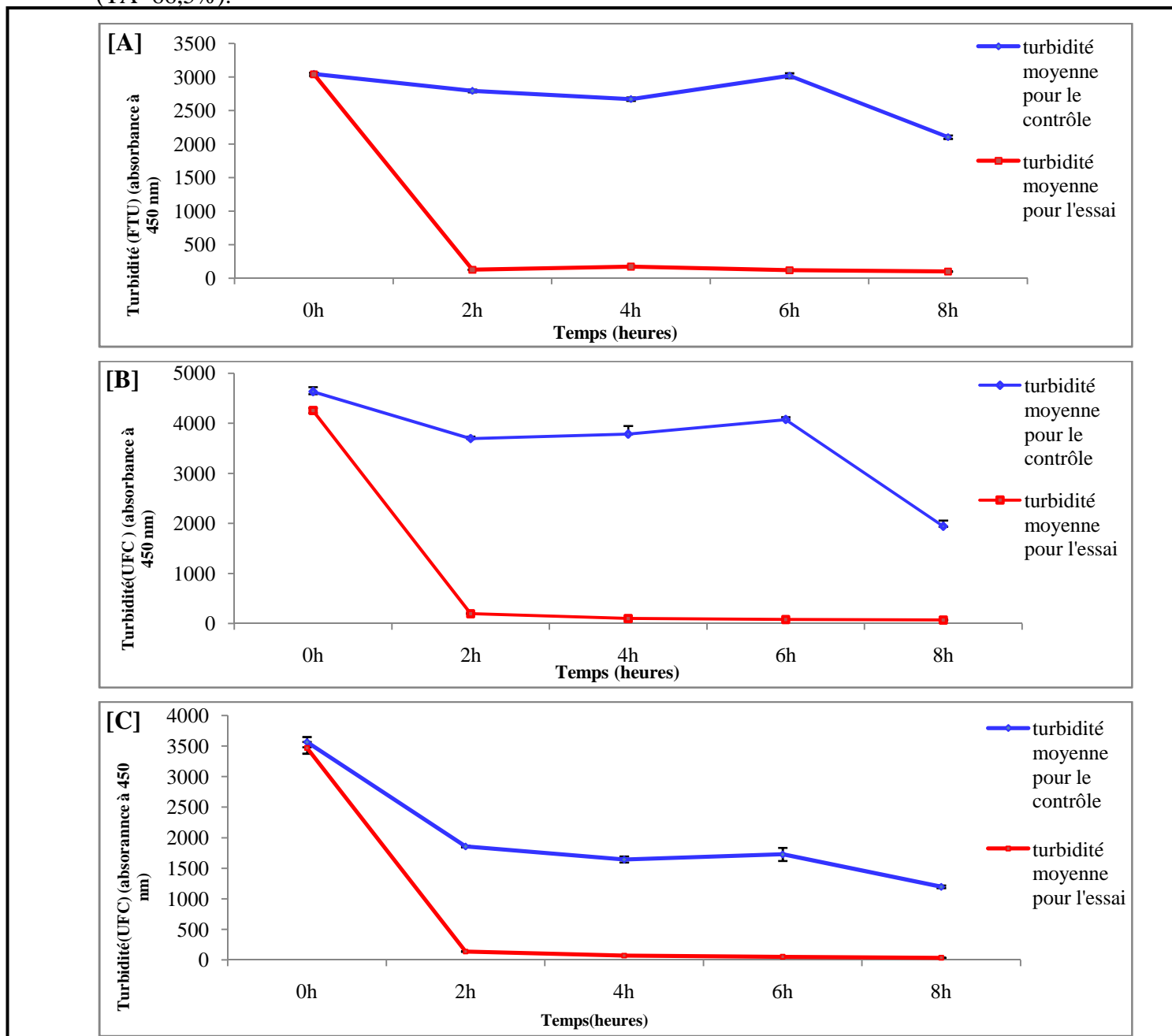
Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la turbidité pour le contrôle sont plus élevées par rapport à celle enregistrées en appliquant le champ électrique, et ce, pour l'ensemble des essais.

Dans la figure 15A ( $d=2\text{cm}$  et  $D=1,4\text{mA}/\text{cm}^2$ ), la variation de la turbidité moyenne pour l'essai débute avec la valeur de 3040 FTU à  $t=0\text{h}$  puis baisse rapidement jusqu'à la valeur de 125 FTU à  $t=2\text{h}$  avec un taux d'abattement (TA) de près de  $TA\approx 96\%$ . S'agissant de l'intervalle entre 2h et 8h la turbidité moyenne subit une légère croissance suivie d'une diminution où on a enregistré la valeur de 99 FTU à  $t=8\text{h}$  ( $TA\approx 97\%$ ). Pour ce qui est du contrôle, la turbidité moyenne subit une légère diminution en passant de la valeur de 3046 FTU à  $t=0\text{h}$  à la valeur de 2103 FTU à  $t=8\text{h}$  (TA de près de 31%).

Concernant la variation de la turbidité rapportée dans la figure 15B correspondant aux conditions suivantes:  $d=2\text{cm}$  et  $D=3,8\text{mA}/\text{cm}^2$ , on observe une baisse rapide de la valeur de ce paramètre au cours du temps en passant de 4254 FTU ( $t=0\text{h}$ ) à 69 FTU ( $t=8\text{h}$ ) ( $TA\approx 98\%$ ). Pour le contrôle, on relève la valeur de 4631 FTU à  $t=0$  qui décroît lentement et atteint 3693 à

t=2h (TA d'environ 20%). De t=2h à t=6h, cette valeur augmente jusqu'à 4073 FTU atteignant la valeur de 1960 FTU à t=8h (TA≈58%).

La figure 15C représente la variation de la turbidité moyenne pour l'expérience correspondant à d=2cm et D=7mA/cm<sup>2</sup>. Dans cette figure, on remarque que la turbidité de l'essai diminue progressivement en fonction du temps de la valeur de 3470 FTU (t=0h) à la valeur de 35 FTU (t=8h) (TA=99%). Pour le contrôle, la valeur de la turbidité qui est de 3563 FTU à t=0h diminue progressivement pour atteindre la valeur de 1196 FTU à t=8h (TA≈66,5%).



**Figure 15** : Variation de la turbidité moyenne de l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique (d=2cm). D=1,4mA/cm<sup>2</sup>(A), D= 3,8mA/cm<sup>2</sup>(B) et D=7mA/cm<sup>2</sup>(C)

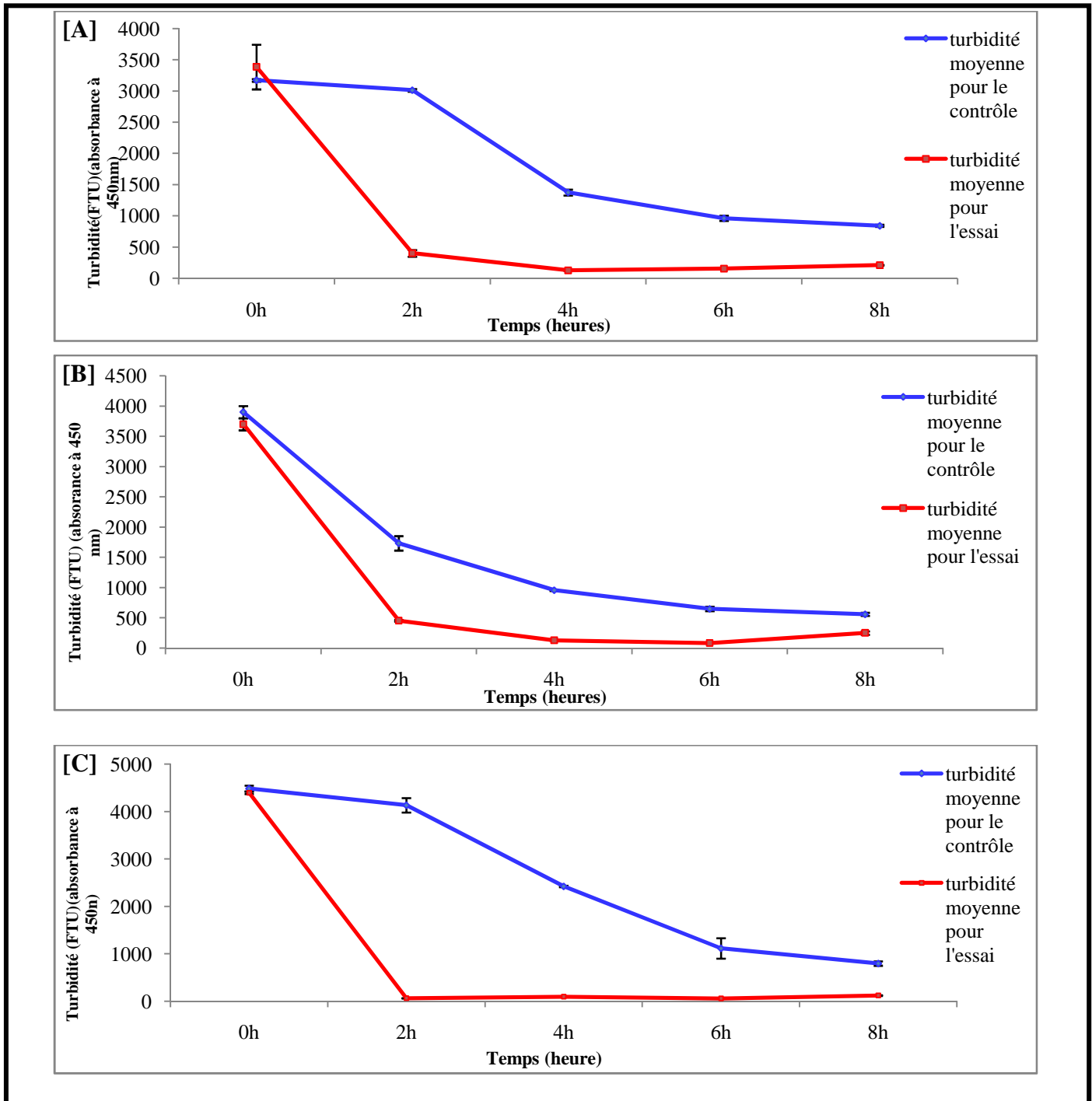
En ce qui concerne la variation de la turbidité moyenne rapportée dans la figure 16A avec  $d=6\text{cm}$  et  $D=1,4\text{mA/cm}^2$ , on remarque qu'après 2h de temps, la valeur de la turbidité pour l'essai subit une chute importante en passant de 3386 FTU à 400 FTU et continue de diminuer pour atteindre la valeur de 210 FTU après 8h de temps soit TA de la turbidité de près de 94%. Concernant la variation observée enregistrée pour le contrôle, on constate que la turbidité subit une diminution progressive qui débute de 3173 FTU à  $t=0\text{h}$  et atteint la valeur de 840 FTU à  $t=8\text{h}$ , soit un TA d'environ 73%.

La figure 16B indique la variation de la turbidité moyenne pour  $d=6\text{cm}$  et  $D=3,8\text{mA/cm}^2$ . Dans cette figure, on relève que la valeur de la turbidité moyenne pour l'essai est de 3700 FTU à  $t=0\text{h}$ , cette valeur diminue rapidement en atteignant la valeur de 84 FTU à  $t=6\text{h}$  (TA de près de 98%), ensuite remonte relativement légèrement jusqu'à la valeur de 250 FTU à  $t=8\text{h}$  avec un taux d'abattement de 93%. Concernant le contrôle, la valeur de la turbidité moyenne à  $t=0$  est de 3900 FTU diminue lentement jusqu'au 560 FTU à  $t=8\text{h}$  avec un TA de près de 86%.

Pour ce qui est de la figure 16C ( $d=6\text{cm}$  et  $D=7\text{mA/cm}^2$ ), la valeur de la turbidité moyenne pour l'essai chute de manière drastique de 4396 FTU à 61 FTU dans l'intervalle de 0h à 2h (TA de près de 98%) pour enfin atteindre la valeur de 120 FTU après 4h de temps (TA de 97%) tout en subissant de légères variations durant cette période de temps. Concernant le contrôle, la turbidité moyenne qui est de 4486 FTU à  $t=0$ , atteint la valeur de 794 FTU à  $t=8\text{h}$ , soit un TA de 82%.

A la lumière de ces résultats, on remarque une diminution de la turbidité de l'influent traité d'autant plus importante que la densité du courant est élevée. En effet, les rendements en termes de taux d'abattement de la turbidité sont plus importants dans le cas des essais traités avec le courant l'électricité qu'ils ne le sont pas pour les contrôles. L'essai pour lequel on obtient un TA maximum (99%) correspond à l'essai avec  $d=2\text{cm}$  et  $D=7\text{mA/cm}^2$ . Les résultats obtenus dans notre étude sont similaires à ceux rapportés par **ZONGO (2009)**. L'étude de ces derniers a porté sur la compétition entre la pollution organique et la pollution par des métaux lourds dans le cas du traitement par un procédé d'électrocoagulation de deux influents textiles et d'un influent simulé de tannerie, où ils ont obtenu des valeurs d'abattement de la turbidité comprises entre 72% et 80%, et ce, en appliquant des densités de courant comprises entre  $5\text{mA/cm}^2$  et  $20\text{mA/cm}^2$ . Nos résultats sont également similaires à ceux obtenus par **ABOUZAID et al. (2002)** qui, ayant procédé au traitement par électrochimie des eaux souterraines dans la province orientale de l'Arabie Saoudite en utilisant des électrodes en

acier inoxydable et en appliquant une intensité de courant à 1A, ont obtenu un rendement d'abattement de la turbidité de 95%. Ils corroborent, par ailleurs, ceux obtenus par **TEJOCOTE-PIEREZ *et al.*(2010)**, dont les travaux ont porté sur le traitement d'influent industriels par un système mixte continu: Électrocoagulation (électrodes en aluminium, intensité de courant: 3,4A), permettant un taux d'abattement de l'ordre de 92%.



**Figure 16 :** Variation de la turbidité moyenne de l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique ( $d=6\text{cm}$ ).  $D= 1,4\text{mA/cm}^2$ (**A**),  $D=3,8\text{mA/cm}^2$ (**B**) et  $D= 7\text{mA/cm}^2$ (**C**).

### I-3-Variation de la conductivité de l'influent à traiter avec ou sans application du courant électrique

La conductivité électrique est la capacité d'une eau à conduire un courant électrique dans la solution aquatique. La présence d'ions dans l'eau favorise une importante conductivité électrique (CE).

Les deux figures 17 et 18 représentent la variation de la conductivité électrique en fonction du temps.

