

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Université des Sciences et de la Technologie Abderrahmane MIRA**

*Faculté des Sciences technologiques*

*Mémoire du projet de fin de cycle*

Pour l'obtention du diplôme de

Master II en Génie des Procédés

**Option : Génie Chimique**

**THEME**

*Suivi et évaluation des performances de la station de  
traitement des eaux usées provenant de l'entreprise  
FRUITAL Coca-Cola*

**Encadré par** : M<sup>me</sup> P<sub>r</sub> SENHADJI

**Etudié par** : M<sup>elle</sup> OUAMAR Wissam & M<sup>elle</sup> ZIAR Racha

**Soutenu le** : 29 Septembre 2020.

**Devant Le jury composé de**

**Présidente** : M<sup>me</sup> HATTOU

**Examinatrice** : M<sup>me</sup> AMOURA

**Encadreur** : M<sup>me</sup> P<sub>r</sub> SENHADJI

**Promotion : 2019/2020**

# *Remerciements*

*Nous remercions tout d'abord Dieu le tout puissant, pour nous avoir donné la santé, la force, la patience, la volonté et l'intelligence et qui nous a permis d'exploiter les moyens nécessaires pour réaliser ce modeste travail.*

*L'homme propose mais Dieu dispose.*

*Nous tenons tout particulièrement à adresser nos plus vifs remerciements à notre promotrice Mme SENHADJI OUNISSA qui a fait preuve d'abnégation, de générosité et de disponibilité infaillible, ses précieux conseils, ses remarques pertinentes nous ont été d'un apport inestimable.*

*Nous tenons à remercier chaleureusement Mr ADEL.F & Mr HAMMANI.R qui nous ont aidé et dirigé avec une grande rigueur scientifique, leurs disponibilités et leurs précieux conseils.*

*Nous voudrions également remercier Mme HATTOU de nous avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury de ce modeste travail.*

*Nos remerciements vont aussi à Mme AMOURA pour nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail.*

*Enfin, nos remerciements s'adressent à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail ; soit par leur conseils et leurs connaissances scientifiques, soit par leurs présence dans les moments difficile.*

*Pour finir nous adressons nos remerciements à toute la promotion de GENIE  
CHIMIQUE.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à*

*Mes parents qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui*

*Mes frères et ma sœur*

*Toute ma famille*

*Tous mes amis*

*Mes oncles Djamel et Hamza BOUSBAA*

*Mon binôme Racha*

*Ma promotrice Mme SENHADJI Ounissa*

*Et tous ceux qui me connaissent*

*Wissam*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes chers parents pour leurs soutiens, leurs sacrifices et leurs  
présences, que dieu les protège pour moi.*

*A mes chers frères : Ahmed et Moha.*

*A gida Fatima, à toute la famille Ziar ; tous mes cousins et cousines  
que j'adore.*

*A tous mes oncles et mes tantes.*

*A toutes mes amies avec qui j'ai passé des Bon moments  
Agréables et inoubliables : Sara, Mounia, Ounissa, Dehia, Ouarda,  
Lilya, Salima, Kahina, Dida, Ouerdia, Asma, Narimane, Kaissa.*

*A mon binôme Wissam avec qui j'ai appris beaucoup de choses.*

*A tous (tes) mes amis (es) de la promotion génie chimique 2019/2020.*

*Et tous les êtres chers à mes yeux que je n'ai pas évoqués.*

***Racha***

<b>Figure II.1</b> :Schéma d'une chaine classique d'épuration d'une eau usée urbaines .....	16
<b>Figure II.2</b> : Schéma globale des techniques membranaires.....	18
<b>Figure III.1</b> : Schéma récapitulatif des réactions biochimiques de la digestion anaérobie .....	24
<b>Figure III.2</b> :Evolution de la production de biogaz (rendement) en fonction de la température .....	30
<b>Figure III.3</b> :Schéma d'un réacteur continuellement agité (CSTR) .....	36
<b>Figure III.4</b> :Réacteur contact avec recirculation des boues.....	37
<b>Figure III.5</b> : Schéma d'un réacteur type "piston" .....	37
<b>Figure III.6</b> : Schéma d'un réacteur de boues anaérobies à flux ascendant (UASB) .....	38
<b>Figure III.7</b> : Schéma d'un réacteur à lit fixé ou filtre anaérobie .....	38
<b>Figure III.8</b> :Schéma d'un réacteur à lit fluidisé.....	39
<b>Figure III.9</b> : Illustration graphique des procédés aérobie et anaérobie .....	40
<b>Figure IV.1</b> : Schéma représentatif de la STEP Fruitai/Tango .....	50
<b>Figure IV.2</b> : Schéma général du procédé de la STEP Fruitai/Tango.....	53
<b>Figure IV.3</b> : Photographie de dégrilleur grossier .....	54
<b>Figure IV.4</b> : Photographie du tamis à tambour rotatif.....	55
<b>Figure IV.5</b> : Photographie du réservoir de compensation .....	56
<b>Figure IV.6</b> : Schéma de la cuve acide soude .....	57
<b>Figure IV.7</b> : Schéma de la torchère « CALORIX™ ».....	58
<b>Figure IV.8</b> : Photographie du réservoir mélange.....	5
<b>Figure IV.9</b> : Réacteur UASB (a) Vue d'ensemble, (b) Vue schématique du fonctionnement du réacteur .....	60
<b>Figure IV.10</b> :Schéma explicatif de mode recirculation .....	62
<b>Figure IV.11</b> : Photographie du réservoir de post-aération.....	64
<b>Figure IV.12</b> : Variation de pH en fonction du temps .....	69
<b>Figure IV.13</b> : Variation de la température en fonction du temps .....	71
<b>Figure IV.14</b> : Variation de la DCO à l'entrée et la sortie de STEP en fonction du temps.....	72
<b>Figure IV.15</b> :Représentation la variation des pourcentages de la DCO en fonction du temps .....	74

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau I.1</b> : Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels.....	12
<b>Tableau III.1</b> : Composition moyenne du biogaz .....	27
<b>Tableau III.2</b> : Composés organiques et inorganiques pouvant inhiber les microorganismes de la digestion anaérobie .....	35
<b>Tableau III.3</b> : Comparaison des procédés de traitement aérobie et anaérobie.....	41
<b>Tableau IV.1</b> : Caractéristiques des eaux usées industrielles Fruitai.....	52
<b>Tableau IV.2</b> : Caractéristiques des eaux usées domestiques Fruitai .....	52
<b>Tableau IV.3</b> :Evolution du ph en fonction du temps.....	69
<b>Tableau IV.4</b> :Variation de la température en fonction du temps.....	70
<b>Tableau IV.5</b> : Variation de la DCO en fonction du temps .....	72
<b>Tableau IV.6</b> :La variation de l'efficacité d'élimination de la DCO en fonction du temps ...	74

## Unités

---

<b>atm</b>	: Atmosphère
<b>bar</b>	: Bar
<b>C</b>	: Degré
<b>cm</b>	: Centimètres
<b>g</b>	: Gramme
<b>h</b>	: Heure
<b>l</b>	: Litre
<b>m</b>	: Mètres
<b>m<sup>3</sup></b>	: Mètre cube
<b>mg</b>	: Milligrammes
<b>mm</b>	: Millimètres
<b>µm</b>	: Micromètres
<b>µSm</b>	: Micro-Siemens
<b>%</b>	: Pourcentage

## Liste des abréviations

---

<b>AGV</b>	: Acide gras volatil
<b>CE</b>	: Conductivité électrique
<b>COT</b>	: Carbone organique total
<b>CSTR</b>	: Continuos stirred- tank reactor
<b>DBO</b>	: Demande biochimique en oxygène
<b>DBO<sub>5</sub></b>	: Demande biologique en oxygène pendant 5 jours
<b>DCO</b>	: Demande chimique en oxygène
<b>ECCBC</b>	: Equatorial Coca-Cola Bottling Company
<b>ERI</b>	: Eau résiduaire industrielle
<b>FOG</b>	: Fats, oil and greace
<b>GES</b>	: Gaz à effet de serre
<b>GWE</b>	: Global Water and Energie
<b>IAA</b>	: Industrie agroalimentaire
<b>J C</b>	: jésus crée
<b>MES</b>	: Matière en suspension
<b>MMS</b>	: Matière minérale en suspension
<b>MVS</b>	: Matière volatile en suspension
<b>MS</b>	: Matières Sèches
<b>NEPCIP</b>	: Nettoyage en place, Clean in place
<b>PEHD</b>	: Polyéthylène haute densité
<b>PH</b>	: Potentiel d'hydrogène
<b>PRV</b>	: Plastique renforcé de fibre de verre
<b>STEP</b>	: Station d'épuration des eaux usées
<b>TRH</b>	: Le temps de rétention hydraulique
<b>UASB</b>	: Up flow Anaerobic Sludge Blanket
<b>UTEU</b>	: Usine de traitement des eaux usées

## Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

### Chapitre I Les eaux usées

I.1. Introduction.....	3
I.2. Nature et origine des eaux usées.....	3
I.2.1. Origine industrielle.....	3
a) Eaux de lavage des sols et des machines.....	4
b) Eaux des circuits de refroidissement.....	4
c) Effluents de fabrication ou de procédés.....	4
I.2.2. Origine domestique.....	4
I.2.3. Origine agricole.....	5
I.3. Caractéristiques des eaux usées.....	5
I.3.1. Caractéristiques organoleptiques.....	5
a) La couleur.....	5
b) Les odeurs.....	5
I.3.2. Les Caractéristiques physiques.....	6
a) La température.....	5
b) La turbidité.....	6
c) Les matières en suspension (MES).....	6
d) La conductivité électrique (CE).....	7
I.3.3. Les caractéristiques chimiques.....	7
a) Le potentiel d'hydrogène (pH).....	7
b) Oxygène dissous.....	7
c) La demande biochimique en oxygène (DBO).....	8
d) La demande chimique en oxygène (DCO).....	8
e) Carbone organique total (COT).....	8
f) La teneur en azote.....	9
c) La teneur en phosphore.....	10
I.3.4. Paramètres bactériologiques.....	10

## *Sommaire*

---

a) Les virus .....	10
b) Les bactéries .....	10
c) Les champignons .....	10
d) Les protozoaires.....	11
e) Les helminthes.....	11
I.4.Réglementation et norme des rejets .....	11
I.4.1.Normes internationales .....	12
I.4.2.Les Normes de rejets industriels (réglementation algérienne et européenne) .....	12
I.5. Conclusion .....	13

### **Chapitre II**

#### **Les procédés de traitement**

II.1.Introduction .....	14
II.2.Classification des procédés de traitement des eaux usées.....	14
II.2.1.Les traitements physiques .....	14
a) Le relevage .....	14
b) Le dégrillage .....	14
c) Le dessablage.....	15
d) Le dégraissage - déshuilage.....	15
e) La décantation .....	15
II.2.2.Les traitements physico-chimiques.....	16
a) Coagulation-floculation .....	17
b) L'adsorption .....	17
c) La filtration sur membrane .....	18
II.2.3.Les traitements biologiques .....	19
a) Traitement par boues activées .....	19
b) Traitement par lits bactériens .....	20
c) Le lagunage .....	20
II.3.Conclusion.....	21

### **Chapitre III**

#### **Traitement biologique**

III.1.Introduction .....	22
III.2.Le système aérobie .....	22
III.3.Le système anaérobie .....	23
III.3.1.Historique .....	23

## Sommaire

---

III.3.2.Définition .....	24
III.3.3.Les étapes de la digestion anaérobie .....	24
a) Hydrolyse .....	25
b) Acidogenèse .....	25
c) Acétogenèse.....	26
d) Méthanogenèse .....	26
III.3.4.Les produits de la digestion anaérobie .....	27
a) Biogaz.....	27
b) Digestat.....	28
III.3.5. Les paramètres influençant la digestion anaérobie.....	29
a) La Température .....	29
b) Le pH.....	30
c) L'inoculum .....	31
d) Rapport C/N.....	32
e) Configuration des réacteurs .....	32
III.3.6. Inhibiteurs de la digestion anaérobie.....	32
a) Hydrogène .....	32
b) L'azote ammoniacal .....	33
c) Acides gras volatils.....	33
d) Autre inhibiteurs .....	34
III.3.7.Technologie anaérobie .....	35
a) Les digesteurs à cultures libres .....	36
b) Les digesteurs à cultures fixées .....	37
III.4.Aérobie vs anaérobie .....	39
III.5.Le traitement biologique combine aérobie -anaérobie .....	41
III.6.Traitement des boues.....	42
III.6.1.Définition .....	43
III.6.2.Objectifs .....	43
III.6.3.Système de traitement des boues.....	43
a) L'épaississement .....	43
b) La déshydratation .....	44
c) Le séchage .....	44
d) La stabilisation.....	44
III.7Conclusion.....	46

## Chapitre IV

### Présentation et évaluation du traitement des rejets liquides d'industries de boisson

#### Tango et Fruitai

IV.1.Introduction .....	47
IV.2.Présentation de l'entreprise .....	47
IV.2.1.Histoire et formule de coca cola .....	47
IV.2.2.Usine de coca cola.....	48
IV.2.3.Coca cola et développement durable.....	49
IV.3.Présentation de la station d'épuration .....	50
IV.3.1.Description de la station.....	50

## *Sommaire*

---

IV.3.2. Localisation de la station.....	51
IV.3.3. Caractéristiques des rejets .....	51
a) Les eaux usées industrielles : .....	51
b) Les eaux usées domestiques : .....	51
IV.3.4. Principe de fonctionnement.....	53
IV.3.5. Description des installations .....	54
a) Dégrilleur grossier .....	54
b) Bassin de protection .....	54
c) Tamiseur .....	55
d) Réservoir d'homogénéisation/tampon (Réservoir de compensation).....	55
e) Echangeur calorifique influent-effluent .....	57
f) La torchère « CALORIX™ » .....	57
g) Bassin de mélange .....	59
h) Le réacteur UASB .....	60
i) Réservoir de stockage des boues anaérobie.....	63
j) Réservoir Post-aération .....	63
k) Le bio-filtre ODORIX™ .....	64
l) Réservoir d'agent anti-moussant .....	65
IV.4. Appareils et méthodes .....	66
IV.4.1. Échantillonnage.....	66
a) Objectif : .....	66
b) Procédure .....	66
IV.4.2. Mesure de température.....	66
a) Objectif : .....	66
b) Mode opératoire : .....	67
IV.4.3. Mesure électro métrique du pH :.....	67
a) Principe.....	67
b) Appareillage : .....	67
c) Mode opératoire : .....	67
IV.4.4. Détermination de la DCO .....	68
a) Appareillage.....	68
b) Réactif.....	68
c) Mode opératoire.....	68
IV.5. Résultats et discussions.....	69
IV.5.1. Variation du pH en fonction du temps .....	69
IV.5.2. Variation de la température en fonction du temps .....	70
IV.5.3. La variation de la DCO : .....	71
IV.5.4. Évaluation de l'efficacité du traitement.....	73
Conclusion générale .....	75
<b>Références bibliographique</b>	

# **Introduction**

### **Introduction générale**

L'eau est indispensable à l'existence, au développement et à la vie de l'homme. De sa conception à la réalisation de ces activités comme l'industrie ou l'agriculture, l'eau a toujours hanté l'esprit des hommes. Elle est une ressource si vitale, qu'elle semble familiale, et sans elle l'homme disparaît. Mais, hélas, la plupart des activités humaines qui utilisent de l'eau produisent des eaux usées. Étant donné que la demande d'eau dans son ensemble augmente, la quantité d'eaux usées produites, et leur charge polluante globale, sont en augmentation constante dans le monde entier. Dans tous les pays, à l'exception des plus développés, la grande majorité des eaux usées sont directement rejetées dans l'environnement, sans traitement adéquat, ce qui a des effets néfastes sur la santé humaine, la productivité économique, la qualité des ressources d'eau douce, et les écosystèmes.

Face à l'augmentation de la génération quotidienne de grands volumes d'eaux usées, et la variance de la nature des polluants du processus industriel, de nombreuses industries reconnaissent que des pratiques respectueuses de l'environnement telles que la minimisation des déchets, la conservation énergétique et la protection des ressources en eau font partie d'une opération de production rentable et efficace.

L'industrie alimentaire et des boissons génèrent des eaux usées hautement biodégradables et peuvent être traitées favorablement grâce à des procédés anaérobies. Les rejets de l'industrie des boissons constituent divers mélanges de produits chimiques provenant de la matière première et des rejets de rinçage ou de nettoyage. Elles se composent principalement de sucre, d'amidon, d'éthanol, d'acides gras, et de sels minéraux. Le niveau de pH peut varier considérablement d'une zone acide à une zone alcaline

C'est dans ce cadre que ce travail s'inscrit et nous nous sommes intéressées à un cas précis et particulier, qui est le traitement des eaux usées industrielles de deux entreprises localisées à Alger, et qui sont Fruitall et Tango qui produisent les boissons : gazeuse Coca cola et bière, respectivement. Les effluents liquides de ces deux entreprises sont traitées conjointement, par une unité de traitement des eaux usées, basée sur un procédé biologique du type anaérobie en utilisant un méthaniseur à lit expansé de boues granulaires anaérobies (UASB) ANUBIX™ précédé.

Le présent manuscrit est divisé en 4 chapitres :

- ❖ **Le Chapitre 1** : vise à apporter une contribution aux connaissances des origines des eaux usées et en particulier les effluents industriels, ainsi que les différents paramètres les caractérisant ;
- ❖ **Le chapitre 2** : fait le point sur les différents procédés physiques, physico-chimiques et biologiques de traitement des eaux usées ;
- ❖ **Le chapitre 3** : constitue une synthèse bibliographique sur le principe de la digestion anaérobie, les paramètres influençant et les inhibiteurs de cette voie biologique de traitement des effluents ;
- ❖ **Le chapitre 4** : ce dernier est consacré en premier lieu à la description du procédé générale du traitement des eaux usées provenant de l'entreprise Fruitall coca-cola, et en deuxième lieu à la discussion des performances de ce procédé ;
- ❖ **Enfin**, nous terminons ce manuscrit par une conclusion générale qui englobe les résultats les plus significatifs de travail.

# Chapitre I

## **Chapitre I**

### **Les eaux usées**

#### **I.1. Introduction**

Les activités humaines domestiques, agricoles et industrielles produisent toutes sortes de déchets et de souillures qui sont transportés par voie liquide. Ils sont susceptibles d'engendrer différentes sortes de pollution et de nuisance dans le milieu récepteur. Cet ensemble d'eau rejetée et de déchets constitue ce qu'on appelle les eaux usées [1].

Ces déchets s'ils n'étaient pas traités seraient un danger ce risque serait d'autant plus grave que loin de stagner la consommation d'eau et donc le rejet des eaux usées progressent de jour en jour, comment empêcher un tel bouleversement [2].

Ces eaux altérées doivent être traitées avant d'être rejetées dans la nature et ainsi éviter toute pollution, pour ce faire elles sont acheminées jusqu'à une station d'épuration par des réseaux d'assainissement [3].

#### **I.2. Nature et origine des eaux usées**

Les eaux usées proviennent essentiellement des activités domestiques et industrielles ainsi que les eaux souterraines et des précipitations, leurs compositions et leurs quantités sont fonction des modes de vie.

L'eau usée, généralement grisâtre, vu sa composition qui renferme généralement des matières en suspension d'origine minérales ou organiques ; a des proportions variables, elles contiennent aussi une teneur significative de bactéries, d'oligo-éléments, des germes pathogènes qui sont à l'origine de diverses maladies à transmission hydrique [4].

##### **I.2.1. Origine industrielle**

Les eaux usées industrielles regroupent toutes les eaux qui sont en principe rejetées par l'usine dans le milieu extérieur, après avoir contribué à la fabrication, au nettoyage, au transport et au refroidissement de façon générale, elles se composent des [5] :

### **a) Effluents de fabrication ou de procédés**

La plupart des procédés conduisent à la fabrication ou à la transformation d'un produit à des rejets polluants qui proviennent du contact de l'eau avec les gaz, les liquides ou les solides. Ces rejets sont continus ou discontinus. L'industrie agroalimentaire (IAA) est une grosse consommatrice d'eau par exemple : de 1 L à 5 L d'effluent par litre de boisson type bière, lait, boissons gazeuses, vin).

### **b) Eaux des circuits de refroidissement**

Les eaux des circuits de refroidissement, abondantes et généralement non polluées, car non en contact avec les produits fabriqués, peuvent être recyclées. Elles sont souvent rejetées encore chaudes (30 à 50°C). Si elles ne sont pas à une température incompatible avec un traitement physique (risque de courants de convection dans les décanteurs) ou biologique, elles peuvent être utilisées pour diluer des rejets très concentrés avant le traitement.

### **c) Eaux de lavage des sols et des machines**

Contrairement aux autres rejets, le degré de pollution et le débit des eaux de lavage sont très variables et particulièrement importants à la fin de la semaine et des périodes de travail et au cours des nettoyages. Elles sont chargées de produits divers, matière première ou liqueurs de fabrication, hydrocarbures et huile de machines, produits détergents, produits bactéricides. Parfois, comme c'est souvent le cas dans l'industrie alimentaire, les lavages des appareils sont faits avec des solutions très acides ou très alcalines. Ce qui entraîne de fortes variations de pH. A noter par ailleurs, les caractères parfois occasionnels de ces rejets qui peuvent correspondre, par exemple, à des fuites accidentelles de produits durant leur manipulation ou leur stockage. Ce sont les plus dangereux et les moins maîtrisables.

## **I.2.2. Origine domestique**

Les effluents domestiques sont un mélange d'eaux contenant des déjections humaines : urines, fèces (eaux vannes) et eaux de toilette et de nettoyage des sols et des aliments (eaux ménagères). Ces eaux sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales, ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension. Elles se composent essentiellement par des eaux vannes d'évacuation de toilette. Et des eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salles de bains [6] ...

### **I.2.3. Origine agricole**

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation) ou des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides...) [7].