On notera que les profils de variation inhérents à l'essai et au contrôle sont semblables, et ce, pour les trois figures dont l'interprétation suit (17A, 17B et 17C). Dans la figure 17A ( $d=2\text{cm}$ ,  $D=1,4\text{mA}/\text{cm}^2$ ), on remarque que la conductivité pour l'essai subit une hausse importante en passant de  $1150\mu\text{S}/\text{cm}$  à  $7000\mu\text{S}/\text{cm}$  après 2h de temps et atteint la valeur de  $8827\mu\text{S}/\text{cm}$  ( $t=8\text{h}$ ). Concernant le contrôle, la conductivité électrique à  $t=0\text{h}$  est de  $1186\mu\text{S}/\text{cm}$  et atteint la valeur de  $7333\mu\text{S}/\text{cm}$  ( $t=8\text{h}$ ).

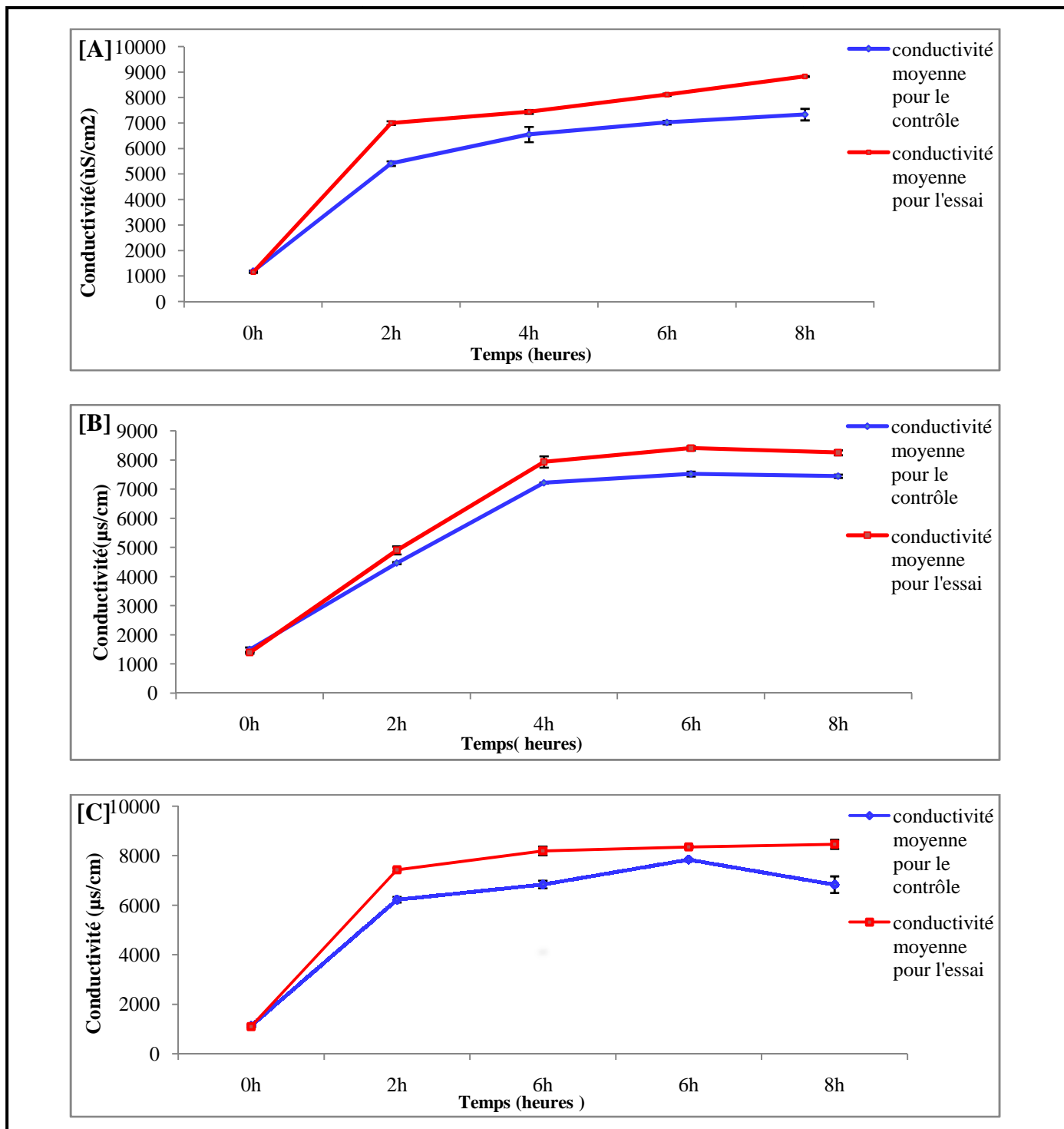
Concernant la figure 17B ( $d=2\text{cm}$ ,  $D=3,8\text{mA}/\text{cm}^2$ ), la conductivité de l'essai passe de la valeur de  $1393\mu\text{S}/\text{cm}$  à  $t=0\text{h}$  à  $8253\mu\text{S}/\text{cm}$  à  $t=8\text{h}$ . Concernant le contrôle, il subit une hausse moins importante de la valeur de  $1493\mu\text{S}/\text{cm}^2$  ( $t=0\text{h}$ ) à  $7446\mu\text{S}/\text{cm}$  ( $t=8\text{h}$ ).

En ce qui concerne la variation de la conductivité présentée dans la figure 17C ( $d=2\text{cm}$ ,  $D=7\text{mA}/\text{cm}^2$ ), on observe là encore une augmentation de la conductivité pour l'essai qui atteint la valeur de  $8463\mu\text{S}/\text{cm}$  après 8h de temps, alors que la valeur atteinte pour le contrôle au bout de la même période de temps est moindre ( $6833\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

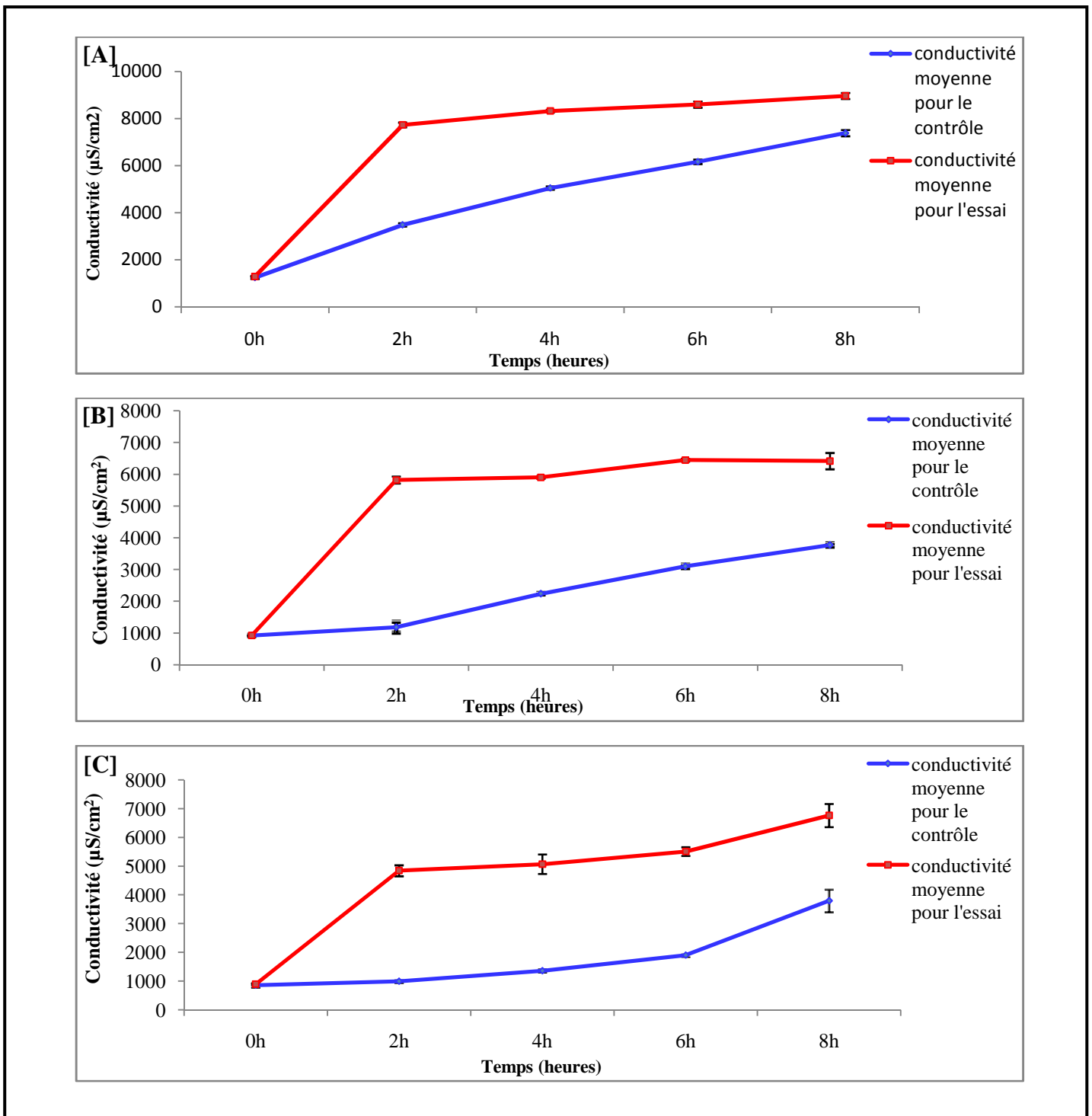
Les résultats montrés dans la figure 18A ( $d=6\text{cm}$ ,  $D=1,4\text{mA}/\text{cm}^2$ ) montrent que la valeur de la conductivité moyenne de l'essai passe de  $1293$  à  $8960\mu\text{S}/\text{cm}$  entre 0h et 8h. S'agissant du contrôle, on observe une hausse moins importante de la conductivité qui passe de  $1243\mu\text{S}/\text{cm}$  à  $7380\mu\text{S}/\text{cm}$  dans le même intervalle de temps.

Dans la figure 18B ( $d=6\text{cm}$ ,  $D=3,8\text{mA}/\text{cm}^2$ ), la variation de la conductivité de l'essai augmente rapidement de la valeur  $922\mu\text{S}/\text{cm}$  à  $5816\mu\text{S}/\text{cm}$  après 2h de temps puis atteint la valeur de  $6413\mu\text{S}/\text{cm}$  au bout de 4h de temps. En ce qui concerne le contrôle, la conductivité subit une augmentation moins importante, en passant de  $923\mu\text{S}/\text{cm}$  à  $3469\mu\text{S}/\text{cm}$  après 8h de temps.

Concernant la variation de la conductivité rapportée dans la figure 18C ( $d=6\text{cm}$ ,  $D=7\text{mA/cm}^2$ ), on relève que la conductivité pour l'essai passe de  $896\ \mu\text{S/cm}$  à  $6766\ \mu\text{S/cm}$  entre 0h et 8h. Pour ce qui est du contrôle, la valeur de la conductivité moyenne passe de la valeur de  $860\ \mu\text{S/cm}$  ( $t=0\text{h}$ ) à la valeur de  $3796\ \mu\text{S/cm}$  à  $t=8\text{h}$ .



**Figure 17:** Variation de la conductivité électrique de l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique ( $d=2\text{cm}$ ).  $D=1,4\text{mA/cm}^2$ (A),  $D=3,8\text{mA/cm}^2$ (B) et  $D=7\text{mA/cm}^2$ (C).



**Figure 18 :** Variation de la conductivité électrique de l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique ( $d=6\text{cm}$ ).  $D= 1,4\text{mA/cm}^2$ (A),  $D= 3,8\text{mA/cm}^2$ (B) et  $D= 7\text{mA/cm}^2$ (C).

L'ajout de sulfite de sodium ( $\text{Na SO}_4$ ) permet d'augmenter la conductivité des influents à traiter et diminuer la demande énergétique. De plus, ce sel est généralement choisi du fait qu'il n'est pas toxique et que son coût est modéré (CALVO *et al.*,2003).

L'essai pour lequel on observe une valeur de CE maximum ( $CE_{\max} = 8827\mu\text{S}/\text{cm}$ ) correspond à celui avec  $d=6\text{cm}$  et à  $D=1,4\text{mA}/\text{cm}^2$ .

D'après les résultats présentés ci-dessus, on remarque que les valeurs moyennes de la conductivité électrique atteintes diminuent avec l'augmentation de la valeur de la densité de courant appliquée. Ce constat est confirmé par **AMEZIANE *et al.*, (2013)** pour le traitement des effluents d'Hôpital par électrocoagulation en appliquant une intensité de courant de 2A.

#### **I-4-Variation de la concentration des matières en suspension de l'influent à traiter avec ou sans application du courant électrique**

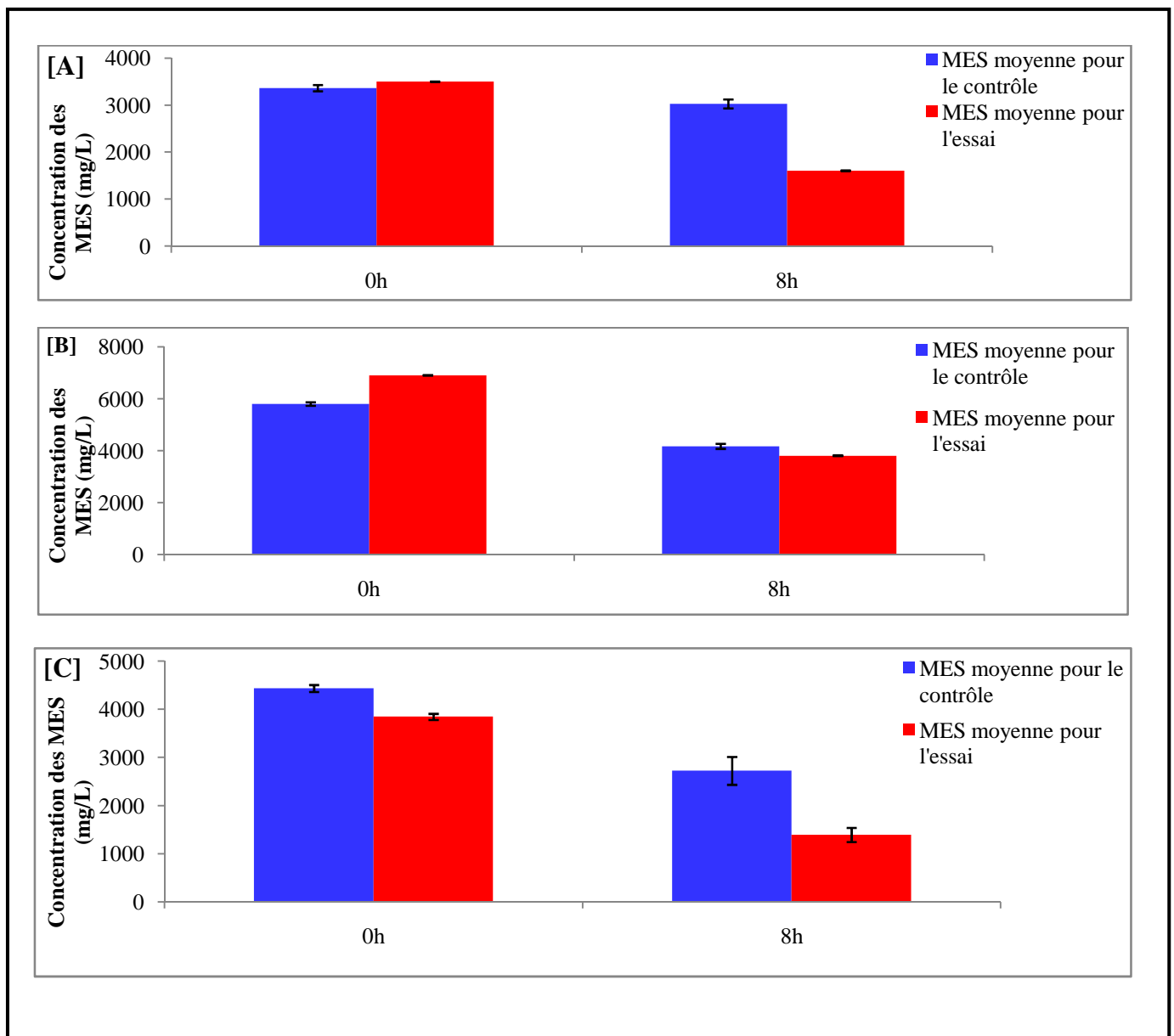
Elle consiste en un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain, industriel ou bien agricole (**METAHRI, 2012**).