### **I.3. Caractéristiques des eaux usées**

Dans le cas d'un effluent industriel, la caractérisation de ce dernier est importante notamment pour connaître les variations de charges, au cours de la journée, ou des différentes périodes de l'année. Différents critères permettent la description de l'effluent, ils sont définis ci-après :

#### **I.3.1. Caractéristiques Organoleptiques**

##### **a) La couleur**

Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'ondes courtes sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement [8]. La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration [9].

##### **b) Les odeurs**

Les odeurs proviennent généralement des substances volatiles. Un changement anormal ou une apparition d'une odeur sont la caractéristique d'une dégradation de la qualité qui est souvent le précurseur d'une pollution. Les paramètres d'odeurs disposent d'une référence de qualité pour les eaux d'alimentation et les eaux brutes. Les eaux usées industriels (ERI) se caractérisent par une odeur de moisi [5].

### **I.3.2. Les Caractéristiques physiques**

#### **a) La température**

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32°C par contre, elle est fortement diminuée pour des températures de 12 à 15°C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C [9].

#### **b) La turbidité**

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. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau [10].

#### **c) Les matières en suspension (MES)**

Elles représentent, la fraction constituée 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 :  $MES = 30\% MMS + 70\% MVS$

##### **➤ Les matières volatiles en suspension (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 les MES à 525°C donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau ;

##### **➤ Les matières minérales (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, les phosphates, etc.

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 ré-aération de l'eau. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matières organiques consommatrices d'oxygène [11].

### **d) La 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 s'exprime en micro Siemens par centimètre et elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en ohm par centimètre. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau. Sa mesure est utile car au-delà de la valeur limite de la salinité correspondant à une conductivité de 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la prolifération de microorganismes peut être réduite d'où une baisse du rendement épuratoire [8].

### **I.3.3. Les Caractéristiques chimiques**

#### **a) Le potentiel d'Hydrogène (pH)**

Les organismes sont très sensibles aux variations du pH, et un développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6 et 9.

L'influence du pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les ions des métaux dont il peut diminuer ou augmenter leur mobilité en solution biodisponible et donc leur toxicité. Le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien. La nitrification optimale ne se fait qu'à des valeurs de pH comprises entre 7,5 et 9[12].

#### **b) Oxygène dissous**

La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie, et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse. Une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène (torrent), alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée. En effet, la forte présence de matière organique, dans un plan d'eau par exemple, permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant de l'oxygène [12].

### **c) La demande biochimique en oxygène (DBO)**

C'est la consommation en oxygène (exprimée en mg/l) des micro-organismes présents dans le milieu en essai pour assimiler les substances organiques présentes dans ce même milieu. En général, la durée de l'essai est de cinq jours, d'où le nom de DBO5.

En fait, cette consommation en oxygène provient en général de deux réactions d'oxydation. D'une part, il se produit une oxydation lente par voie chimique des composés organiques ou minéraux réducteurs en présence de l'oxygène dissous ; d'autre part les micro-organismes présents dans le milieu consomment de l'oxygène pour métaboliser les matières organiques assimilables présentes.

La valeur de DBO5 permet d'évaluer la charge polluante d'un rejet d'eau usée, et par suite la charge de pollution évacuée par un établissement industriel ou une collectivité [13].

### **d) La demande chimique en oxygène (DCO)**

C'est une oxydation par voie chimique (exprimé en mg/l), les oxydants chimiques utilisés sont très divers tel que, le permanganate de potassium, bichromate de potassium...

L'utilisation de bichromates de potassium à chaud permet d'obtenir une oxydation presque totale des constituants de haute masse moléculaire ou structure complexe (seuls quelques composés cycliques ne sont pas oxydés) [14].

### **e) Carbone organique total (COT)**

Le carbone organique est constitué d'une grande diversité de composés organiques à plusieurs états d'oxydation, dont certains sont susceptibles d'être oxydés par des procédés chimiques ou biologiques. Ces fractions sont caractérisées par la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO).

Certaines matières organiques échappent à ces mesures ; dans ce cas, le dosage du COT est mieux adapté. Il est indépendant de l'état d'oxydation de la matière organique et ne mesure pas les éléments inorganiques tels que l'azote et l'hydrogène qui peuvent être pris en compte par la DCO et la DBO.

La détermination porte sur les composés organiques fixés ou volatils, naturels ou synthétiques, présents dans les eaux résiduaires (celluloses, sucres, huiles, etc.). Suivant que l'eau a été préalablement filtrée ou non, on obtiendra le carbone dissous (DCO) ou le carbone organique total (COT). Cette mesure permet de faciliter l'estimation de la demande en oxygène liée aux rejets, et d'établir éventuellement une corrélation avec la DBO et la DCO [15].

### **f) La teneur en azote :**

Dans les eaux usées, l'azote est sous forme organique et ammoniacale, on le dose par mesure du N-NTK (Azote Totale Kjeldahl) et la mesure du N-NH<sub>4</sub>.

Azote Kjeldahl = Azote ammoniacal + Azote organique [16].

L'azote organique, composant majeur des protéines, est recyclé en continu par les plantes et les animaux.

L'azote ammoniacal est présent sous deux formes en solution, l'ammoniac NH<sub>3</sub> et l'ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, dont les proportions relatives dépendent du pH et de la température.

L'ammonium est souvent dominant ; c'est pourquoi, ce terme est employé pour désigner l'azote ammoniacal ; en milieu oxydant, l'ammonium se transforme en nitrites puis en nitrates ; ce qui induit une consommation d'oxygène [15].

#### ➤ **Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) :**

Les ions nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et les ions nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène, est la nitrification.

Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates, appelée dénitrification. Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. La toxicité augmente avec la température [17].

#### ➤ **Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) :**

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitrifiantes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates.

Les nitrates ne sont pas toxiques ; mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel danger reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrates [17].

### **g) La teneur en phosphore :**

Le phosphore ( $P_T$ ) est présent dans l'effluent sous forme de sels minéraux et sous forme organique d'origine industrielle ou biologique. Ces différents composés se trouvent soit à l'état dissous dans la phase liquide, soit fixés sur les matières en suspension et colloïdes. La connaissance de la quantité de phosphore contenue dans les eaux résiduaires permet de vérifier si ce composé ne fait pas défaut pour envisager un traitement biologique. Alors que le traitement de la pollution azotée repose sur des processus biologiques le traitement de la pollution phosphorée s'appuie sur des processus de précipitation chimique [18].

### **I.3.4. Paramètres Bactériologiques**

#### **a) Les virus**

Les virus sont des parasites intracellulaires obligatoires qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées restent difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel.

Aulicino et al. (1996), ont constaté que, au cours de processus de traitement des eaux usées, les virus sont plus difficiles à éliminer que les bactéries classiques couramment utilisées comme indicateurs de la qualité bactériologique des eaux [19].

#### **b) Les bactéries**

Les bactéries sont les microorganismes les plus communément rencontrés dans les eaux usées. Parmi les plus détectées sont retrouvées, les Salmonelles, dont celles responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux.

#### **c) Les champignons**

Les champignons constituent un groupe d'organismes extrêmement vaste (de l'ordre d'1.5 millions d'espèces dont 69000 identifiées) et très diversifié. On les rencontre dans de multiples habitats terrestres ou aquatiques. La majorité de ces microorganismes sont

saprophytes, d'autres au contraire sont parasites de l'homme, des animaux et des plantes. Dotés de propriétés lytiques importantes, qui en font des agents de dégradation dangereux mais parfois des alliés utiles (production d'enzymes), les champignons jouent un rôle important dans l'équilibre biologique.

### **d) Les protozoaires**

Au cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme de résistance, les kystes, qui peuvent être véhiculés par les eaux résiduaires

Ces parasites sont très persistants. Ainsi, selon les conditions du milieu, ces organismes peuvent survivre plusieurs semaines voire même plusieurs années (Campos, 2008). Plusieurs protozoaires pathogènes ont été identifiés dans les eaux usées.

### **e) Les helminthes**

Les helminthes sont des parasites intestinaux, fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Beaucoup de ces helminthes ont des cycles de vie complexes comprenant un passage obligé par un hôte intermédiaire. Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs. Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires. En effet, la persistance de ces organismes à différentes conditions environnementales ainsi que leur résistance à la désinfection permettent leur reproduction, ce qui constitue leur risque potentiel. Les helminthes pathogènes rencontrés dans les eaux usées sont : *Ascaris lumbricades*, *Oxyurisvermicularis*, *Trichuristrichuria*, *Taeniasaginata*.

## **I.4. Réglementation et Norme des rejets**

Les effluents peuvent être rejetés soit directement dans le milieu naturel soit dans des égouts urbains aboutissant à des stations biologiques dont ils ne doivent pas perturber le fonctionnement. Si l'usage courant implique des limitations de concentrations dans l'effluent, l'imposition de quantités rejetées maximales par jour ou par unité de produit élaboré devient plus fréquente. On considère aussi des moyennes mensuelles et des maximums journaliers. De toute façon, les normes doivent tenir compte des sensibilités des méthodes de dosage et des possibilités techniques de traitement [21].

#### **I.4.1. Normes internationales**

La norme ISO 14001 de « Système de management environnemental » est une norme de management internationale, issue d'une transposition des normes d'assurance qualité ISO 9000 à la gestion de l'environnement industriel. La norme se présente comme un outil de management de l'environnement, et le texte sous-entend un lien de cause à effet entre le respect des règles proposées et une plus grande efficacité de la gestion de l'environnement [20].

#### **I.4.2. Les Normes de rejets industriels (réglementation algérienne et européenne)**

Toutes les installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent être conçues, construites et exploitées de manière à ce que leurs rejets d'effluents liquides industriels ne dépassent pas à la sortie de l'installation les valeurs limites des rejets définies en annexe du présent décret et doivent être dotées d'un dispositif de traitement approprié de manière à limiter la charge de pollution rejetée (Article. 4)[21].

*Tableau I.1 : Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels*

<b>N°</b>	<b>Paramètres</b>	<b>Unité</b>	<b>Valeurs limites</b>	<b>Tolérance de valeurs limites anciennes installations</b>
<b>1</b>	Température	°C	30	30
<b>2</b>	Ph	-	6.5-8.5	6.5-8.5
<b>3</b>	MES	Mg/l	35	40
<b>5</b>	Azote Kjeldahl	"	30	40
<b>6</b>	Phosphore total	"	10	15
<b>7</b>	DCO	"	120	130
<b>8</b>	DBO <sub>5</sub>	"	35	40
<b>9</b>	Huiles et graisses " 20 30	"	20	30
<b>10</b>	Composés organiques chlorés	"	5	7

Au titre de l'autocontrôle et de l'autosurveillance les exploitants d'installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent tenir un registre où sont consignés

la date et les résultats des analyses qu'ils effectuent selon des modalités fixées par arrêté du ministre chargé de l'environnement et, le cas échéant, du ministre chargé du secteur concerné. Les mesures sont effectuées sous la responsabilité de l'exploitant et à ses frais dans les conditions fixées par la réglementation en vigueur (Article 6) [21].

### **I.5. Conclusion**

Les eaux usées sont caractérisées en fonction de leur composition physique, chimique et biologique. Les caractéristiques des eaux usées varient considérablement d'une industrie à l'autre. Par conséquent, les caractéristiques particulières détermineront les techniques de traitement à utiliser pour répondre aux exigences en matière de rejets ou de conformité.

Selon le niveau de polluants et les réglementations locales, un traitement physique, chimique et/ou biologique est utilisé. La plupart du temps, les trois traitements sont combinés ensemble pour obtenir la meilleure qualité d'eau, en 2<sup>ème</sup> chapitre on définira ces traitements.

# Chapitre II

## **Chapitre II**

### **Les procédés de traitement**

#### **II.1. Introduction**

Des procédés appelés traitement des eaux usées sont utilisés de façon à obtenir un taux d'épuration et d'élimination performantes des substances nocives. Le traitement peut s'effectuer par divers procédés en se basant sur des phénomènes physiques, chimiques, et biologiques [14].

#### **II.2. Classification des procédés de traitement des eaux usées**

Généralement, ces traitements sont regroupés en trois catégories [18] :

- ❖ Les traitements physiques.
- ❖ Les traitements physico-chimiques.
- ❖ Les traitements biologiques.

##### **II.2.1. Les traitements physiques**

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations uniquement physiques ou mécaniques. Ce type de prétraitement est destiné aux eaux usées domestiques et industrielles, et parmi ses plus importantes étapes on cite [18].

###### **a) Le relevage**

Le relevage est nécessaire avant tout prétraitement pour assurer un passage gravitaire de l'eau dans les différents ouvrages de traitement, le niveau d'entrée des eaux à épurer étant plus bas que le niveau de sortie du clarificateur des eaux épurées avant rejet dans le milieu naturel. On utilise alors un système de relevage assuré par des pompes à roues multicanales fermées ou par vis d'Archimède [6].

###### **b) Le dégrillage**

Le dégrillage consiste à retenir les corps flottants et les déchets solides volumineux susceptibles d'endommager les équipements ou d'obstruer le fonctionnement des procédés

situés en aval, tout cela s'effectue lors du passage de l'effluent à traiter à travers une grille [18].

### **c) Le dessablage**

Dans un bassin appelé dessableur, les matières lourdes comme le sable se déposent au fond ; Le dessablage consiste en l'élimination des graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines présents dans l'effluent brut, pour éviter leur dépôt dans les canalisations induisant leur bouchage et permet de réduire la production des boues et d'éviter de perturber les autres étapes de traitement, en particulier, le réacteur biologique [5].

### **d) Le dégraissage - déshuilage**

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent à séparer des produits de densité légèrement inférieure à l'eau, par effet de flottation, naturelle ou assistée. En utilisant souvent une aération sous forme de bulles d'air qui augmentent la vitesse de montée des particules grasses dont la récupération s'effectue dans une zone de tranquillisation. Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement [18].

### **e) La décantation**

Son principe est basé sur la différence de densité. Lors de son passage d'une manière continue, très lentement, l'eau usée abandonne ses matières en suspension et colloïdes. Les décanteurs sont précédés d'un tranquillisateur en vue d'atténuer les tourbillons à l'entrée du bassin de décantation.

On distingue deux types de décantations :

#### **➤ Décantation statique**

Le principe de la décantation statique consiste à laisser l'eau dans un bassin où elle séjourne au repos quelques heures, il faut que la vitesse ascensionnelle de l'eau soit inférieure à la vitesse de chute des particules, cette décantation dépend donc, de la densité et de la dimension des particules [22].

➤ **Décantation accélérée**

Les progrès de la technique de la décantation, ont conduit à améliorer la floculation par augmentation de la concentration du floc, ou par recirculation des boues, ce qui a pour effet d'accélérer la décantation. (La décantation statique est basée seulement sur l'effet de la gravité (une sédimentation), tandis que la décantation accélérée on ajoute des flocculants pour favoriser la formation des floccs)

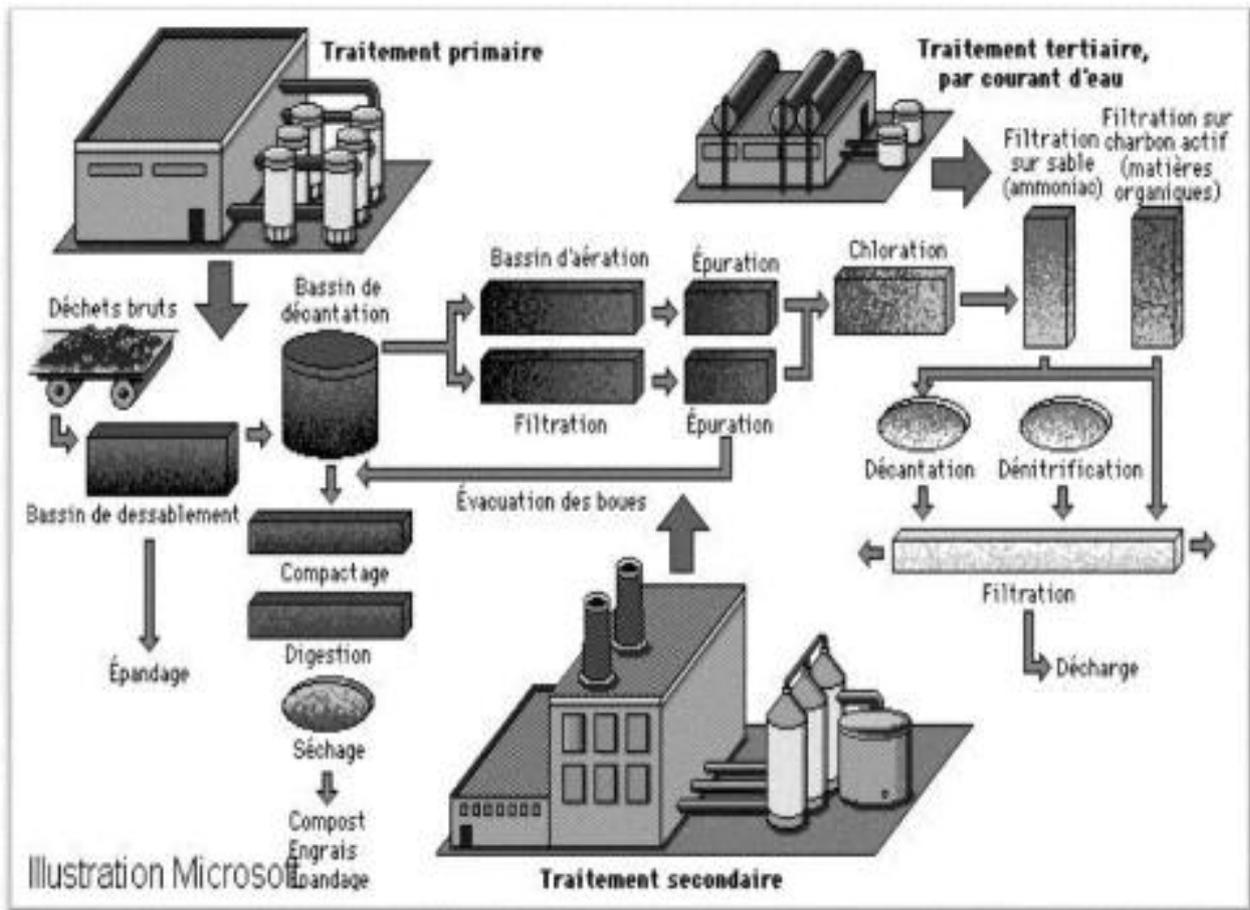


Figure II.1 : Schéma d'une chaîne classique d'épuration d'une eau usée urbaines

## II.2.2. Les traitements physico-chimiques

Les techniques de traitement physico-chimiques ont pour but l'élimination de tous germes pathogènes ainsi que les planctons, en outre cette opération empêche la prolifération des micro-organismes [23].

Ces traitements sont largement employés pour le traitement des eaux usées industrielles. Il s'agit entre autres de l'ajustement du pH, de la coagulation/floculation, de l'adsorption sur charbon actif et des techniques de filtration sur membrane.

### **a) Coagulation-floculation**

Le procédé de coagulation-floculation est un traitement primaire qui permet de débarrasser des eaux usées des impuretés qu'elle contient grâce à la réaction de coagulation. Il

Facilite l'éliminer des matières en suspension (MES) et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floes dont la séparation est ensuite effectuée par des systèmes de décantation, flottation et/ou filtration.

La coagulation a donc pour but principal la déstabilisation des fines particules en suspension pour ainsi faciliter leur agglomération. Généralement, elle est caractérisée par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques. Il implique le plus souvent la dispersion spontanée d'un ion métallique trivalent ( $Al^{3+}$  ou  $Fe^{3+}$ ) qui neutralise et déstabilise les particules colloïdales pour mener à la formation de floes. En neutralisant totalement ou partiellement les charges négatives sur ces particules, les interactions de Van Der Waal se retrouvent prédominantes, ce qui permet une agrégation des matières fines en suspension, puis leur floculation [24].

### **b) L'adsorption**

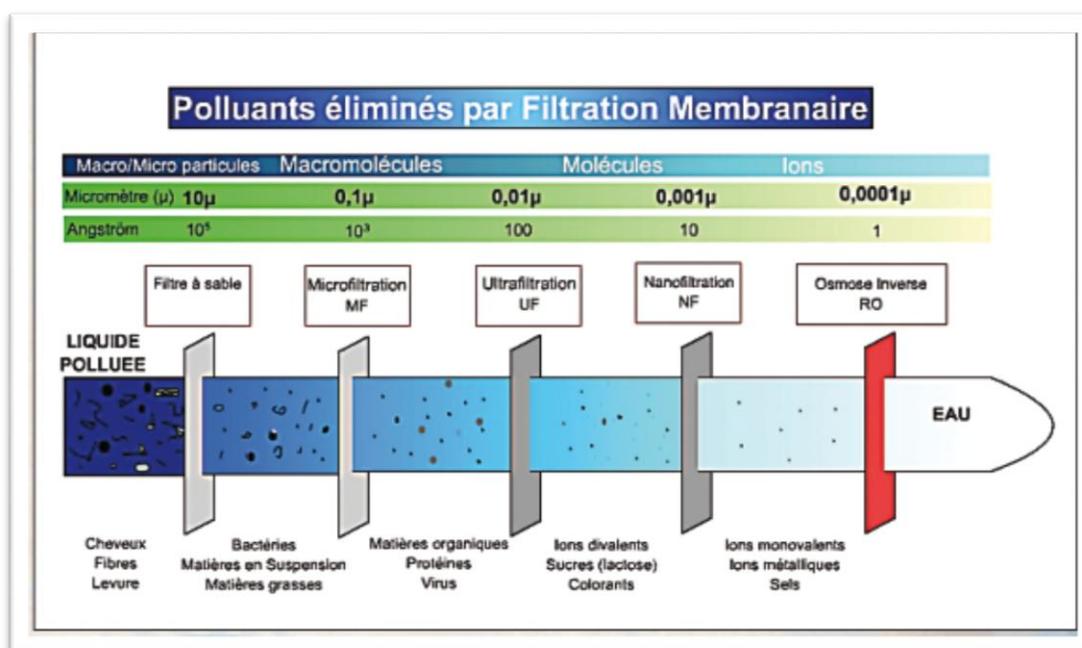
L'adsorption est le phénomène physique de fixation de molécules sur la surface d'un solide, elle trouve son origine dans les forces d'attraction intermoléculaires, de nature et d'intensité variées.