Les figures 19 et 20 représentent la variation de la concentration des MES dans l'influent traité par les boues activées soumis ou non au courant électrique.

Concernant la variation de la concentration des MES rapportée dans la figure 19A ( $d=2\text{cm}$ ,  $D=1,4\text{mA}/\text{cm}^2$ ), on remarque qu'à  $t=0\text{h}$ , la valeur de la concentration des MES pour l'essai et le contrôle sont respectivement de  $3500\text{mg}/\text{L}$  et  $3362\text{mg}/\text{L}$ . A  $t=8\text{h}$ , ces deux valeurs baissent et sont de  $1605,3\text{mg}/\text{L}$  pour l'essai et  $3025\text{mg}/\text{L}$  pour le contrôle, soit des TA respectifs de 54% et 10%.

On observe à partir de la figure 19B ( $d=2\text{cm}$ ,  $D=3,8\text{mA}/\text{cm}^2$ ) qu'à  $t=0\text{h}$ , la valeur moyenne de la concentration des MES inhérente à l'essai est de  $6901\text{mg}/\text{L}$ , cette valeur baisse ensuite pour atteindre la valeur de  $3805\text{mg}/\text{L}$  à  $t=8\text{h}$  (TA $\approx$ 45%). Concernant le contrôle, la valeur moyenne de ce paramètre à  $t=0\text{h}$  est de  $5796,5\text{mg}/\text{L}$ , et de  $4162\text{mg}/\text{L}$  à  $t=8\text{h}$ , soit un TA de 28%.

Pour ce qui est de la variation de ce paramètre montrée dans la figure 19C ( $d=2\text{cm}$ ,  $D=7\text{mA}/\text{cm}^2$ ), on remarque que les valeurs moyennes de ce paramètre pour l'essai et pour le contrôle sont respectivement de  $3846\text{mg}/\text{L}$  et  $4436\text{mg}/\text{L}$  à  $t=0\text{h}$ . Ces valeurs diminuent à  $t=8\text{h}$  et sont respectivement de  $1394\text{mg}/\text{L}$  et  $2724\text{mg}/\text{L}$ . Les valeurs des TA observés sont respectivement de près 64% et 38,5%.

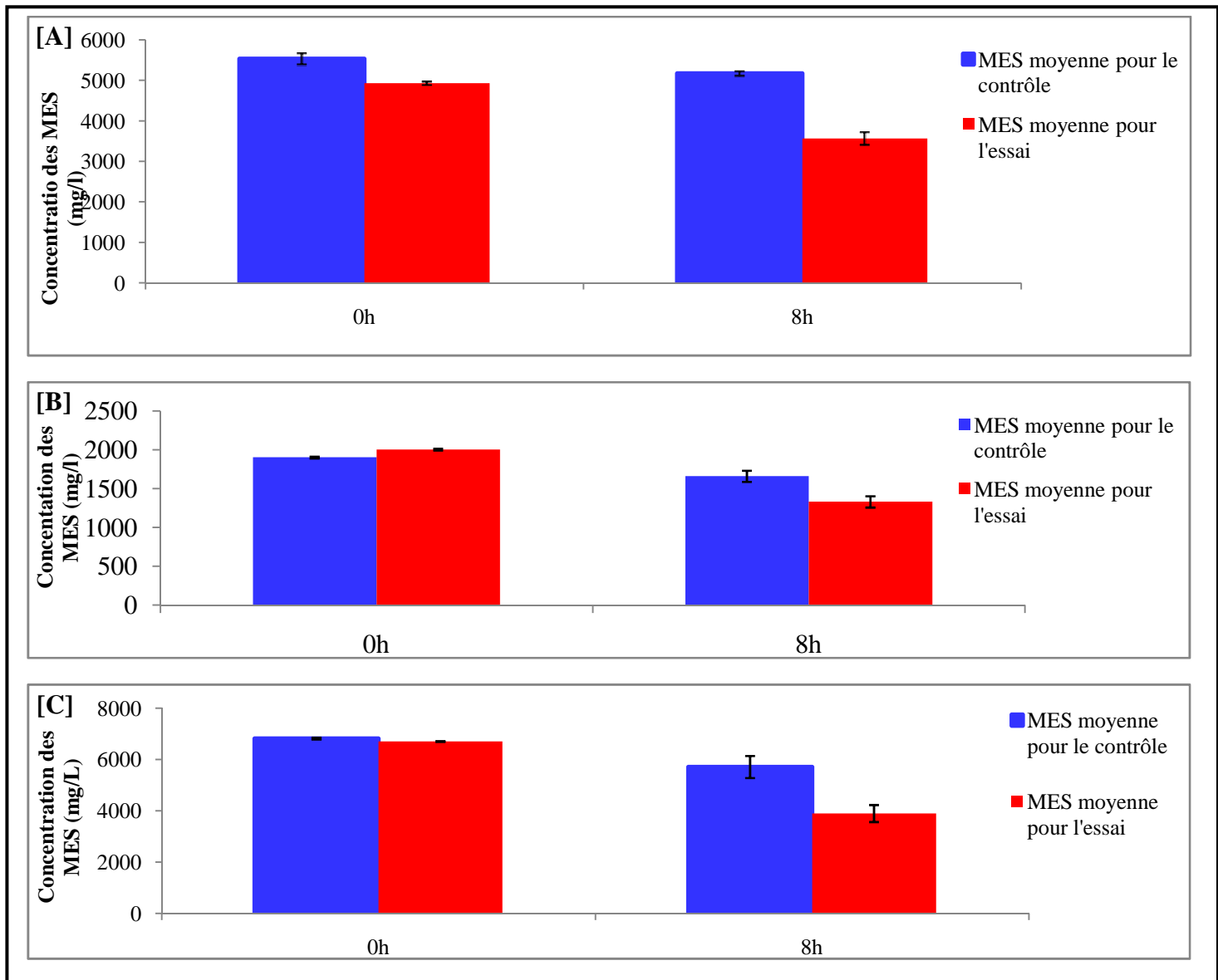


**Figure 19 :** Variation de la concentration des MES de l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique ( $d=2\text{cm}$ ).  $D= 1,4\text{mA/cm}^2$ (A),  $D= 3,8\text{mA/cm}^2$ (B) et  $D= 7\text{mA/cm}^2$ (C).

Au vu des résultats de la figure 20A ( $d=6\text{cm}$ ,  $D=1,4\text{mA/cm}^2$ ), on relève une valeur moyenne de la concentration des MES de 4929,5 mg/L à  $t=0\text{h}$  pour l'essai et 3567,5mg/L à  $t=8\text{h}$ , soit un TA de près de 28%. Les valeurs observées pour le contrôle sont de 5532mg/L à  $t=0\text{h}$  et 5172mg/Là  $t=8\text{h}$ , correspondant à un TA de 6,5%.

La figure 20B qui correspond aux conditions suivantes:  $d=6\text{cm}$  et  $D=3,8\text{mA/cm}^2$  montre une baisse de la concentration de ce paramètre pour l'essai en passant de la valeur de 2004 mg/L à 1331 mg/L, respectivement à  $t=0\text{h}$  et  $t=8\text{h}$  (TA $\approx$ 33,5%). Pour le contrôle on observe un TA de15%.

A partir des résultats montrés dans la figure 19C ( $d=6\text{cm}$ ,  $D=7\text{mA/cm}^2$ ) on relève une valeur de la concentration des MES à  $t=0\text{h}$  de  $6703\text{ mg/L}$ , celle-ci diminue et atteint la valeur de  $3895\text{mg/L}$  à  $t=8\text{h}$ , permettant un TA de près de 42%. Pour ce qui est du contrôle, la valeur moyenne de ce paramètre à  $t=0\text{h}$  est de  $6815\text{ mg/L}$  et atteint la valeur de  $5707,5\text{mg/L}$  à  $t=8\text{h}$ , ce qui correspond à un TA d'environ 16%.



**Figure 20 :** Variation de la concentration des MES de l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique ( $d=6\text{cm}$ ).  $D= 1,4\text{mA/cm}^2$ (A),  $D= 3,8\text{mA/cm}^2$ (B) et  $D= 7\text{mA/cm}^2$ (C).

Ces résultats montrent clairement que le traitement par le courant électrique influence positivement sur le taux d'abattement des MES (dégradation de la matière organique). On a ainsi enregistré un TA maximum 64% pour l'essai correspondant à  $d=2\text{cm}$  et  $D=7\text{mA/cm}^2$ , et ce, après 8 h de traitement électrique. Cet effet pourrait être lié à l'influence positive des

électrons, fournis par le courant électrique, sur l'activité catalytique des enzymes microbiennes, notamment celles impliquées dans la dégradation et l'utilisation de la matière organique biodégradable présentes dans les MES.

L'effet positif du courant électrique sur le rendement d'abattement des MES, mis en évidence dans la présente étude, semble inédit. En effet, les travaux disponibles dans la littérature utilisent le courant électrique dans le cadre des procédés électrochimiques de traitement de différents influents (urbain ou industriel). Citons à titre d'exemple les travaux réalisés par **CAMILLERI, 1980**, sur le traitement de rejet urbain par électrocoagulation-flottation. Cet auteur obtient un taux d'abattement des MES de l'ordre de 90% au bout de 75 min de traitement en appliquant un potentiel électrique de 15 volts. **DEBILLEMONT, 1996**, obtient, par ailleurs, par procédé d'électrocoagulation un taux d'abattement compris entre 71% et 99% en traitant différents influents (urbain, effluents de teinturerie, etc.). De même, les travaux rapportés par **KOBYA et al. (2003)** concernant le traitement d'influents textiles par électrocoagulation en utilisant des électrodes en Fe et en Al, font état d'un taux d'abattement de 83% obtenu au bout de 2h de temps.

### **I-5-Variation du pH de l'influent à traiter avec ou sans application du courant électrique**

Le pH est un facteur important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Le pH indique l'alcalinité des eaux usées, son rôle est capital pour la croissance des microorganismes qui ont généralement un pH optimum variant de 6,5 à 7,5. Lorsque le pH est inférieur à 5 ou supérieur à 8,5, la croissance des microorganismes est directement affectée (**ABDESSELEM, 1999**).

Les figures 21 et 22 représentent la variation du pH de l'influent traité par des boues activées avec ou sans application du courant électrique.

Sur la base de ces résultats, on notera qu'il n'y a pas de différence significative entre les valeurs du pH relatives au contrôle et à l'essai à t=0h.

Pour ce qui est de la figure 21A ( $d=2\text{cm}$  et  $D=1,4\text{cm}/\text{cm}^2$ ), le pH diminue significativement pour l'essai en passant de la valeur initiale de 7,99 à 7,60 à t=6h. S'agissant du contrôle, la valeur de pH diminue d'une manière non significative de la valeur de 8,06 à 7,9 dans l'intervalle de 0h à 8h.

En considérant la figure 21B ( $d=2\text{cm}$  et  $D=3,8\text{cm}/\text{cm}^2$ ), on remarque que la valeur moyenne du pH, pour l'essai, entre 0h et 6h diminue significativement en passant de 7,98 à 7,69. Concernant le contrôle la valeur du pH augmente significativement de 7,97 à  $t=0\text{h}$  pour atteindre la valeur de 8,20 après 8h de temps.