L'adsorption peut être défini comme étant le processus dans lequel une substance est éliminée par une autre de la phase gazeuse ou liquide, dans laquelle elle se trouve et est concentrée à l'interphase. Elle s'agit d'un phénomène de surface, est donc à distinguer de l'absorption, phénomène de profondeur. Le terme de surface, s'étend à la totalité de la surface externe géométrique et de la surface interne, engendré par les fissures, cavernes ou capillaires, d'un support solide.

Le charbon actif est l'un des adsorbants les plus puissants utilisé pour éliminer une large gamme de contaminants provenant des eaux usées industrielles. Le charbon actif est un matériau carboné poreux caractérisé par une très grande surface spécifique, capable d'adsorber les polluants dans les liquides et les gaz [25].

### c) La filtration sur membrane

Les membranes de filtration sont des membranes semi-perméables qui permettent la rétention de solutés ou de particules contenus dans un solvant. Les membranes sont habituellement composées d'une couche sélective assurant la séparation, associée à un support renforçant la résistance mécanique. Leurs performances, qui correspondent à celles de la couche sélective, sont caractérisées par leur perméabilité au solvant et leur sélectivité. Le type de membrane dépend de la taille des particules ou des ions qui doivent être éliminés.



*Figure II.2: Schéma global des techniques membranaires*

Le rang de la membrane à utiliser, illustré sur la figure II.2, va de la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration à l'osmose inverse.

Les membranes de microfiltration ont une taille de pore de 0,1-10  $\mu$ m, suffisante pour retenir toutes formes de bactéries, turbides, macromolécules, colloïdes, etc.... Elles sont utilisées pour la réduction de micro-organismes présents dans l'eau

A travers l'ultrafiltration, on sépare des particules ayant une taille de 0,001-0,1  $\mu\text{m}$ . Dans ces membranes sont retenus tous les virus, les macroprotéines, les antibiotiques, etc. Ils sont utilisés dans l'élimination de substances organiques nocives, dans l'élimination de trihalométhanes de l'eau.

Au moyen de la nanofiltration, des particules ayant une taille de 0,1 nm-0,001  $\mu\text{m}$  peuvent être retenues, ce qui permet de séparer de l'eau la majorité des molécules, même si celles ayant un bas poids moléculaire restent partiellement retenues dans la membrane. La nanofiltration est utilisée pour le ramollissement de l'eau, pour l'élimination en métaux lourds des eaux résiduaires, pour la dépollution des eaux résiduaires, comme prétraitement avant l'osmose inverse, pour l'élimination de nitrates, pour l'élimination de la couleur, etc.

Lorsque l'eau passe à travers une membrane par osmose inverse, le sel et les impuretés sont piégés par la membrane et seules les molécules d'eau peuvent la traverser, fournissant ainsi de l'eau douce. Le diamètre des pores des membranes d'osmose inverse est de l'ordre de 1 nanomètre [26].

### **II.2.3. Les traitements biologiques**

Les traitements biologiques assurent la réduction de la matière organique restant dans le flux liquide, le rôle le plus important dans ce type de traitement est assuré par les bactéries. Les micro-organismes, par leurs importantes activités biochimiques constituent des agents de synthèse ou de dégradation d'une activité pratiquement illimitée, ils sont capables de transformer un nombre de molécules organiques ou minérales grâce à leurs extrêmes richesses en enzymes, qui catalysent les réactions énergétiques nécessaire, d'une part à leur respiration (catabolisme), d'autre part à la synthèse de la matière vivante (anabolisme) par biodégradation du milieu [13].

Ce type de traitement fait appel à plusieurs techniques, dont on trouve :

#### **a) Traitement par boues activées**

Après un prétraitement éventuel et une décantation, l'effluent s'écoule dans une cuve d'oxydationensemencée au besoin avec une flore adaptée on réalise une oxydation ménagée du milieu par insufflation d'air il en résulte la formation de particules floconneuses (floc) appelées « boues activées ». Ces flocons sont constitués par des agrégats de matières organiques

et minérales et de divers micro-organismes (bactéries, algues, champignons, protozoaires, etc.) dans un premier temps les polluants solubles ou insolubles s'adsorbent sur le floc, puis ils sont ultérieurement utilisés par les micro-organismes.

Après une durée d'aération variable suivant le cas, les effluents séjournent dans un décanteur secondaire puis sont rejetés vers le milieu récepteur, une partie des boues décantées est recyclées en tête des cuves d'aération, réalisant ainsi un ensemencement massif en micro-organismes adaptés, l'autre partie, constituant l'excédent de boues, est soutirée, puis soumise à une minéralisation soit dans un digesteur fonctionnant en anaérobiose, soit dans les bassins d'oxydation en aérobiose. L'incinération de boues excédentaires peut même être envisagée après une déshydratation convenable [27].

Le procédé de traitement biologique par boues activées est généralement utilisé dans [27] :

- ❖ L'industrie du papier ;
- ❖ L'industrie du pétrole ;
- ❖ Le traitement des effluents urbain et agro-alimentaire.

### **b) Traitement par lits bactériens**

Le traitement par lits bactériens est généralement utilisé dans le cas où la demande biologique en oxygène (DBO) est élevée. Il est constitué soit par empilement de matériaux inertes tel que pouzzolane, granit, coke, soit par des tubes cloisonnés, soit par des plaques en matière plastique, au lieu de laisser libre au sein d'une masse liquide. On fixe la biomasse sur un support granuleux de faible dimension (1 à 10mm) les eaux percolent au travers du lit et la teneur en oxygène nécessaire est assurée par préaération des eaux ou mieux par insufflation d'air à contre-courant au sein de la masse filtrante. Cette technique permet d'augmenter la concentration de la biomasse par unité de volume [18].

### **c) Le Lagunage**

Le lagunage est un système biologique d'épuration extensive, qui consiste à faire parvenir l'effluent à épurer dans des bassins peu profonds (1m au maximum) où s'opère une épuration naturelle. Il est utilisé lorsque la valeur de la demande biologique en oxygène est inférieure à 50 mg d'O<sub>2</sub>/l.

Des phénomènes naturels de dégradation font intervenir la biomasse qui transforme la matière organique, dont l'épuration des eaux usées par des bactéries générées par les algues phytoplanctons et plantes aquatiques est mise en place, lors de ce processus, les protozoaires éliminent les bactéries mortes tandis que les algues (les plantes aquatiques) favorisent l'oxygénation du milieu sous l'effet de la lumière.

Dans le cas de lagunage aéré, on prévoit des bassins moins étendus mais plus profonds (2 à 3m) ; il est indispensable de favoriser l'oxygénation du milieu au moyen d'un système d'aération.

L'inconvénient de ce procédé est qu'il faut disposer de vastes superficies imperméables de façon à avoir un temps de rétention atteignant parfois plusieurs dizaines de jours, suivant la charge et la nature des effluents [28].

### **II.3. Conclusion**

Le degré de traitement désirable apparait comme une question de base, le but à atteindre étant que les eaux évacuées n'altèrent pas les milieux qui les reçoivent dans une mesure incompatible avec les exigences de la santé publique. Le traitement par voie biologique de la pollution organique dissoute constitue le premier mode de traitement secondaire le plus couramment utilisé en raison de son efficacité. Ce procédé sera développé dans le détail au 3<sup>ème</sup> chapitre.

# Chapitre III

## **Chapitre III**

### **Traitement biologique**

#### **III.1. Introduction**

Les procédés biologiques d'épuration se basent sur l'activité de micro-organismes qui transforment la matière organique soluble et colloïdale des eaux usées en sous-produits inorganiques, tels H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, et en nouvelles substances biologiques cellulaires. Bien que le principal objectif des systèmes biologiques soit de dégrader la matière organique, ils peuvent également contribuer à l'élimination des matières en suspension, par précipitation et adsorption par la biomasse microbienne, ainsi qu'à l'enlèvement d'une partie des substances nutritives, notamment les composés phosphorés et azotés.

Il existe deux principaux types de systèmes d'épuration biologique ; aérobie en présence d'oxygène et anaérobie en l'absence d'oxygène. Chacun de ces types comporte plusieurs variantes [29].

#### **III.2. Le système aérobie**

De nombreux procédés utilisés pour l'épuration des eaux auxquels on recourt les traitements des effluents industriels, font intervenir une phase biologique aérobie. Pendant cette phase, les micro-organismes présents dégradent en l'oxydant une partie de la matière organique pour retirer de cette opération l'énergie nécessaire à leur survie, tandis qu'une autre fraction des éléments nutritifs servira à la synthèse de nouveaux matériaux cellulaires.

Simultanément, les micro-organismes dont la population est soutenue par un apport constant de nourriture, ont tendance à s'agglomérer en flocons plus ou moins compacts et cohérents. Ces flocons retiennent les éléments de petite taille en suspension dans l'eau. Ce phénomène complexe transforme donc en matières organiques décantables, une portion de la charge de pollution. Une autre fraction est éliminée sous forme de substances minérales oxygénées, ultimes produits du métabolisme microbien, soit gazeuses (CO<sub>2</sub>), soit solubles (nitrites, phosphates, sulfates, bichromates) [30].

### **III.3. Le système anaérobie**

En l'absence d'oxygène, de nombreux groupes de microorganismes anaérobies coopèrent pour décomposer la matière organique. La microbiologie de ce procédé est beaucoup plus complexe et délicate que celle des procédés aérobies, où la plupart des bactéries « travaillent » individuellement. C'est la raison principale pour laquelle les systèmes anaérobies nécessitent plus de surveillance et de contrôle pour fonctionner efficacement [31].

#### **III.3.1. Historique**

La digestion anaérobie est la décomposition en l'absence d'oxygène de la matière organique. C'est un processus naturel fait par diverses populations de micro-organismes présents dans une multitude d'environnements. Dans la nature, on peut observer ce phénomène partout où il y a de la matière organique et une quantité insuffisante d'oxygène, comme dans les marais, les rizières et même dans le système digestif des mammifères et des insectes. Cette dégradation produit le biogaz, un gaz similaire au gaz naturel, formé principalement de méthane et de CO<sub>2</sub> [32].

Ce processus métabolique est l'un des plus anciens à être développés par les organismes. Il devait être présent il y a longtemps, lorsqu'il n'y avait pas massivement d'oxygène dans l'atmosphère et que la Terre était un milieu essentiellement réducteur. Des études indiquent l'utilisation du biogaz par les Assyriens au dixième siècle avant J.C, ainsi estiment l'apparition des organismes méthanogènes entre -4,11 et -3,78 milliards d'années passées [33]. La production de méthane à partir de la matière putrescible est connue depuis des siècles. Vers 1630, Van Lemond découvre que la fermentation de la matière organique dégage un gaz inflammable. En 1776, Alessandro Volta démontre que le gaz émis par les marais est combustible. En 1787, Lavoisier prouve que ce gaz inflammable est le « gaz hydrogenium carbonatrum », avant que le terme de méthane ne fût proposé en 1865 et confirmé en 1892 par un congrès international de nomenclature chimique [34]. C'est probablement à cause de cette origine que le méthane est aussi connu comme « gaz des marais ». Si cette émission de CH<sub>4</sub> dans les marais est connue depuis longtemps, le rôle des micro-organismes dans ce processus n'a été découvert que bien plus tard. D'ailleurs, la compréhension complète de ce processus est, encore aujourd'hui, loin d'être achevée [32].