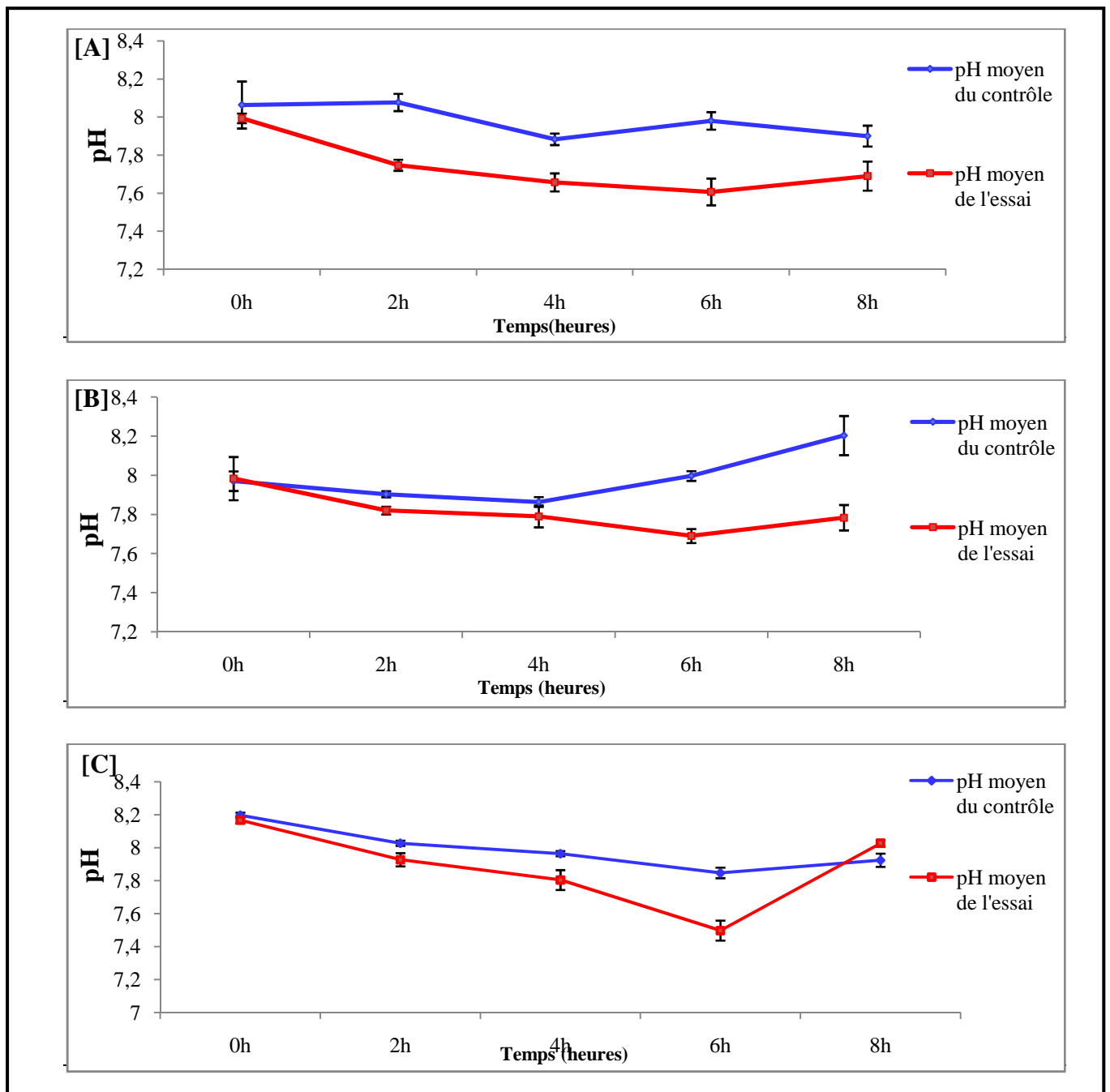
La figure 21C représente les résultats inhérents à l'essai pour lequel  $d=2\text{cm}$ ,  $D=7\text{mA}/\text{cm}^2$ . Dans cette figure, on relève une baisse significative du pH pour l'essai qui passe d'une valeur initiale de 8,16 à 7,49 ( $t=6\text{h}$ ). Pour le contrôle, la valeur du pH diminue de manière significative de 8,19 à 7,92 dans l'intervalle de 0h à 8h.

Comme il ressort de la figure 22A ( $d=6\text{cm}$ ,  $D=1,4\text{mA}/\text{cm}^2$ ), après 4h de temps, le pH de l'essai diminue significativement en passant de la valeur de 7,82 à 7,7 puis varie de manière non significative jusqu'à  $t=8\text{h}$ . S'agissant du contrôle, la valeur du pH augmente significativement en passant de 7,8 à 8 durant 4h de temps et finit à la valeur de 7,85 à  $t=8\text{h}$ .

Pour ce qui est de la variation du pH représenté dans la figure 22B ( $d=6\text{cm}$ ,  $D=3,8\text{mA}/\text{cm}^2$ ), on remarque que la valeur du pH de l'essai à  $t=0\text{h}$  est de 8,24. Cette valeur diminue significativement jusqu'à la valeur de 7,61 à  $t=6\text{h}$ , puis varie de manière non significative jusqu'à  $t=8\text{h}$ . Pour ce qui concerne le contrôle, on observe une diminution significative moins importante qui atteint la valeur de 8 à  $t=8\text{h}$ .

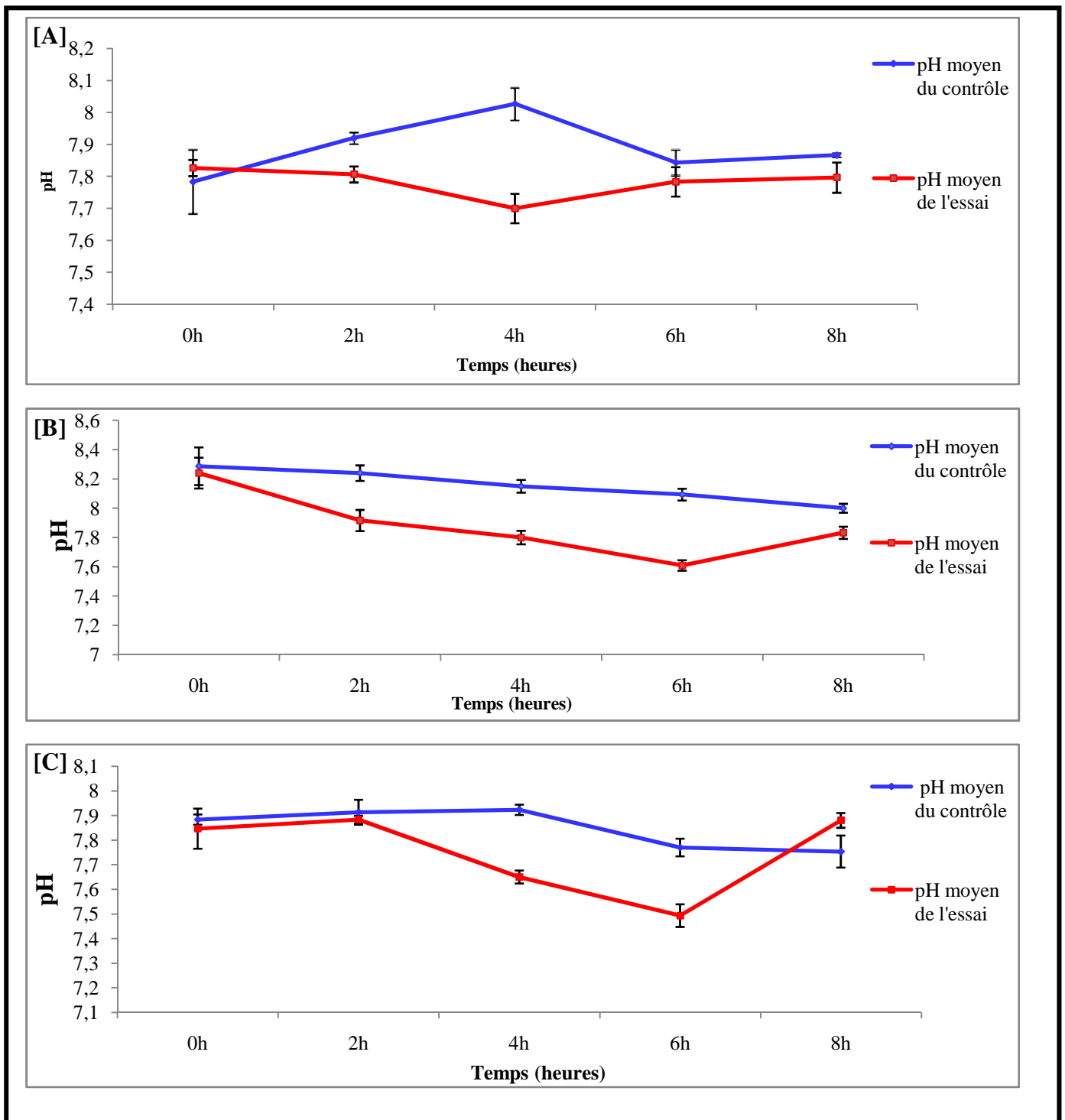
En considérant la figure 22C ( $d=6\text{cm}$ ,  $D=7\text{mA}/\text{cm}^2$ ), on constate que la valeur moyenne du pH de l'essai diminue significativement en passant de 7,84 à  $t=0\text{h}$  à 7,49 après 6h de temps. Pour le contrôle, la valeur du pH entre 0h à 2h le pH décroît et atteint la valeur de 7,91 puis diminue d'une manière significative jusqu'à la valeur de 7,75 à  $t=8\text{h}$ .

Selon ces résultats, il apparaît que l'application du courant électrique durant le traitement de l'influent urbain par les boues activées provoque une légère baisse du pH en fonction du temps à chaque fois qu'on augmente la densité du courant, et ce, par rapport au contrôle. En effet, les valeurs du pH moyennes mesurées pour les différents essais sont presque toujours inférieures à celles du contrôle. Il semble, par ailleurs, que cet effet soit indépendant de la variation de la de la distance entre les électrodes testées.



**Figure 21 :** Variation du pH dans l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique ( $d=2\text{cm}$ ).  $D=1,4\text{mA/cm}^2$ (A),  $D=3,8\text{mA/cm}^2$ (B) et  $D=7\text{mA/cm}^2$ (C).

Nos résultats ne corroborent pas ceux rapportés par **ALATON *et al.*(2008)** qui, en appliquant le procédé d'électrocoagulation sur des eaux usées, en utilisant des électrodes d'aluminium et d'acier inoxydable, constatent une augmentation du pH, d'autant plus importante que la densité du courant appliquée est élevée. Ce constat est également rapporté par **ZONGO (2009)** avec l'utilisation des électrodes de fer et d'aluminium dans le traitement d'effluent textile.



**Figure 22 :** Variation du pH dans l'influent traité par des boues activées en fonction du temps avec ou sans application du courant électrique ( $d=6\text{cm}$ ).  $D= 1,4\text{mA/cm}^2$ (A),  $D= 3,8\text{mA/cm}^2$ (B),  $D= 7\text{mA/cm}^2$ (C).

### I-6-Variation de la flore bactérienne de l'influent avec ou sans application du courant électrique

Dans le but de mettre en évidence un éventuel changement qualitatif et/ou quantitatif des germes présents dans les boues activées dû à l'application du courant électrique, nous avons entrepris la recherche et le dénombrement des germes suivants: la flore mésophile totale aérobie, les coliformes totaux et fécaux et les Streptocoques et Streptocoques fécaux. La recherche a concerné également le dénombrement des germes suivants : Salmonelles, Staphylocoques, *Pseudomonas aeruginosa*, les vibrions et *Clostridium* sulfito-réductrices anaérobies.

Les résultats montrés dans la figure 23A montrent que les valeurs de la flore mésophile totale aérobie pour les essais 1, 2, 4, 5, 6 sont inclus dans l'intervalle [3887,5-71750UFC/ml] pour la flore saprophytes et [3787,5-67875UFC/mL] pour la flore pathogène qui sont inférieures à celle du contrôle. Hormis pour l'essai 3, ses valeurs sont presque égale à celles observées pour le contrôle non soumis au courant électrique, dont les valeurs des flores saprophytes et pathogènes sont respectivement 66850 UFC/mL et 67125 UFC/mL. A la lumière de ces résultats, on remarque que le courant électrique semble exercer un effet sur cette flore. Cet effet est négatif pour les valeurs de densités de courant de 1,4 et 3.8mA/cm<sup>2</sup>, mais ne l'est pas pour la valeur de densité de courant de 7mA/cm<sup>2</sup>. Par ailleurs, cet effet ne semble pas dépendre de la distance entre les deux électrodes d'acier inoxydable utilisées. Ces résultats se rapprochent de ceux rapportés par **BOUDJIMA et al.(2013)** qui ont suivi l'évolution de la flore mésophile total aérobie en appliquant un procédé d'électrocoagulation avec des intensités de courant comprises entre 2 et 3A et des électrodes d'aluminium.

L'effet négatif des faibles valeurs de densité de courant sur la flore mésophile total aérobie, constaté dans la présente étude, serait en rapport avec la perméabilité de la membrane de la paroi de ces bactéries. Cette paroi est un élément vital de la cellule microbienne, car elle lui assure sa forme et lui permet de résister à une forte pression osmotique. Le courant électrique serait à l'origine de dysfonctionnements de la membrane se traduisant soit par une fuite d'électrolyte depuis la cellule, ou bien par la diffusion dans la cellule de substances toxiques tels que les métaux lourds provoquant la mort cellulaire. Le courant pourrait également affecter les différentes fonctions associées à la membrane cytoplasmique (respiration, transport des nutriments, élimination des déchets, etc.).

Concernant les résultats représentés dans la figure 23B obtenus pour les coliformes, on remarque des valeurs faibles du nombre des coliformes fécaux pour tous les essais, en ce, en

comparaison avec les valeurs observées pour le contrôle. Ceci indique que les valeurs de densité de courant testées semblent avoir un effet négatif sur le nombre des coliformes fécaux. Il en est autrement s'agissant des coliformes totaux pour lesquels cet effet négatif n'est observé que pour les valeurs de densité de courant de 3,8 et 7mA/cm<sup>2</sup>. Par ailleurs, la distance séparant les deux électrodes ne semble pas exercer d'effet sur les germes considérés. Ces résultats en termes de diminution du nombre de coliforme totaux et fécaux sont en accord avec ceux rapportés par **BOUDJIMA et al.(2013)**. Ces derniers ont appliqué un procédé d'électrocoagulation à l'eau d'Oued El Harrach en testant trois valeurs d'intensité de courant (2, 2,5 et 3A), et en suivant la variation de la pollution microbienne d'origine fécale (*Escherichiacoli*) en fonction du temps. Ces auteurs ont constaté la disparition au cours de traitement du germe en question. Ce phénomène a été également observé par **KHENNOUSSI et al.(2013)** en suivant le nombre des coliformes fécaux dans les effluents d'abattoir de viande rouge avec l'application du courant électrique. Dès 4 volts le taux d'abattement tend vers 98,06 %, à 12 volts ce taux atteint 98,98 %. Les méthodes de traitement classiques, donnent des taux d'élimination moins importants. Ainsi, **KHENNOUSSI et al.(2011)** ont rapporté des valeurs d'abattement de cette flore relativement faibles (de l'ordre de 50%), en traitant des effluents d'abattoir de viande rouge par coagulation-floculation chimique au chlorure ferrique.

Pour ce qui est des résultats obtenus pour les Streptocoques et les Streptocoques fécaux représentés dans la figure 23C, on remarque une baisse significative du nombre de ces deux groupes bactériens pour les essais soumis au courant électrique, et ce, en comparaison avec les valeurs observées pour le contrôle. Ces résultats sont similaires à ceux de **BOUDJIMA et al.(2013)** qui, en appliquant un procédé d'électrocoagulation à des eaux usées, ont observé un abattement significatif des streptocoques, et ce, au bout de 60min de temps.

A la lumière de ces résultats, on remarque que le courant électrique semble exercer un effet sur ce germe. Cet effet est négatif pour l'ensemble des valeurs de densités de courant testées. Par ailleurs, cet effet ne semble pas dépendre de la distance entre les deux électrodes d'acier inoxydable utilisées.

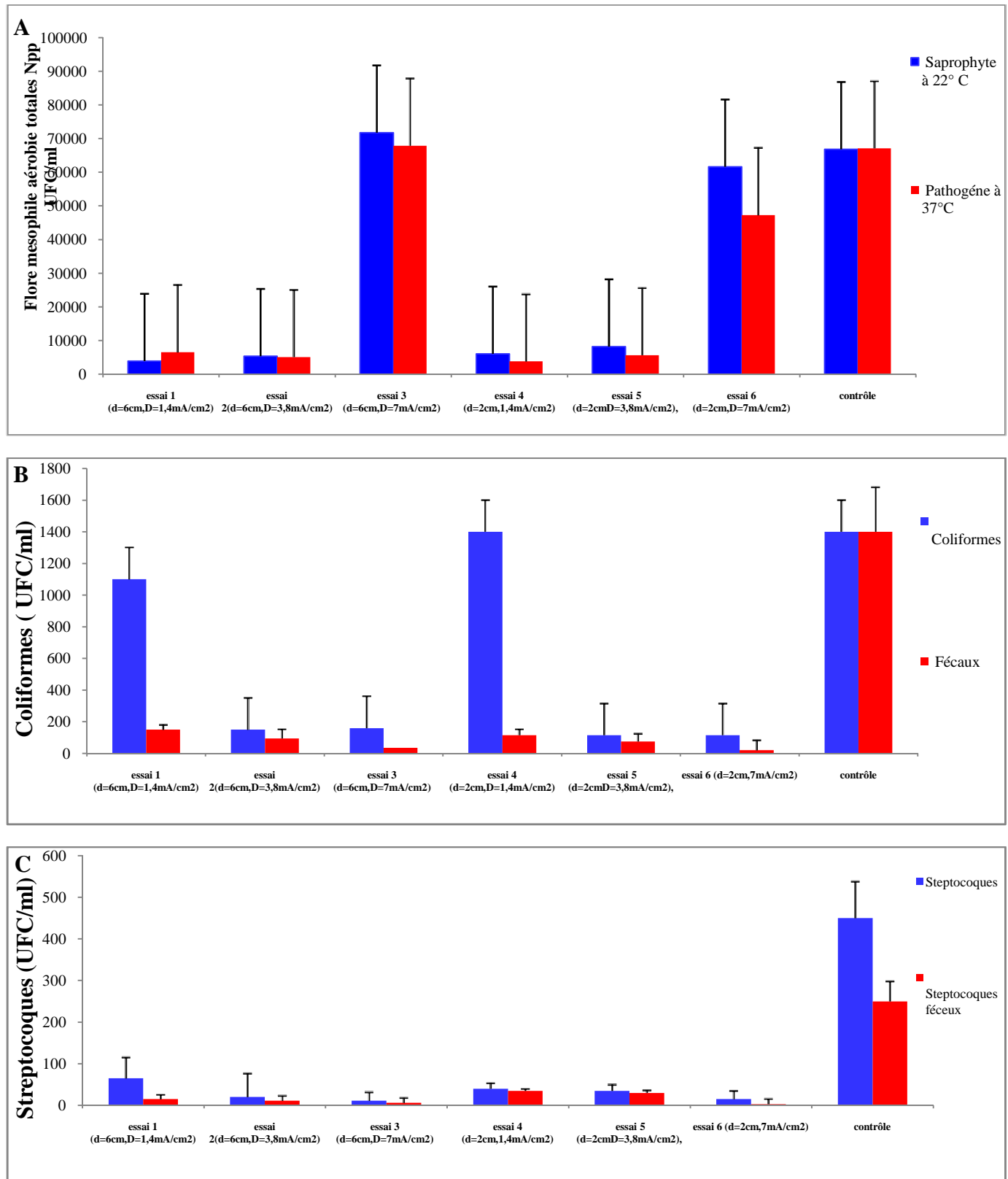
Les résultats obtenus pour les germes suivants : sont indiqués dans la figure 24A. En comparaison avec le contrôle, on remarque une diminution significative du nombre de Salmonelles pour les essais 2, 3, 4, 5 et 6. Concernant les Staphylocoques et *Pseudomonas aeruginosa*, on enregistre une diminution significative, et ce, pour l'ensemble des essais. S'agissant des vibrions, on relève une diminution significative uniquement pour les essais 5 et

6. L'effet négatif observé du courant électrique se tait dû au changement structurel de la paroi de ces germes recherchés. En effet, l'augmentation de la conductivité dans la solution de l'influent traité peut contribuer à la formation de floccs chargés négativement, qui peuvent être à l'origine de la dénaturation des protéines de la paroi de ces bactéries et/ou de l'oxydation des phospholipides de la bicouche lipidique externe. L'excès d'électrons pourrait, par ailleurs, toucher les enzymes de la chaîne respiratoire de ces germes induisant un dysfonctionnement de leur métabolisme pouvant provoquer la mort cellulaire.

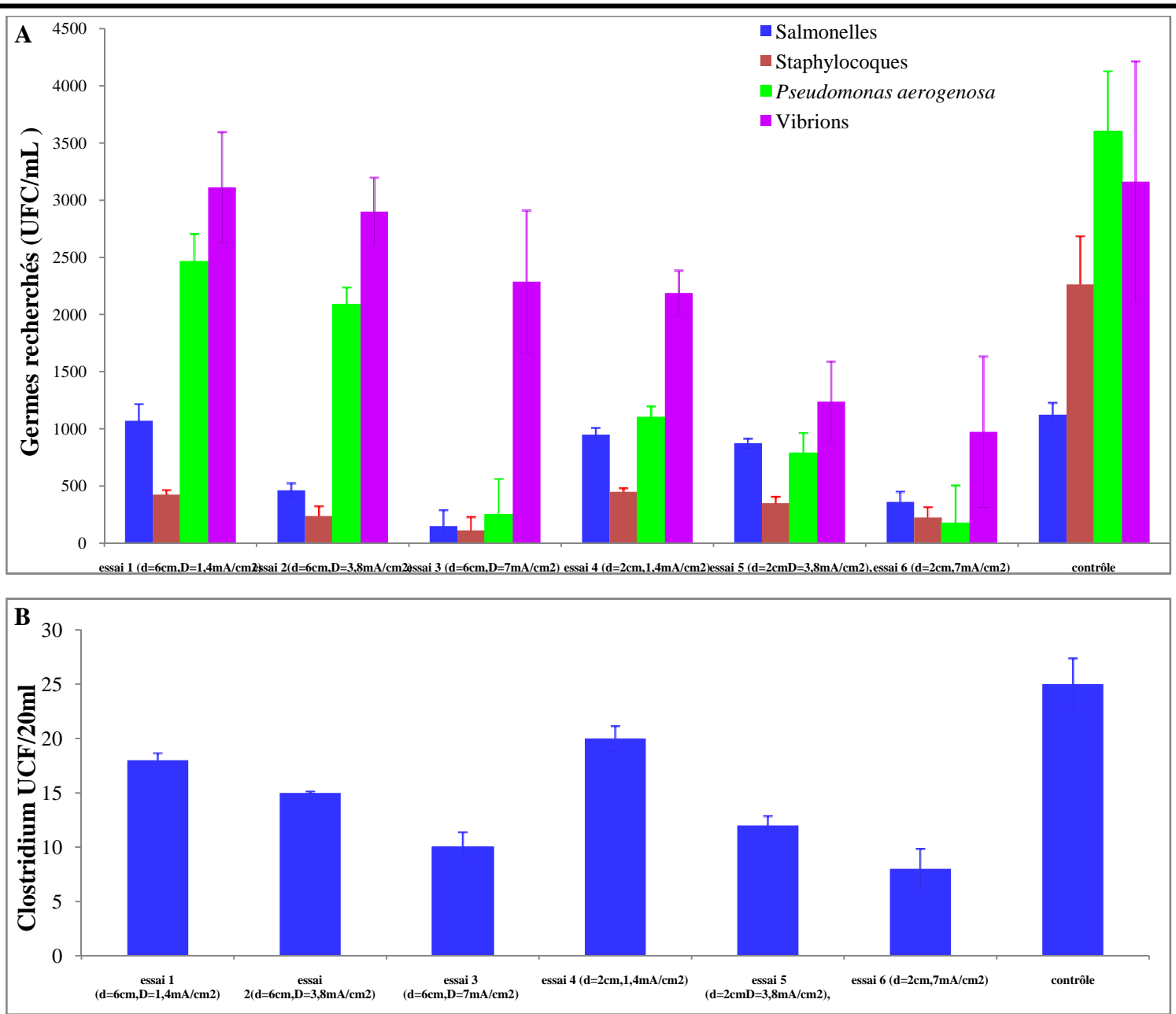
**BOUDJIMA et al. (2013)** observent un effet dû au courant électrique se traduisant par un abattement important du nombre des germes suivants : Salmonelles, Staphylocoques et *Pseudomonas aeruginosa*, présents dans des eaux usées urbaines. Par ailleurs, **DREES et al. (2003)** rapportent, une élimination complète des salmonelles par électrocoagulation-électroflottation avec les électrodes en fer présentes dans des produits textile, et ce, au bout de 20 min de traitement.

Concernant les résultats inhérents aux *Clostridium* (voir figure 24B), on observe un effet négatif du traitement sur l'ensemble des essais réalisés. En effet, l'augmentation de la densité du courant semble induire une baisse significative du nombre de *Clostridium*. On enregistre une valeur minimale de 8 UFC/20ml pour l'essai n°6 ( $D=7\text{mA}/\text{cm}^2$ ). Ces résultats corroborent ceux obtenus par **BOUDJIMA et al. (2013)**. Ces derniers observent, en effet, une baisse significative du nombre de CSR en appliquant, pendant 40 min, un procédé d'électrocoagulation sur des eaux usées urbaines.

Il est notoire que les *Clostridium* sont difficiles à éliminer en raison de leur capacité à sporuler. Ceci expliquerait, dans notre cas, le faible effet exercé par le courant électrique sur ces germes.



**Figure 23** : Résultats du dénombrement des flores mésophile aérobie total (A), des Coliforme (B) et des Streptocoques(C) obtenus avec ou sans application du courant électrique.



**Figure 24 :** Résultats du dénombrement de Salmonelle, Staphylocoques, *Pseudomonas aeruginosa*, Vibrion (A) et les *Clostridium* sulfite-réducteurs (CSR) (B) obtenus avec ou sans application du courant électrique.





# **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

L'épuration des eaux usées consiste à éliminer les matières minérales et organiques en suspension et en solution, ainsi qu'un certain nombre de déchets divers afin d'obtenir une eau épurée, conforme aux normes de rejets. Le procédé des boues activées repose sur l'activité d'une culture bactérienne aérobie, maintenue en suspension dans un ouvrage spécifique alimenté par l'influent à traiter et appelé bassin d'aération.

Notre travail avait pour objectif, l'étude de l'effet du courant électrique sur le traitement biologique d'eaux usées domestiques. Pour ce faire, différents paramètres physico-chimiques et microbiologiques liés à l'influent à traiter ont été suivis, à savoir : la turbidité, la conductivité, le pH, les matières en suspension, la flore mésophile aérobie total, les Coliformes totaux et fécaux, les Streptocoques, les *Clostridium* sulfito-réducteurs, Salmonelles, Staphylocoques, *Pseudomonas aeruginosa* et les Vibrions.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence un effet positif du courant électrique sur :

- La dégradation des matières en suspension avec un taux d'abattement de près de 64% après uniquement 8 h de traitement, soit une augmentation de 36% par rapport au contrôle.
- La turbidité de l'influent à traiter avec un taux d'abattement maximum de 99%.

Par ailleurs, la conductivité de l'influent soumis au courant électrique est significativement plus importante que celle mesurée pour le contrôle.

L'analyse bactériologique nous a permis de mettre en évidence un changement du nombre des germes recherchés dû au courant électrique. En effet, il a été observé un effet négatif significatif sur l'ensemble des germes recherchés.

Les avantages inhérents au courant électrique, mis en évidence dans cette étude, pourraient permettre d'envisager, à l'avenir, son application à l'échelle d'une station d'épuration des eaux usées.

Enfin, en guise de perspectives, il convient de :

- Elargir l'intervalle des valeurs des paramètres testés, liés au courant électrique.
- Optimiser et modéliser l'effet du courant électrique sur les performances du traitement biologique en appliquant la méthode des plans pour surfaces de réponse.
- Etudier l'effet du courant électrique sur d'autres microorganismes tels que les helminthes (ex: *Ascaris lumbricoides*, les parasites (ex : *Kyste d'amibes*) et les bactéries épuratrices tel que: *Alcaligenes*, *Citromonas*, *Flaviobacterium*, etc.
- Investiguer sur le plan moléculaire les effets du courant électrique sur les bactéries qui présentent une susceptibilité vis-à-vis de ce facteur.

# Références bibliographiques

## A

**ABDESSELEM A. (1999).** Suivre de la qualité microbiologique et physicochimique de tris serres alimentaires de la région de Tlemcen, Mémoire d'ingénieur en biologie, Université de Tlemcen, 58p.

**ABOUZAID N-S, BUKHARI A-D., et AL-HANOUS Z. (2002).** Ground water coagulation using soluble stainless electrodes. *Advances in Environmental Research*, **6**, 325-333.

**ADJEROUD N, DAHMOUNE F, MEZOUK B, LCLERE J-P., et MADANI K. (2015).** Improvement of electrocoagulation–electroflotation treatment of effluent by addition of *opuntia ficusindicapad* Juice, *Separation and Purification Technology*, **144**, 168–176.

**AIF K. (1993).** Recherche et quantification des paramètres caractéristiques de l'équivalent Habitant. Thèse de Doctorat. Université de Limoges, Paris, 123p.

**ALATON A, KADIASLIT D, HANDABA D., et KUYBUE. (2008).** Electrocoagulation of areal real reactive dycbath effluent using Aluminum and Stain Less Steel Electrodes. *Journal of Hazardous Material*, **150**, 166-173.

**ALZADEH F, AMMZADEH B, TAHERI M, FERHADI S., et MAGHSOODI M. (2013).** MBR excess sludge reduction by combination of electrocoagulation and fenton oxidation processes. *Separation and Purification Technology*, **120**, 138-385.

**AMEZIANE N, KHENOUSI A., et BENAABIDATE L. (2013).** Effet de l'épuration par electrocoagulation sur la pollution des effluents de l'Hôpital Mohamed V de MEKNES. *European Scientific Journal*, **36**, 7857-7881.

**AMOUCAS K., et HASSAINE I. (2013).** Dimensionnement des sols cultivés aux traitements tertiaires de l'azote et du phosphore de l'effluent traité de la STEP de Boumerdés. Mémoire d'Ingénieur, spécialité écologie végétale. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Alger, 17p.