### III.3.2. Définition

La digestion anaérobie permet la conversion et la valorisation de la matière organique, à l'aide de microorganismes, en énergie sous forme de biogaz, composé de méthane et de dioxyde de carbone, et en un digestat qui peut être utilisé comme amendement organique ou engrais pour les sols. La digestion anaérobie est un procédé complexe, faisant intervenir de nombreuses réactions biologiques sous l'action d'une communauté microbienne complexe. Ces réactions biologiques peuvent être simplifiées en 4 étapes biologiques principales [35].

### III.3.3. Les étapes de la digestion anaérobie

Les différentes étapes du processus de méthanisation sont décrites dans la figure III.1

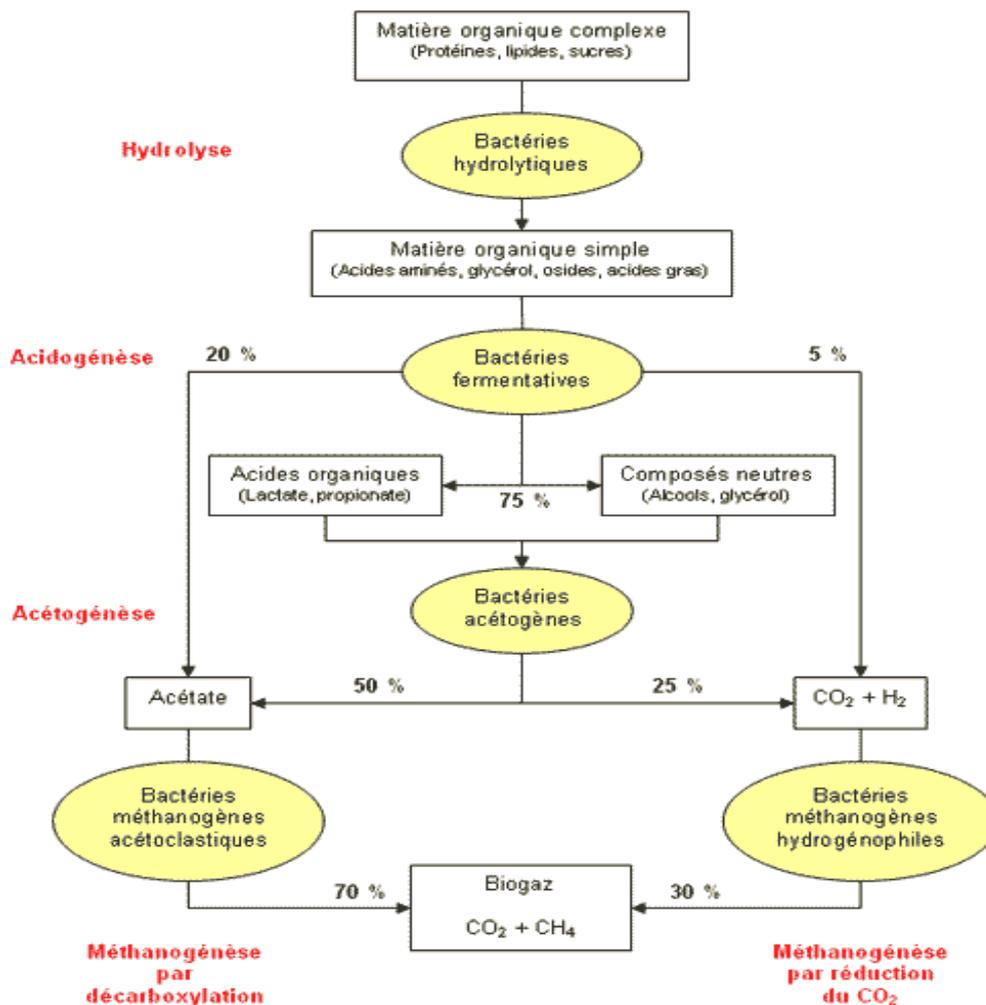


Figure III.1 : Schéma récapitulatif des réactions biochimiques de la digestion anaérobie [58]

#### a) Hydrolyse

Lors de l'hydrolyse, la matière organique composée de protéines, lipides, polysaccharides et d'acides nucléiques, est hydrolysée en monomères et oligomères solubles, tels que les sucres, les acides aminés, les bases azotées ou les acides gras, grâce à des enzymes extracellulaires (cellulases, protéases, lipases...) excrétées par des microorganismes hydrolytiques. Les protéines sont alors transformées en acides aminés à l'aide d'enzymes provenant de microorganismes de types *Clostridium* sp., *Peptococcus* sp., les carbohydrates en sucres à l'aide microorganismes de types *Acetivibrio* cellulyticus, *Staphylococcus* sp., les lipides en acides gras volatils (AGVs), en alcool ou en acides aminées avec des microorganismes de types *Clostridium* sp., *Micrococcus* sp. L'activité des microorganismes hydrolytiques présents dans un digesteur dépendent de l'origine de l'inoculum et des conditions opératoires utilisées (température, type de déchets, pH...). L'hydrolyse est souvent l'étape limitante de la digestion anaérobie, des prétraitements peuvent être utilisés pour faciliter cette étape.

#### b) Acidogénèse

Durant l'acidogénèse, les acides aminés, les sucres et les acides gras obtenus durant l'hydrolyse sont transformés en acides gras volatils (AGVs) comme l'acétate, le butyrate, le propionate ou le lactate, en acides organiques autres (lactate) et alcools à l'aide de microorganismes acidogènes, comme par exemple *Escherichia coli*, *Lactobacillus* sp. ou encore *Clostridium* sp. Cette étape est 30 à 40 fois plus rapide que l'hydrolyse Elle est aussi plus rapide que les deux autres étapes qui sont l'acétogénèse et la méthanogénèse. Des inhibitions de la méthanogénèse et de l'acétogénèse peuvent avoir lieu, à cause de l'accumulation des produits issus de l'acidogénèse comme les acides gras volatils.

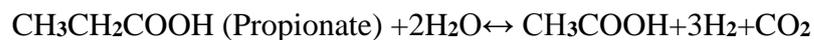
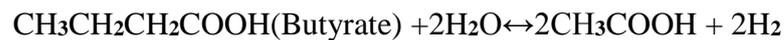
La dégradation des monosaccharides par exemple, peut offrir plusieurs voies de dégradation comme illustré sur trois réactions suivantes :



#### c) Acétogénèse

L'acétogénèse unifie et simplifie la filière chimique, car les substances originaires des processus antérieurs y sont transformées en acétate, en H<sub>2</sub> et en CO<sub>2</sub> à l'aide de deux groupes de microorganismes :

- Les microorganismes acétogènes producteurs obligatoires d'H<sub>2</sub> qui utilisent les AGVs, l'alcool et les acides gras pour produire de l'H<sub>2</sub>, du CO<sub>2</sub> et de l'acétate comme par exemple *Syntrophobacter wolinii* ou *Syntrophomonas wolfei*.
- Les microorganismes homoacétogènes qui utilisent l'H<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> pour produire de l'acétate comme par exemple *Clostridium aceticum*. Ces microorganismes sont en compétition directe pour les substrats avec les méthanogènes hydrogénotrophes qui utilisent de l'H<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> pour produire du CH<sub>4</sub>.



#### d) Méthanogénèse

Lors de la méthanogénèse, l'acétate, le H<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> sont transformés en CH<sub>4</sub> et en CO<sub>2</sub>. Habituellement, cette phase est la plus délicate de la digestion anaérobie, parce que les organismes méthanogènes sont plus sensibles aux variations de pH et ont un taux de croissance plus lent que celui des organismes des autres étapes. Cette réaction est réalisée par des archées de plusieurs types :

- Les archées méthanogènes acétoclastes qui utilisent l'acétate comme substrat selon la réaction suivante (dans les conditions standards) :



Cette voie métabolique produit 70% du CH<sub>4</sub> total dans la digestion anaérobie et implique différents microorganismes comme *Methanosaeta concilii* ou *Methanosarcina acetivorans*.

- Les archées méthanogènes hydrogénotrophes qui produisent du CH<sub>4</sub> à partir du CO<sub>2</sub> et de l'H<sub>2</sub> selon la réaction suivante :



Cette voie correspond à 30% du CH<sub>4</sub> total dans la digestion anaérobie même si cette réaction est plus efficace énergiquement, elle peut être réalisée par *Methanobacterium bryantii*, *Methanobrevibacter arboriphilus*.

- Les archées méthanogènes métylotrophes qui utilisent des composés méthylés comme le méthanol ou le sulfure diméthyle.

#### III.3.4. Les produits de la digestion anaérobie

Lors de la transformation de la matière organique, il y a une formation de biogaz et de digestat. Si le biogaz a une importante fonction comme source d'énergie, le digestat, quant à lui, peut être utilisé comme amendement des sols [32].

##### a) Biogaz

###### ➤ Composition

Les rendements en méthane et la composition du biogaz produit, sont variables (tableau III.1) et sont liés à plusieurs facteurs : nature des effluents à traiter, teneur en MES des effluents et la technologie d'épuration mise en œuvre. Habituellement, la concentration de méthane se situe entre 50 et 80 %, 60 % étant la valeur la plus fréquemment rapportée par les usines. En plus du méthane, l'autre gaz principal formé est le CO<sub>2</sub>. Les gaz présents en faibles concentrations sont le H<sub>2</sub>S, le NH<sub>3</sub> en plus de la vapeur d'eau jusqu'à son point de saturation. Ces derniers gaz doivent être traités selon l'utilisation prévue pour le biogaz afin de ne pas endommager les équipements [36].

*Tableau III.1 : Composition moyenne du biogaz [33]*

Composés	Teneur moyenne (%)
Méthane (CH <sub>4</sub> )	55 à 75
Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	25 à 45
Azote (N <sub>2</sub> )	2 à 6
Hydrogène (H <sub>2</sub> )	0.1 à 2
Hydrogène de sulfure (H <sub>2</sub> S)	0.01 à 1

### ➤ Utilisation et valorisation

Plusieurs utilisations sont envisagées pour le biogaz. Il peut être simplement brûlé, si les seuls buts de la digestion sont le traitement et la stabilisation des matières putrescibles. Cette destruction du méthane est importante à cause de la puissance de réchauffement du méthane comme GES, donc sa transformation en CO<sub>2</sub> à plus faible puissance de réchauffement est souhaitable. En revanche, l'utilisation de son énergie à des fins utiles est fréquemment mise en œuvre. Dans les petites usines, sa combustion est employée pour le chauffage du système. Dans les usines de plus grande taille, où l'investissement le justifie, la cogénération est beaucoup plus fréquente. Dans ces centres, le biogaz est transformé en électricité et en chaleur, qui sont utilisées pour l'usine et/ou sont commercialisées. Finalement, une autre utilisation importante du biogaz est sa purification et son emploi comme gaz naturel. Pour cela, le CO<sub>2</sub> et les autres gaz contaminants doivent être éliminés afin d'augmenter le taux de méthane du gaz. Ensuite, il est comprimé puis inséré dans le réseau de distribution ou employé comme combustible pour les voitures.

### b) Digestat

Le digestat est un résidu semblable à l'humus, partiellement stable et riche en composants organiques [32]. La valorisation du digestat produit en fin de méthanisation est généralement réalisée par épandage sur des terres agricoles ou son épuration en vue d'un retour au milieu naturel. Dans le premier cas, le digestat est alors transformé en fertilisant liquide ou en engrais. Il doit alors respecter des normes de rejet garantissant son absence d'impact sur l'agriculture ou le milieu naturel. Le choix du procédé, permettant la mise en conformité du digestat de l'une des deux voies mentionnées précédemment va alors dépendre des caractéristiques intrinsèques du digestat produit. Si ce dernier contient des composés toxiques (composés chimiques ou métaux lourds) ou des bactéries pathogènes préjudiciables au milieu naturel, que la méthanisation n'a pas permis de réduire/éliminer, une autre voie de valorisation doit être envisagée.

Lorsqu'un digestat ne peut pas être redirigé vers les sols, il est alors généralement entrepris une valorisation énergétique du digestat par combustion. Cela peut également être le cas en absence de terre agricole éligible à un plan d'épandage. Dans le cas d'un retour aux sols du digestat après post traitement, ses caractéristiques doivent alors correspondre à la législation

propre à chaque pays. La réglementation peut également limiter, voire interdire le retour dans le milieu naturel. L'emploi de traitements spécifiques, principalement d'hygiénisation peut alors être imposé [37].

Avant toute étape de caractérisation ou de post traitement, les digestats sont généralement stockés afin d'affiner la dégradation de la matière volatile tout en récupérant le biogaz produit. Le temps de ce stockage va principalement dépendre de la dégradabilité du substrat initial et des conditions opératoires appliquées lors de la méthanisation (prétraitement, chaleur, TRH).

### **III.3.5. Les paramètres influençant la digestion anaérobie**

Les micro-organismes composant la biomasse épuratrice nécessitent, comme tous les êtres vivants, des conditions de milieu particulières pour le bon fonctionnement de leur métabolisme. Dans cette partie seront présentés les principaux facteurs influençant les granules de boue comme : la température, le pH, les substrats présents dans les eaux usées à traiter etc., afin de créer des conditions de fonctionnement stables et optimales [36].

#### **a) La Température**

La température est un paramètre influant fortement la digestion anaérobie (figure III.2). En effet, la température va avoir une action sur l'activité des microorganismes, et par conséquence sur les vitesses des réactions biologiques et sur les voies métaboliques [35]. La plupart des méthanogènes sont mésophiles et sont très sensibles aux variations soudaines de température, un dépassement de ces températures limites provoque une baisse du rendement avec une diminution de la vitesse de dégradation des substrats. On distingue notamment trois grandes plages de valeurs pour lesquelles les souches bactériennes méthanogènes sont actives, en dessous de 70°C [40].

- La plage psychrophile en-dessous de 20°C.
- La plage mésophile entre 25 et 40°C.
- La plage thermophile au-dessus de 50°C.

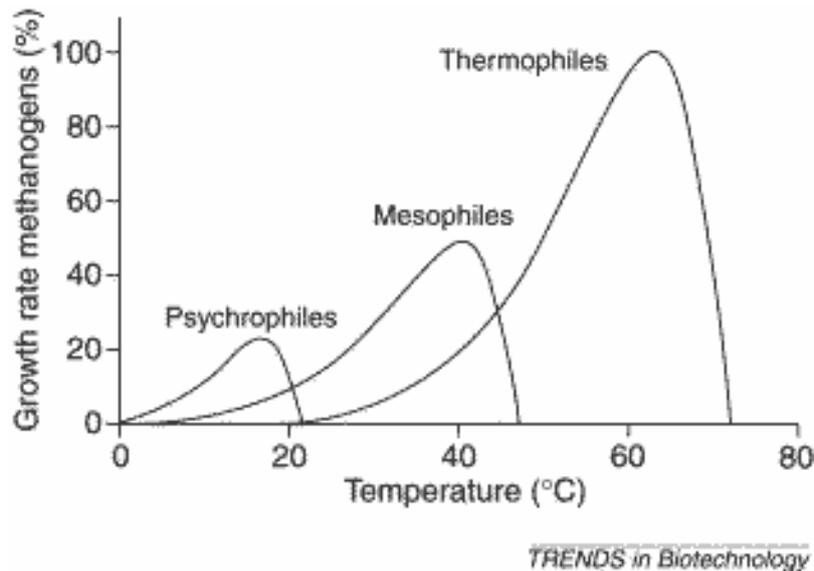


Figure III.2: Evolution de la production de biogaz (rendement) en fonction de la température [59]

L'optimum est à 35°C pour les microorganismes mésophiles et à 55°C pour les microorganismes thermophiles. La température de transition entre microorganismes mésophiles et thermophiles est de 42°C.

D'un point de vue plus général, lorsque la température augmente [35] :

- La cinétique de l'étape d'hydrolyse est plus rapide, ce qui peut réduire les temps de séjour au sein du digesteur.
- La stabilité du réacteur sur le long terme diminue car les microorganismes thermophiles sont plus sensibles aux variations des conditions environnementales.
- La concentration en AGVs augmente plus rapidement au début de la digestion anaérobie thermophile mais reste moins importante au total que pour une digestion anaérobie mésophile.

#### b) Le pH

Le pH est l'un des paramètres les plus importants pour la digestion anaérobie, et un contrôle accru de sa variation est fondamental pour le bon fonctionnement des réacteurs. Un pH stable indique un système en équilibre et une méthanisation performante. En revanche, des variations du pH, plus souvent sa diminution, sont signes de problèmes. Les bactéries méthanogènes sont très sensibles aux variations du pH : de petites altérations peuvent même

menacer la production du gaz. À cause de cela, le contrôle de l'alcalinité est important afin de maintenir le pH dans les valeurs voulues. Si la plage de fonctionnement acceptable d'un réacteur se situe entre 5,5 et 8,5, les valeurs idéales pour les microorganismes méthanogènes varient entre 7,0 et 7,2. La chute du pH en dessous de 5,0 est mortelle pour ces organismes et même des valeurs proches de 6,0 causent souvent un arrêt du procédé [32].

#### **c) L'inoculum**

Les micro-organismes ont besoin d'un apport suffisant de macroéléments (azote, phosphore, etc...), d'oligo-éléments (cobalt, fer, nickel, etc..), et de vitamines pour une croissance optimale. Les besoins en macroéléments peuvent être estimés à partir de la composition moyenne et du rendement de croissance de la biomasse microbienne [38]. La communauté microbienne et sa structure, apportées lors de l'inoculation et qui sont souvent exprimées par le rapport substrat/inoculum (S/X), ont une influence importante dans la digestion anaérobie en batch. En effet, avec un S/X élevé, c'est-à-dire une inoculation faible, l'activité hydrolytique est élevée par rapport aux étapes suivantes, ce qui peut être intéressant puisque l'hydrolyse est limitant pour la digestion anaérobie.

Cependant, ces conditions peuvent amener à une acidification du milieu liée à une accumulation transitoire d'AGVs et à une baisse du pH, provoquées par un déséquilibre entre les produits issus de l'acidogénèse (phase rapide) et les réactifs utilisés pour l'acétogénèse et la méthanogénèse (phases lentes).

A l'inverse, une inoculation importante implique un S/X faible, évitant ainsi l'acidification. Avec un S/X faible, les quantités de bactéries acétogènes et méthanogènes sont suffisamment importantes pour éviter ce déséquilibre. Ainsi, la digestion anaérobie est plus performante avec une quantité d'inoculum plus importante. Cependant, l'influence du S/X n'est dominante qu'en début de digestion anaérobie, ce qui correspondrait au temps d'adaptation des microorganismes aux conditions du milieu. La composition en microorganismes est aussi importante mais elle peut dépendre de nombreux facteurs comme l'origine de l'inoculum initial, la température et le pH [35].

### **d) Rapport C/N**

Comme pour la digestion aérobie, la proportion entre le carbone et l'azote présents dans la matière organique est importante pour le bon fonctionnement des réacteurs [32]. Des études indiquent que la proportion désirable se situe entre 20 et 30, 25 étant le ratio idéal. Une augmentation de l'apport en azote peut mener à une production accrue d'ammoniac, ce qui peut nuire aux microorganismes et inactiver la méthanisation.

### **e) Configuration des réacteurs**

La configuration du réacteur joue un rôle crucial sur l'efficacité de la digestion anaérobie. Évidemment, les conditions hydrauliques et environnementales ont un rôle sur la dynamique des écosystèmes microbiens.

Le choix du système de digestion à appliquer dépendra des caractéristiques physicochimiques de l'effluent à digérer. Les principaux systèmes de digestion anaérobie utilisés dans le traitement des effluents urbains et industriels peuvent se classifier en deux grandes catégories : écosystèmes homogènes (complètement mélangé) et écosystèmes hétérogènes (piston). D'autre part, le réacteur piston (Plug-flow), les bio-filtres à flux descendant et ascendant, le réacteur à flux ascendant à lit de boue en floes (UASB) et les étangs anaérobies sont parmi les systèmes hétérogènes les plus couramment utilisés [39].

### **III.3.6. Inhibiteurs de la digestion anaérobie**

Plusieurs composés sont toxiques pour les microorganismes anaérobies. Les composés toxiques peuvent parvenir de l'affluent ou de produits intermédiaires des réactions anaérobies. Les archées méthanogènes sont les microorganismes anaérobies les plus sensibles et la conception et le contrôle des réacteurs anaérobies visent à les optimiser [41].

#### **a) Hydrogène**

Dans le cas d'un bon fonctionnement du processus de digestion anaérobie, il y a équilibre entre la production d'hydrogène et sa consommation par les méthanogènes hydrogénotrophes, et homoacétotrophes dont la teneur en hydrogène dans la phase gazeuse (et donc dans la phase liquide) doit être maintenue dans une gamme de concentration étroite [42]. En effet, la pression partielle d'hydrogène joue un rôle déterminant (pour des raisons

thermodynamiques) sur la possibilité de dégradation des acides propionique et butyrique notamment[44]. Néanmoins, l'hydrogène peut devenir un inhibiteur de la digestion anaérobie, une pression partielle trop élevée (supérieure à  $10^{-4}$  atm) conduit à une diminution ou même à un arrêt des activités acétogènes sans influencer sensiblement la vitesse de production de ces deux acides, une hausse des concentrations en AGV (propionate, butyrate), qui peut entraîner une baisse de pH et une faillite du digesteur. Cependant, des auteurs ont montré que même après des pressions d'hydrogène ayant atteint jusqu'à 0,1 bar, le phénomène d'inhibition était totalement réversible après soutirage de l'excès d'hydrogène [42].