**ANONYME 1. (2013).** Traitement des eaux usées. Centre d'enseignement et de recherches sur l'environnement et la société, *Environmental research and teaching institute*.  
<http://www.erudit.org/revue/rseau/2013/v16/n2/705502ar.pdf>.

**ANONYME 2. (2014).** Réutilisation des eaux usées Epurées. Risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France, 113 p.  
<http://www.ors-idf.org/dmdocuments/REURapport.pdf>.

**ANONYME 3. (2005).** Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: Cadre général.les données de Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement "L'eau à Bruxelles".  
<http://www.collectionsbruxelle.gc.ca/obj/s4/f2/dsk2/ftp03/MQ37837.pdf>.

**ANONYME 4. (2010).** La pollution et l'épuration de l'eau. Cahier pédagogique N°2. Etablissement publique du ministère chargé du développement durable.  
[https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/bitstream/handle/1866/4966/GarciaAc\\_Araceli\\_2010\\_hese.pdf](https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/bitstream/handle/1866/4966/GarciaAc_Araceli_2010_hese.pdf).

**ASANO T. (1998).** Wastewater reclamation and reuse. *Water quality management library*, 1475p.

**AZIMI S, ROCHER V, MULLER M, MOILLERON R., et THEVENOT D.R. (2006).** Sources distribution and variabilité of hydrocarbons and imetals in atmospherie deposition in an urban area. *Sciences of the Total Environnement*, **337**, 223-239.

## **B**

**BACHI O.E.K. (2010).** Diagnostic sur la valorisation de quelques plantes du jardin d'épuration de station du vieux ksar. Mémoire de magister, Université Kasdi Merbah, Témachine. Ouargla, 105p.

**BANDU J -L. (1999).** Etude des options de traitement secondaire des eaux usées pour la région du grand Moncton. Thèse partielle de la maîtrise en étude de l'environnement .Université de Moncton, Canada, 25p.

**BASSOMPIERRE C. (2007).** Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers: de la conception D'un Pilote à la Validation de modèles. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 25-42 p.

**BAUMONT S, CAMARD J-P , LEFRANC A., et FRANCONI A. (2004).** Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaire et faisabilité en Ile -De - France. Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile -de -France. Rapport ORS, 220p.

**BEAUDRY J-P. (1998).** Traitement des Eaux. 3<sup>ème</sup> Ed. Le Griffon d'Argiles, Montpellier, 943p.

**BECHAC J.P. (1987).** Traitement des eaux usées .*Edition Eryalles*, 2<sup>ème</sup>Ed, Paris, 78p.

**BELHMADI M.S.O. (2011).** Etude de la biodégradation du 2,4 Dichlorophénol par le microbiote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'Ibn Ziad. Thèse de magistère .Université Montouri-Constantine, Algérie, 13-14p.

**BENNAJAH M. (2007).** Traitement des rejets industriels liquide par electrocoagulation /électroflottation en en réacteur airfilt. Thèse de Doctorat, institut national polytechnique de Toulouse, France, 810p.

**BERNE F. (1972).** Les Traitements des eaux dans l'industrie pétrolière. 2<sup>ème</sup> Ed., TECHNI, paris, 207p.

**BERNE F., et JEAN C. (1999).** Traitement des eaux. 3<sup>ème</sup>Ed. TECHNI, Paris, 60p.

**BIRKETT J.W. et LESTER J.N. (2003).** Endocrine disrupters in wastewater and sludge treatment processes. *Lewis Pub*, **34**, 1611-1117.

**BOTTINO A, CAPANELLI G et G. CIARDELLI G. (2001).** Ozone Treatment of Textile Wastewaters for Reuse, *Water Science and Technology*, vol n°44, **5**, 61-67p.

**BOUDERHAM. (2011).** Utilisation des souches bactériennes tellurique autochtone dans la biodétection et la bioremédiation des sels pollues par les hydrocarbures. Thèse de magistère, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 29p.

**BOUDJIMA N, DROUCHE N, ABDI N, GRIB H., LOUNICI H, PAUSS A., et MAMERI N. (2014).** Treatment of oued El Harrach river water by electrocoagulation noting the effect of the electric field on microorganisms. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **45**, 1564-1570.

**BOUSSEBOUNA H. (2005).** Elément de microbiologie. 2<sup>ème</sup>Ed., *campus -club*, Constantine, Algérie, 30p.

**BOUTIN C, HEDUIT A et HELMER J-M. (2008).** Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REYT).Rapport final. Convention de partenariat ONEMA-cemarget. Domaine: Ecotechnologies et pollution, 16-17p.

**BUREAAU. M -A. (2004).** Stabilisation et traitement électrochimique des boues d'épuration municipale et industrielles. Université du Québec, Canada, 17-24p.

**BOUDAN V, CHAUD P, QUENEL P, BLATEAU A, CARDOSO T ., et CHAMPENOIR B. (2004).** Étude de L'Imprégnation par le mercure de la population de Sinnamary. Institut de vieille sanitaire –Direction générale de la santé et du développement social de Guyane, 48p.

**BOURGEOIS CM, MESCLE JF., et ZUCCA J. (2002).** Microbiologie alimentaire : Aspects Microbiologiques de la sécurité et de la qualité des aliments. Tome I. Editions Lavoisier, 241- 251p.

## C

**CHAPMAN D., KIMSTACH V. (1996).** Selection of water quality variables, *Water Quality Assessment*. 2<sup>nd</sup> Ed., E&FN Spon, London, 18p.

**CAMILLERI C. (1980).** Les techniques de flottation- application à l'épuration des eaux Usées industrielles et urbaines et la préparation des eaux potables, *Tribune de Cebedeau*, **33**, 497-505.

**CAMPOS C. (2008).** New perspectives on microbiological water control for wastewater reuse. *Desalination*, **218**, 34-42.

**CALVO L.S, LECLERC J.P, T ANGUAY G, C AMES M.C, PATERNOTTE G, VALENTIN I G, ROSTAN A., et LAPICQUE F. (2003).** An electrocoagulation unit for the purification of soluble oil wastes of high COD, *Environmental Progress*, **22**, 57-65.

**CAUCHI, HYVRAD, NAKACHE, SCHWARIZBROD, ZAGURY, BARON, CARRE, COURROIS, DENIS, DERNAT, LARBAIGT, DERANGERE, MARTIGNE., et SEGUER. (1996).** La réutilisation des eaux usées après épuration. *Techniques, Sciences et Méthodes*, **2**, 81-118.

**CESSAC J et GEORGE T. (2001).** Chimie des eaux .4<sup>ème</sup> Ed., Fernand Nathan, France, 950p.

**CORSIN P et LE STRAT P, GLS. (2007).** Réutilisation des aux usées, Les effluents des stations d'épuration: comment les rendre aptes à une seconde vie. *L'eau, l'industrie, les nuisances*, **299**, 38-39.

## D

**DARWANO H. (2013).** Développement d'une méthode d'extraction des contaminants émergents dans les solides particuliers par LDTD-APCI-MS/MS. Mémoire présenté à la faculté des études supérieures et postdoctorales en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences (M. Sc.) en chimie. Université de Montréal, Canada, 60p.

**DEBILLEMENT P. (1996).** Eaux résiduaires: traitements biologiques et physicochimiques, Récents Progrès en Génie des Procédés, **10**, 129-136.

**DEGLIN S. (2002).** Epannage des boues de stations d'épuration d'abattoirs de ruminants : quel risque microbiologique. Mémoire de fin d'études, Ecole nationale de la santé publique, Paris, 123p.

**DEGREMONT. (2005).** Mémento technique de l'eau. Tome 1, 2<sup>ème</sup>Ed., cinquantième, Paris, 109-59p.

**DEVAUX I. (1999).** Intérêt et limites de la mise en place d'un suivi sanitaire dans le cadre de la réutilisation agricole des eaux usées traitées de L'agglomération clermontoise. Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier, Grenoble, 257p.

**DHAOUDI H. (2008).** Traitement des eaux usées urbain-procédés biologique d'épuration. Cours donné aux étudiants 2<sup>ème</sup> année TSSAPC et traitement des eaux. Université Virtuelle de Tunis, Tunisie, 20p.

**DIALLO B. (1996).** Analyse et contrôle de la pollution des eaux du fleuve niger par les rejets liquide sur baignades et industriels du district de Bamako. Mémoire DER de biologie: en sup Bamako, 96p.

**DJEDDI H. (2007).** Utilisation des eaux d'une station pour l'irrigation des essences forestières urbaines. Thèse de magister. Université de Montouria Constantine. Alger, 10p

**DJAMEL et MESBAH. (2008).** Ressource en eau de la pluviale du haut Sébaou : impact de l'urbanisation, industrie sur les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux de surface et souterraine. *Biologie et Agronomie*, **53**, 01-12p

**DREES K, ABBASZADEGAN M, M ATER RM. (2003).** Comparative electrochemical inactivation of bacteria and bacteriophage. *Water Research*, **37**,2291–2300.

**DROUCHE N ., HECINI M., et MAALANI A. (2006).** Traitement des effluent issu des opérations technologique de décapage et dégraissage des plaquettes de silicium en salle blanche par un procédé d"electrocoagulation et caractérisation des boues produites. *Revue d'énergie renouvelable*, **1**, 107-112.

**DUGUET J-P, BERNAZEAN F, CLERET D, GAID A, LAPLANCHE A, MOLES J, MONTIEL A, RIOU G., et SIMON P. (2006).** Réglementation et traitement des eaux usées destinées à la consommation humaine.1<sup>er</sup> Ed .ASTEE (association scientifique et technique pour l'environnement), 60P.

## **E**

**ECOSSE D. (2002).** Technique alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde."Qualité et gestion de l'eau", fac. Science, Amiens, Canada, 62p.

**EFFEBI K R. (2009).** Lagunage anaérobie : modélisation combinant a décantation primaire et la dégradation anaérobie. Thèse de Doctorat. Université de Liège Campus d'ARLON, 7-9 p.

## **F**

**FABY J.A et BRISSAUD F. (1997).** L'Utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office international de l'eau, 76 p.

**FRANCK R. (2002).** Analyse des eaux, aspects réglementaires et techniques. Ed scérén CRDP Aquitaine Bordeaux, France, 165-239p.

**FRANCK R. (2010).** Les milieux de culture pour l'isolement et l'identification biochimique des bactéries. *Biologie appliquée*, nouvelle édition, 200, 206, 239p.

## G

**GHERNAOUT D, BADIS A, KELLIL A et GHERNAUT B. (2008).** Application of electrocoagulation in Escherichia culture and two surface waters, *Desalination*, **219**, 118–25.

**GALVIEZ-CLOUTIER B et ARSENAULT S. (2002).** La détérioration des plans d'eau : manifestation et moyens de lutte contre l'eutrophisation .Vecteur de l'environnement. Volume 35, **6**, 186p.

**GERIN M, GOSSELIN P, CORDIER S, VIAU C, QUENEL P., et DEWAILY E. (2003).** Environnement et santé publique – fondements et pratiques. *Tech&Doc*, Canada, 1023 p.

**GERMAIN E, BANCROFT L, DAWSON A, HINRICHS C, FRICKER L., et PEARCE P. (2007).** Evaluation of hybrid processes for nitrification by comparing MBBR/AS and IFAS configurations. *Water Science and Technology*, **55**, 8-9.

**GREGORIO C., et PIERRE-MARIE B. (2007).** Traitement et épuration des eaux industrielles polluées. Thèse de Doctorat .Presse Université, France -Comité, France, 356p.

**GUIRAUD J-P . (2003).** Microbiologie alimentaire. Dunod. Paris. ISBN : 2- 10- 007259. 652 p.

## H

**HADE A. (2002).** Nos lacs-les connaitre pour mieux les protéger .Ed. Fides, Québec, Canada, 360p.

**HADE A. (2007).** Nos lacs-les connaitre pour mieux les protéger .Ed. Fides, Québec, Canada.122p.

**HADJ-SADOK Z M.(1999).** Modélisation et estimation dans les bioréacteurs; prise en compte des incertitudes : application au traitement de l'eau. Thèse de Doctorat: sciences de L'ingénieur, Nice – Sophia Antipolis, 267P

**HENERI A, COLLETTE B et GRAZEILLA D. (2004).** Le Traitement des eaux usées- le point des connaissances sur l'environnement (ED 5026). Institut national de la recherche et de la sécurité. Paris cedex, 2p

## **I**

**ISO 7218. (2007).** Microbiology of food and animal feeding stuffs-general requirements and guidance for microbiological examination.

[http://www.sinal.it/not/ISO\\_7218\\_2007.pdf](http://www.sinal.it/not/ISO_7218_2007.pdf).

<http://fdanieau.free.fr/cours/bts/A2/microbiologie/TP/FicheTechnique2.pdf>.

## **J**

**JAROZ J. (1985).** Le Traitement des boues des stations d'épuration contre la formation et la documentation sur l'environnement industriel, Paris 06, France, 110p.

**JOUBERT J-C. (1991).** Contrôle des Eaux douce et de consommation humaine. 5<sup>ème</sup> Ed., *Technologie Ingénieur*, France, 82p.

## **K**

**KOBYA M., et BAYRAMOGLU M. (2003).** Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron And aluminum electrodes, *J. Hazard. Mater*, **100**, 163–178.

**KHENNOUSSI A, CHAOUCH M, CHAHLAOUI A, MERZOUKI M. (2011).**

Traitement par le chlorure ferrique d'effluents d'abattoir. Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, **150** (1-4), 69-80.

**KHENNOUSSI A, CHAOUCH M, CHAHLAOUI A, MERZOUKI M. (2013).**

Traitement des effluents d'abattoir de viande rouge par électrocoagulation-flottation avec des électrodes en fer, *Revue des Sciences de l'Eau*, **26**, 135-150,

## **L**

**LADHEB F. (2004).** Exploitation d'une station d'épuration à boue activée. Niveau 02 (CEMA-Boumerdés), 105p.

**LAHBIB E. (2008).** Diagnostique mise à niveau et réutilisation des eaux usées de la station d'épuration O. Saïd .Mémoire de fin d'étude. Ecole nationale de génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg (ENGEES).France, 29p.

**LAGARDETTE J. (2005).** L'Eau potable et l'assainissement. Ed. Johanet, Paris, 190p.

**LARRECQUE M.H. (2003).** Etude la capacité de deux souches de levures à dégrader le xylène .Mémoire de magistère. Université Laval, Québec.

**LAURENT J-I. (1994).** Agence de l'eau et du ministère de l'environnement. Canada, 180 p.

**LAWERS R. (2006).** Toxicologie industrielle et intoxication professionnelle. Paris, 693 p.

**LAZAROVA V, GAID A, RODRIGUEZ GONZALEZ J., et ALAY ANSOLA J. (2003).** L'intérêt et la réutilisation des eaux usées. Analyses d'exemples mondiaux. *Techniques scientifique et méthodes*, **9**, 64-85.

**LE HYARIC R. (2009).** Caractérisation, traitabilité et valorisation des refus de dégrillage des stations d'épurations. Thèse de Doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 30-34p.

## **M**

**MADIGAN M., et MARTINKO J. (2007).** Biologie des microorganismes.11<sup>ème</sup>Ed, Pearson/éducation, Paris, 918-932p

**MANCEUR R., et SAIDJ k. (2013).** Caractérisation des paramètres physico-chimiques et quantification des nutriments des eaux usées traitées de la STEP de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de mémoire de fin d'études. U.M.M.T.O., Tizi-Ouzou, Algérie, 3p.

**MEKHALF F. (2009).** Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement. Thèse de magister. Tunis, 16p.

**MELANIE H. (2010).** Evaluation des capacités birémediatrice d'une mangrove impactée par des eaux usées domestique. Application au site pilotes de malamanie, mayotte. Thèse de Doctorat. Université de Toulouse, France, 13p.

**METAHRI M.S. (2002).** Caractérisation de trois réseaux hydrographique de Kabylie (Parc national de Djurdjura, Oued Sébaou, Oued Boughni):faunistique, écologie et biogéographie des Macro-invertébrées. Thèse de magistère, U.M.M.T.O, 16 p.

**METAHRI M.S. (2012).** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatés des eaux usées, traitées par des procédés mixtes.cas de la STEP de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de Doctoral, U.M.M.T.O, Tizi-Ouzou, Algérie, 5p.

**METCALF and EDDY.(1979).** Wastewater Engineering Treatment ~Disposal / Reuse (2 Ed). *Montréal: McGraw-Hill, 1, 118-122.*

**MIQUET G. (2003).** La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. *Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, tome I, 198 p.*

**MOKEDDEM K., et KOUDDANE S. (2005).** Qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de source Sidi Yaakoub (Mostaganem).Mémoire d'ingénieur de biologie-industries, Mascara, 59p.

**MOLLAH M.Y.A, SCHENNACH R, PARGA J.R., et COCKE D.L. (2004).** Electrocoagulation (EC) science and applications, *J. Hazard. Mater, 84, 29–41.*

**MOUSSA M .D.H. (2005).** Les eaux résiduaires des tanneries et des teintureries: caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impacts sur les eaux de surface et les eaux souterraines. Thèse de Doctorat en pharmacie. Université de Bamako, Mali, 43p.

.

**O**

**OMS. (1989).** L'Utilisation des eaux usées en agriculture et aquiculture : recommandation avisées sanitaires. Organisation mondiale de la santé, Genève, 17-60p.

## P

**PATERMARAKIS G., et FOUNTOUKIS E.(1990).** Disinfection of water by electrochemical treatment, *Wat. Res.* **24**, 1496.

**PEAVY H. S, ROWE D. R., et TCHOBANOGLIOUS G. (1985).** Environmental Engineering. *McGraw-HU*, **6**, 132-139.

**.PELMONT J. (2005).** Biodégradation et métabolismes: les bactéries pour les technologies de l'environnement. *EDP sciences Ed* ,**105**; 10.11.

**PERRY J-J, STALEY j-T., et LORY S. (2004).** Microbiologie .2<sup>ème</sup> Ed., DUNOD, France, **848**, 60 p.

**PERSIN F., et M. RUMEAU M. (1989).** Le traitement électrochimique des eaux et effluents. *Tribune de l'eau*, **42**.45-56p.

**PICARD T.(2000).** Contribution à l'étude des réactions aux électrodes en vue de l'application à l'electrocoagulation. Thèse de Doctorat, universités de limoges, France, 60p

**PILON-SMITS E. (2005).** Phytoremédiation. *Annual Review of Plant Biology*, **5**, 15-380.

## R

**REJSER F. (2002).** Analyses des eaux: aspects réglementaires et techniques. Ed5 .Centre régional de documentation pédagogique, aquitaine, 65p.

**RENE M.(2010).** L'Eau, soi pollution, et son traitement .Thèse de magister, Ronte des bottières Novolaise, France, 6p.

**RICORDEL C, DARCHEN A., et HADJIEV D. (2010).** Electrocoagulation– Electroflotation as a surface water treatment for industrial uses. *Separation and purification Technology*, **4**, 342–7.

**RODIER J. (1984).** Analyse de l'eau: eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer.7<sup>ème</sup> Ed., DUNOD Bordas, Paris, 1365p

**RODIER J. (1996).** L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer. 8<sup>ème</sup> Ed., DUNOD technique, Paris, 996- 1006p

**RODIER J, BAZIN C, BROUTIN J.P, CHAMBON P, CHAMPSEUR H., et RODI L. (2005).** L'Analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eau résiduaires, Eaux de mer. 8<sup>ème</sup> Ed., DUNOD, Paris ,784p.

**RODIER J, LEGUBE N., et MERLET N. (2009).** L'Analyse de l'eau. 9<sup>ème</sup> Ed., DUNOD, paris ,689p.

**RODIER J. (1997).** L'Analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer). 8<sup>ème</sup> ed .DUNOD, Paris, 687p

## S

**SANTE CANADA. (1995).** La turbidité. Document de support aux recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, 19 p.

**SIDIBE M. (1992).** Etude de quelques aspects physico-chimiques de La pollution du fleuve Niger Bamako et à Koulikoro. Thèse de Doctorat de pharmacie, ENMP, Bamako, 105p

## T

**TEJOCATE-PENEZ M, BALDERAS-HEMANDEZ P, CEBARERA A, ROAMORALES G., et REYNAVA R. (2010).** Treatment of industrial effluent by a continuous system: Electrocoagulation-activated sludge. *Bioresource Technology*, **101**, 7761-7766.

**TIZGHADAM GHAZANI M. (2007).** Etude des performances et optimisation d'un réacteur cascade a biomasse hybride pour le traitement des eaux usées urbaines. Thèse de Doctorat, Université de Limoges, France, 15-16p

## U

**US EPA. (1999).** Guidance manual for compliance with the interim enhanced surface Water treatment rule: Turbidity Provisions. *United States Environmental Protection Agency EPA*, **815**, 99-100.

## V

**VAILLANT J.R. (1974).** Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires: eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. *Ed. Eyrolles*. Paris, 413p

**VALIRON- J F., et MONGELLAZ S. (1991).** Manuel d'assainissement spécifique pour les pays à faible revenu Techniques vivantes Agence de Coopération Culturelle et Technique. *European Journal of Scientific Research (EJSR)*, **92**, 9028 p.

**VILAGINES R. (2003).** Eau, Environnement et Santé Publique. Introduction à l'hydrologie. 2<sup>ème</sup> Ed., *Edition Tec&Doc*, 198p.

**VON SPERLINGM. (2007).** Wastewater characteristics, treatment and disposal. *IWA Publishing*, 1227-1229.

**VON DER GAST C.J. (2006).** Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes. Thèse de Doctorat d'obtention du diplôme d'études spécialisées en gestion de l'environnement. Université Libre de Bruxelles, 98p.

## X

**XANTHOULIS D. (1993).** Valorisation agronomique des eaux usées des industries agro-alimentaires. *Tribune de l'eau*, 563/3. Ed., *CEBEDOC*, 27-32p.

## Z

**ZONGO I. (2009).** Etude expérimental et théorique du procédé d'électrocoagulation: application au traitement de deux effluents textile et d'un effluent simulé de tannerie. Thèse en cotutelle. Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement de Qualité de Ouagadougou, 67 -94p.

**Annexes**

## 1-Dénombrement d'une flore d'un produit microbien

### + Inoculation du milieu gélosé :

- Dans la masse :  $V_{\text{inoculum}} = 1 \text{ mL}$ . Cet inoculum est introduit dans une boîte de Pétri vide et stérile, recouvert du milieu gélosé en surfusion que l'on laisse durcir après parfaite homogénéisation. On peut ensuite recouvrir le milieu d'une couche de milieu stérile (double couche) pour limiter l'envahissement des colonies en surface et avoir des colonies présentant toutes le même aspect.
- En surface :  $V_{\text{inoculum}} = 0,1 \text{ mL}$ , à étaler à la surface d'un milieu gélosé préalablement coulé en boîte de Pétri.

### + Incubation à la température adaptée à la flore recherchée pendant 18 à 72 heures.

### + Dénombrement des colonies:

- En surface: elles ont un aspect macroscopique classique et caractéristique..
- En profondeur: elles ont un aspect lenticulaire.

### + Exploitation des résultats

Elle peut être effectuée selon la norme ISO 7218 (manipulation réalisée en ensemençant deux boîtes par dilution). Elle peut être effectuée selon la norme ISO 7218 modifiée en octobre 2007, qui officialise l'utilisation d'une seule boîte par dilution.

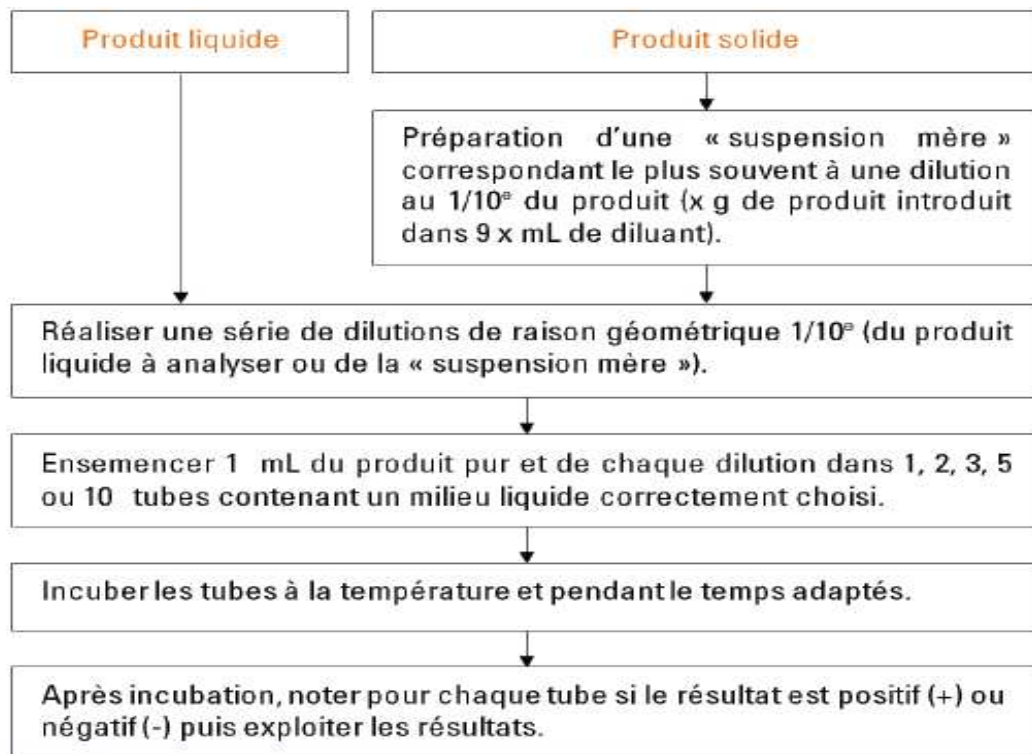
- choix des essais : choisir deux dilutions successives dont :
  - ❖ L'une au moins présente un minimum de dix colonies, le « nombre maximal de colonies en totalité est de trois cents par boîte ». En présence d'un agent de différenciation, le « nombre maximal de colonies caractéristiques ou présumées est de cent cinquante par boîte »,
  - ❖ Pour les levures et les moisissures, on retient pour le calcul les dilutions présentant entre dix et cent cinquante colonies par boîte.
- Calcul de la concentration bactérienne N en UFC par mL ou par g de produit.

### Formule Normalisé AFNOR

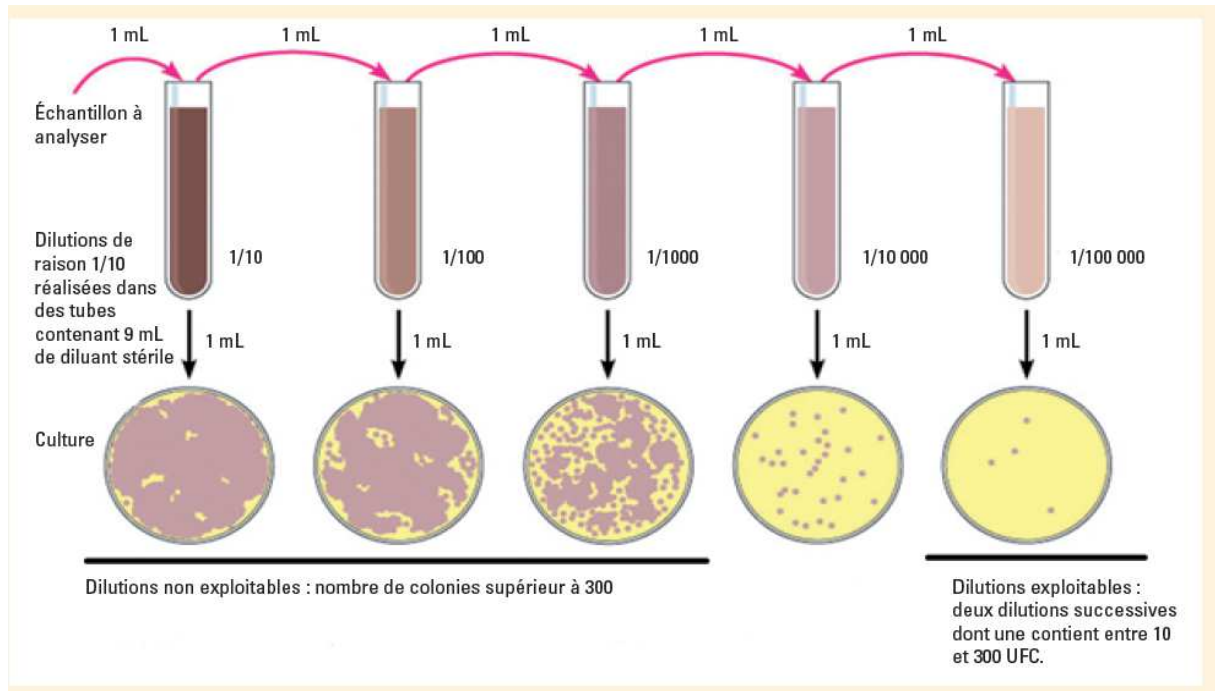
$$N = \frac{\Sigma C}{(V * 1.1 * d)}$$

$\Sigma C$	Somme de colonies comptées sur les deux boites retenues
$V$	Volume de l'inoculum (1mL dans la masse /0.1mL en surface)
	Dilution correspondant à la première boite retenue, avec l'inoculum le moins dilué.

### 2-Organigramme d'un dénombrement en milieu liquide ou solide



### 3-Dénombrement en milieu solide (masse, surface) (ISO 7218 modifiée)



### 4-Mise en place du nombre caractéristique

Dilutions et aspect des tubes après incubation (lecture d'un trouble associé à la production de gaz collecté dans une cloche).	Résultats (trois essais par dilution)				
	$10^{-n}$	$10^{-(n+1)}$	$10^{-(n+2)}$	$10^{-(n+3)}$	$10^{-(n+4)}$
Résultats	+ + +	+ + +	+ + -	+ - -	- - -
Nombre de tubes +	3	3	2	1	0
Combinaison possible	3	3	2		
Combinaison possible		3	2	1	
Combinaison possible			2	1	0

Table de MAC-GRADY (FRANCK, 2010)

Deux tubes par dilution		Trois tubes par dilution					
Nombre caractéristique	NPP	Nombre caractéristique	NPP	Nombre caractéristique	NPP	Nombre caractéristique	NPP
000	0,0	000	0,0	201	1,4	302	6,5
001	0,5	001	0,3	202	2,0	310	4,5
010	0,5	010	0,3	210	1,5	311	7,5
011	0,9	011	0,6	211	2,0	312	11,5
020	0,9	020	0,6	212	3,0	313	16,0
100	0,6	100	0,4	220	2,0	320	9,5
101	1,2	101	0,7	221	3,0	321	15,0
110	1,3	102	1,1	222	3,5	322	20,0
111	2,0	110	0,7	223	4,0	323	30,0
120	2,0	111	1,1	230	3,0	330	25,0
121	3,0	120	1,1	231	3,5	331	45,0
200	2,5	121	1,5	232	4,0	332	110,0
201	5,0	130	1,6	300	2,5	333	140,0
210	6,0	200	0,9	301	4,0		
211	13,0						
212	20,0						
220	25,0						
221	70,0						
222	110,0						

**Dose minimales infectantes (DMI) moyenne des agents pathogènes présents dans les  
eaux usées (CAUCHI et al, 1996)**

Micro-organismes	DMI
<b>Bactéries</b>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>6</sup> /ml
<b>Helminthes</b>	1-10/l
<b>Protozoaires</b>	10-10 <sup>2</sup> /ml

### 5- Composition des milieux de culture utilisés

 **Milieu PCA (gélose pour dénombrement)**

- Tryptone .....5,0g
  - Extrait autolytique de levure .....2,5g
  - Glucose .....1,0g
  - Agar agar bactériologique .....12,0g
- pH à 25° C : 7,0 ± 0,2.

 **GN**

Pour 1 litre de milieu :

- - Tryptone..... 5,0 g
  - - Extrait de viande ..... 3,0 g
  - - Agar agar bactériologique..... 12,0 g
- pH du milieu prêt à l'emploi à 25°C : 7,0 ± 0,2.

 **Milieu BCPL**

- Peptone pancréatique de gélatine      5,0g
- Extrait de viande .....3,0g
- Lactose .....5,0g

pH du milieu prêt à l'emploi à 25° C : 6,9 ± 0,2.

### Milieu Schubert

Pour 1 litre de milieu :

- Peptone pancréatique de gélatine ..... 5,0 g
- Extrait de viande ..... 3,0 g
- Lactose ..... 5,0 g

pH du milieu prêt à l'emploi à 25°C :  $6,9 \pm 0,2$ .

### Réactif de Kovacs

- Paradiméthylaminobenzaldehyde .....5,0g
- Alcool iso-amylique .....75,0mL
- Acide chlorhydrique .....25,0ml

### Milieu Rothe

- Peptone .....20,0g
- Glucose .....5,0g
- Azide .....0,2g
- NaCl .....5,0g
- Hydrogénophosphate de potassium .....2,7g
- Dihydrogénophosphate de potassium .....2,7g

pH =  $6,8 \pm 0,1$

### Milieu Litsky

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

pH=  $6,8 \pm 0,1$

### Milieu viande foie

- Base viande -foie .....30,0g
- Glucose .....2,0g
- Amidon .....2,0g
- Agar .....11,0g

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

### Sulfite de sodium à 10 %

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

### ✚ Alun de Fer à 5%

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

### ✚ Bouillon SFB

- Peptone trypsique de caséine .....8g
- Lactose .....8g
- Phosphate disodique .....20g
- Sélinité acide de sodium .....10g
- Eau distillée .....1000mL

Ajuster le pH à 6-8,7 puis autoclaver à 121° C pendant 15 min.

### ✚ Gélose SS

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

pH = 7,3±0,1.

### ✚ Bouillon GC

- Tryptone .....10,0g
- Extrait de viande .....5,0g
- Extrait autolytique de levure .....5,0g
- Glycine .....1,2g
- Mannitol .....20,0g
- Pyruvate de sodium .....3,0g
- Chlorure de sodium .....5,0g
- Chlorure de lithium .....5,0g

pH du milieu prêt à l'emploi à 25 °C 6,9 ±0,2.

### ✚ Milieu Chapman

- Tryptone .....5,0g
- Extrait de levure .....3,0g
- Peptone pepsique de viande .....5,0g
- Extrait de viande.....1,0g
- Mannitol .....10,0g

- Chlorure de sodium .....75,0g
- Rouge de phénol .....25,0mg
- Agar agar bactériologique .....15,0g

pH à 25° C : 7,4 ± 0,1.

#### **Bouillon BHIB**

- Extrait cœur-cervelle .....17,5g
- Peptone pancréatique de gélatine.....10,0g
- Chlorure de sodium.....5,0g
- Phosphate disodique .....2,5g
- Glucose .....2,0g

#### **Milieu King A**

- Peptone dite .....20,0g
  - Glycérol .....10,0g
  - sulfate de potassium.....10,0g
  - chlorure de magnésium.....1,4g
  - Agar agar purifié.....12,0g
- pH = 7.2±1

#### **Boillon EPA**

- Peptone .....20g
  - Chlorure de sodium .....0, 30, 60 ou 100g
  - Eau distillée ..... 1L
- pH après stérilisation: 8,6 ±0,1

#### **Milieu GNAB**

- Bacto Peptone.....10g
- Extrait de viande .....3g
- Chlorure de sodium .....5g

Ajuster le pH à 9. Autoclaver à 121°C pendant 15mn.

### ➤ **Coloration de Gram**

Matériels: lames, colorants, évier et bac en verre.

#### **Mode opératoire:**

- Réaliser un frottis ou un étalement
- Fixer la préparation à la flamme (normalement on fixe avec de l'alcool et on flambe), sécher soigneusement puis laisser refroidir la lame.
- Immerger les lames dans la solution de Cristal violet pendant 1mn.
- Lavage à l'eau en transvasant les lames
- Immerger les lames dans du Lugol en les agitant

- Laver à nouveau à l'eau
- Décolorer jusqu'à disparition de la couleur violette dans l'alcool à 95° en faisant couler goutte à goutte sur la lame inclinée ou en immergeant les lames pendant une dizaine de secondes (max=30secondes) dans le décolorant.
- Laver à l'eau.
- Contre colorer avec la solution de safranine(ou la fuchsine)diluée pendant 20 à 30 secondes.
- Laver à l'eau et sécher à l'air.
- Observer à l'objectif X100, en immersion avec de l'huile.

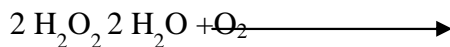
### Résultats:

Les bactéries Gram + sont colorées en **violet foncé**, et bactéries Gram<sup>-</sup> sont colorées en **rose**.

### ➤ Test de la catalase

#### Le principe

**Cette enzyme est produite en abondance par les bactéries à métabolisme respiratoire** qui peuvent détruire les peroxydes. La catalase est une enzyme qui catalyse :



La plupart des micro-organismes aérobies possèdent une catalase, en particulier les bacilles Gram négatifs aérobies. Son absence est donc un critère d'identification intéressant. Par exemple, parmi les coques Gram + aérobies, seuls les *Streptococcaceae* sont catalase négative.

Le rôle des peroxydases ou des catalases contenues dans les peptones ou dans certains additifs (sang, etc.) des milieux est déterminant pour permettre le développement aérobie des bactéries catalase négative comme les *Streptococcaceae*.

#### Technique

- Sur une lame propre et sèche déposer une goutte d'eau oxygénée à 10 volumes.
- A l'aide d'une pipette Pasteur boutonnée, ajouter l'inoculum bactérien.
- Observer immédiatement.
- Au contact d'une colonie isolée ou sur la pente d'une culture en gélose, déposer une goutte d'eau oxygénée
- Observer immédiatement.

## Lecture

- Apparition de bulles, dégagement gazeux de dioxygène :Catalase+
- Pas de bulles :Catalase -



**Apparition de bulles : Catalase +**

### Causes d'erreurs :

- Réalisation du test sur un milieu contenant la catalase.

Exemple : réalisation du test à partir de colonies prélevées sur gélose au sang  
(l'hémoglobine possède une activité catalasique pouvant donc donner des résultats faussement positifs)

- Quantité de bactéries insuffisante.
- Eau oxygénée périmée : en cas de doute, la tester avec une souche catalase.





## Les méthodes d'analyses physico-chimiques et bactériologies

### ❖ Les méthodes d'analyse physico-chimiques

#### ➤ Détermination de pH et de la température

**Méthode** : électrométrie (utilisation d'un ph mètre)

- 1-préparer le pH-mètre.
- 2-Etalonner l'appareil.
- 3-Verser une quantité d'échantillon dans le bécher.
- 4-Allumer le pH-mètre.
- 5-Plonger la sonde de température et l'électrode dans l'échantillon.
- 6-attendre jusqu'à ce que la mesure se stabilise et faire la lecture.

#### ➤ Détermination de la conductivité

- 1-Préparer le conductimètre.
- 2-Etalonner l'appareil.
- 3-Verser une quantité d'échantillon dans le bécher.
- 4-Plonger la sonde de l'appareil dans l'échantillon.

#### ➤ Détermination de la turbidité

**Méthode** : Spectrophotométrie

- 1-Prélever 500ml d'échantillon à analyser et homogénéiser.
- 2-préparer le spectrophotomètre
- 3-Entrer le numéro du programme "750" et régler la longueur d'onde à "450".
- 4-Remplir un flacon colorimétrique avec 25 ml d'échantillon à analyser.
- 5-préparer le blanc en remplissant un autre flacon colorimétrique de 25 ml d'eau distillée.
- 6-Placer le blanc dans le puits de mesure, fermer le capot.
- 7-Presser "zéro", l'affichage indique "0 FTU".
- 8-Agiter le flacon d'échantillon.
- 9-Placer l'échantillon dans la puits de mesure et fermer le capot"
- 10-Presser la touche "Read Enter", l'affichage indique le résultat en "FTU".

#### ➤ Détermination des matières en suspension (MES)

**Méthode** : filtration sous vide.

- 1-Laver un disque de Papier Wattman GF=92de fibre de verre à l'eau distillée, le sécher à l'étuve à 105° C pendant 01 heure puis refroidir dans un dessiccateur.
- 2-Peser le fibre vide P<sub>0</sub>.

- 3-Placer le fibre sur un dispositif de filtration.
- 4-Verser une quantité connue de l'échantillon à analyser.
- 5-mettre le dispositif en marche (démarrer la pompe)
- 6-Après filtration, mettre le papier filtre dans une coupelle en aluminium.
- 7-Sécher à l'étuve à 105° C jusqu'à obtention d'un filtre sec.
- 8-Mettre à refroidir dans le dessiccateur puis peser le poids du filtre P<sub>1</sub>.

La concentration en matière sèche est obtenue selon la formule:

$$\text{MES} = (P_1 - P_0) * 1000 / V$$

**V** : Le volume en ml d'échantillon utilisé.

**P<sub>0</sub>** : La masse en mg du disque filtrant avant utilisation.

**P<sub>1</sub>** : La masse en mg du disque filtrant après utilisation.

## Résumé

Les eaux usées représentent l'une des principales voies d'entrée des contaminants organiques et inorganiques dans l'environnement en raison de leur composition complexe et les exigences spécifiques pour leur traitement. Par ailleurs, l'emploi du courant électrique dans les procédés de traitement des eaux usées bénéficie, actuellement, d'une attention particulière de la part des acteurs du secteur de l'eau. Dans cette étude, nous nous sommes proposés d'étudier, *in vitro*, l'effet du courant électrique sur les performances des microorganismes présents dans les boues activées recueillies au niveau du bassin d'aération de la station d'épuration Est de la ville de Tizi-Ouzou. Les essais conduits ont été réalisés en faisant varier deux paramètres : la distance entre les électrodes ( $d=2\text{cm}$ ,  $d=6\text{cm}$ ) et la densité du courant électrique ( $D=1,4\text{mA/cm}^2$ ,  $D=3,8\text{mA/cm}^2$ ,  $D=7\text{mA/cm}^2$ ).

Les résultats obtenus ont mis en évidence une amélioration significative du taux d'abattement des indicateurs de pollutions suivis que sont la turbidité et les matières en suspension, témoignant de l'efficacité de l'approche utilisée dans cette étude. S'agissant des résultats inhérents aux paramètres bactériologiques, il a été enregistré une chute significative du nombre de l'ensemble des germes recherchés.

**Mots clés :** boues activées, courant électrique, eaux usée, matières en suspension, turbidité.

## Abstract

Wastewater is one of the principal source of organic and inorganic contamination of the environment. It is because of its complex composition and its specific requirements for its treatment. On the other hand, application of electric current in wastewater treatment processes has become, nowadays, a phenomenon of increasing importance. In this work, we proposed to study, *in vitro*, the effect of the electric current on the performances of the microorganisms present in activated sludge obtained from the aeration basin of a wastewater treatment plant located in Tizi-Ouzou. The trials were carried out by varying two parameters: the distance between electrodes ( $d=2\text{cm}$ ,  $d=6\text{cm}$ ) and the density of the electric current ( $D=1.4\text{mA/cm}^2$ ,  $D=3.8\text{mA/cm}^2$ ,  $D=7\text{mA/cm}^2$ ).

The results obtained showed a significant improvement in the abatement rate of the two following parameters: turbidity and suspended matters, demonstrating the effectiveness of the approach used in this study. Regarding the results inherent to the bacteriological parameters, it was apparent that electric current affected the composition of the microbial flora of the activated sludge used. Indeed, it was observed that the number of the whole germs under consideration, significantly decreased as a result of electric current application.

**Key words:** activated sludge, electric current, suspended matters, turbidity and wastewater.