#### **b) L'azote ammoniacal**

Certains effluents ou déchets aptes à la méthanisation peuvent contenir de l'azote en quantité importante. Cet azote organique est réduit sous forme ammoniacale au cours de la digestion anaérobie. Au-delà de quelques grammes par litre, l'azote ammoniacal est inhibiteur de la méthanisation et plus particulièrement des archées méthanogènes [44]. L'inhibition par l'azote ammoniacal, principalement à l'état libre (ammoniac :  $\text{NH}_3$ ), se traduit par une perturbation de l'homéostasie cellulaire provoquant des changements du pH cellulaire [39].

Cependant, l'azote ammoniacal possède plusieurs rôles antagonistes dépendant de sa concentration et de l'acclimatation des microorganismes. Nutriment essentiel, il peut engendrer l'arrêt de la croissance des microorganismes à très faible concentration et entraîner une inhibition totale à une concentration très élevée par rapport à la tolérance des bactéries. Dans les deux cas, cela se traduit par une baisse de la production de méthane et d'une accumulation d'AGV dans le milieu [45].

#### **c) Acides Gras Volatils**

Les acides gras volatils (AGVs) sont des acides organiques à courtes chaînes avec un squelette de 1 à 6 atomes de carbone. Ce sont l'acide formique, acétique, propionique, butyrique, iso-butyrique, valérique, iso-valérique, caproïque et iso-caproïque [42]. Ils sont produits lors de l'acidification des matières organiques solubles en présence de bactéries acidogènes. Ils sont consommés durant la deuxième étape de la digestion par les bactéries acétogènes et méthanogènes [43]. En effet, une surcharge organique, ou des fluctuations de température peuvent induire des accumulations d'acides organiques.

Les fortes concentrations d'AGVs jouent donc un rôle perturbateur dans toutes les étapes de dégradation biochimique. Leur accumulation résulte de déséquilibres entre les différents métabolismes microbiens. En revanche, la détermination de la concentration des AGVs permet de s'assurer que les réactions de dégradation se déroulent correctement : parmi les AGVs, la dégradation de l'acide propionique est la plus sensible aux effets d'inhibition, donc, l'accumulation de cet acide peut servir d'indicateur d'inhibition [42].

### **d) Autre Inhibiteurs**

De nombreux composés organiques ou inorganiques peuvent avoir un effet toxique, réversible ou non, sur les microorganismes, la capacité d'adaptation des microorganismes est un facteur essentiel. En effet, il est possible d'abaisser le seuil de toxicité de certains composés d'un facteur par une adaptation appropriée (tableau III.2) [46].

#### ➤ **Substances toxiques**

Les hydrocarbures aliphatiques chlorés et les acides gras à longue chaîne sont les substances organiques les plus toxiques pour la digestion anaérobie [32].

#### ➤ **Les éléments minéraux**

Un certain nombre d'éléments minéraux rentrent en jeu dans la digestion anaérobie. Bien qu'étant indispensables aux processus biologiques, ils deviennent toxiques à partir de certaines concentrations. Les éléments concernés sont : le magnésium ( $Mg^+$ ), le potassium ( $K^+$ ), le calcium ( $Ca^{2+}$ ) ainsi que le sodium ( $Na^+$ ) [42].

#### ➤ **Les métaux lourds**

Même à de faibles concentrations, de l'ordre de 1 mg/L, les métaux lourds peuvent présenter des effets inhibiteurs de la digestion anaérobie. Ceux qui présentent le plus de toxicité pour la digestion anaérobie sont le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le cadmium (Cd), le zinc (Zn), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le cobalt (Co), et le fer (Fe) [42].

**Tableau III.2** : Composés organiques et inorganiques pouvant inhiber les microorganismes de la digestion anaérobie [36].

Substance	Concentration inhibitrice	
	Modérément (mg. L <sup>-1</sup> )	Fortement (mg. L <sup>-1</sup> )
Sodium (Na <sup>+</sup> )	3500 à 5500	8000
Potassium (K <sup>+</sup> )	2500 à 4500	12000
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	2500 à 4500	8000
Magnésium (Mg <sup>+</sup> )	1000 à 1500	3000
N-ammoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	1500 à 3000	3000
Sulfure (S <sup>2-</sup> )	200	200
Cuivre (Cu <sup>2+</sup> )		0,5 soluble 50 à 70 total
Chrome (VI)		3,0 soluble 200 à 600 total
Chrome (III)		180 à 420 total
Nickel (Ni <sup>2+</sup> )		2,0 soluble 30 total
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )		1,0 soluble
Soluble : concentration fortement inhibitrice de l'élément sous forme soluble Totale : inhibition totale à cette concentration		

### III.3.7. Technologie anaérobie

Les flux d'eaux usées issus de la production alimentaire et de boissons, de la production de biocarburants, de l'industrie papetière et des industries chimiques sont très chargés en polluants organiques et peuvent être traités favorablement grâce à divers procédés anaérobies.

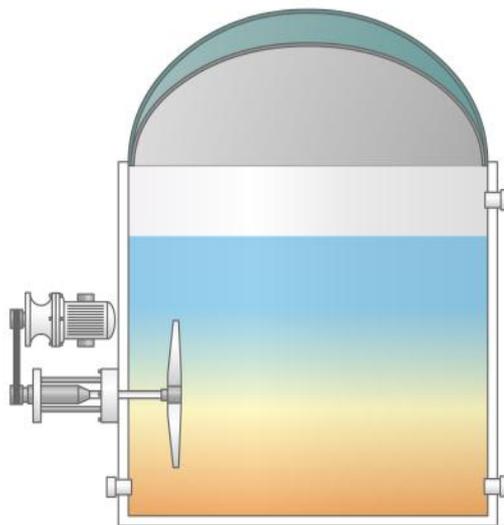
Cependant, les composants divers des eaux usées, la large gamme de concentrations en Demande Chimique d'Oxygène (DCO) et les conditions locales de chaque industrie nécessitent une sélection attentive parmi les différents types de méthaniseurs. Une technologie anaérobie unique n'est pas la meilleure solution pour toutes les applications. Pour cela, il existe plusieurs technologies anaérobies dont chaque industrie choisit le meilleur traitement suivant ses conditions spécifiques [31].

On peut classer les digesteurs selon le mode d'alimentation : batch ou continu, On distingue plusieurs familles de procédés, avec des sous-familles et de très nombreuses variantes. Cependant la quasi-totalité des digesteurs d'effluents et de boues industrielles sont des réacteurs à alimentation continue, que l'on classe par familles :

### a) Les digesteurs à cultures libres

Ce sont les réacteurs les plus anciens et les plus simples. On distingue [47] :

- **Les réacteurs infiniment mélangés (CSTR)** dans lesquels le substrat est homogénéisé par brassage mécanique ou brassage au gaz [47] (figure III.3), conçu afin de maximiser le contact entre la biomasse et les effluents/déchets organiques pour optimiser les performances de digestion [31].



*Figure III.3: Schéma d'un réacteur continuellement agité (CSTR) [31]*

- **Les réacteurs contacts** (figure III.4) dans lesquels la biomasse digérée est décantée et réintroduite en tête de digesteur, de façon à augmenter la concentration en microorganismes. En effet la vitesse de croissance des bactéries méthanogènes est lente : on cherche à les garder au sein des réacteurs plutôt que de les évacuer directement avec les boues [47].

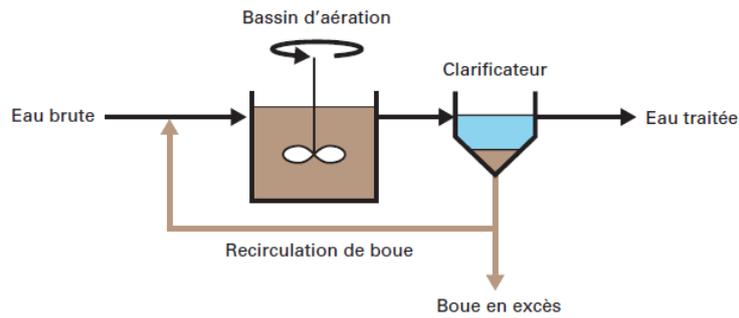


Figure III.1 : Réacteur contact avec recirculation de boues [56].

- **Les réacteurs « piston »** qui permettent de faire cheminer le substrat de façon progressive dans le digesteur, de l'entrée à la sortie. Ceci permet de garantir un temps de séjour minimal pour la totalité du substrat.

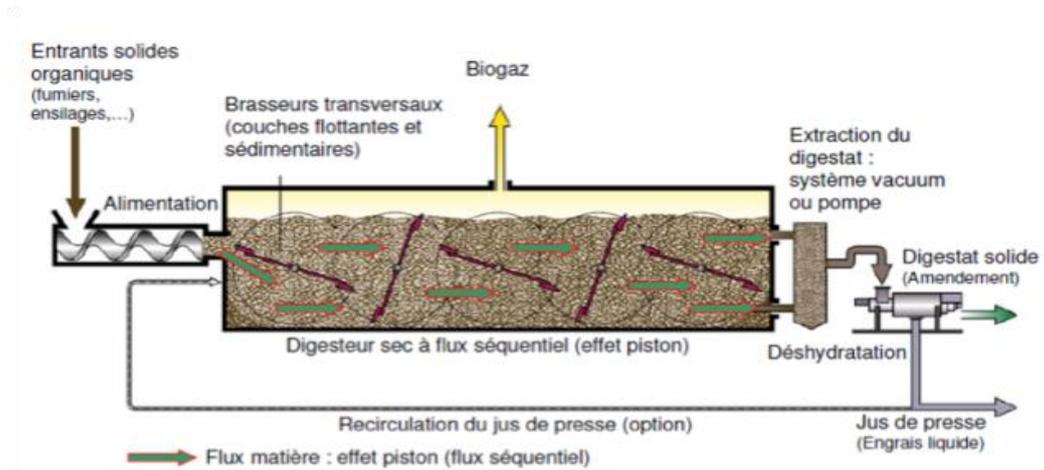


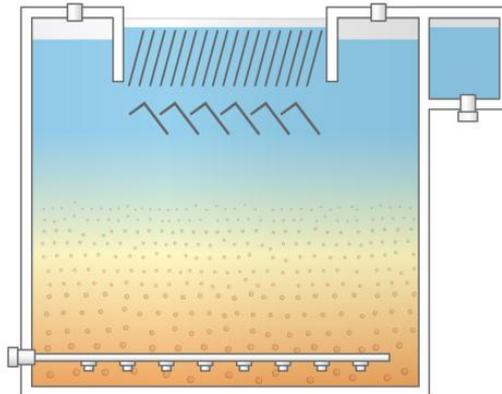
Figure III.5: Schéma d'un réacteur type "piston » [60]

### b) Les digesteurs à cultures fixées

Un autre moyen d'augmenter la concentration bactérienne consiste à permettre aux microorganismes de se fixer sur des supports. On parle alors de systèmes à cultures fixées. On distingue :

### ➤ Les systèmes UASB

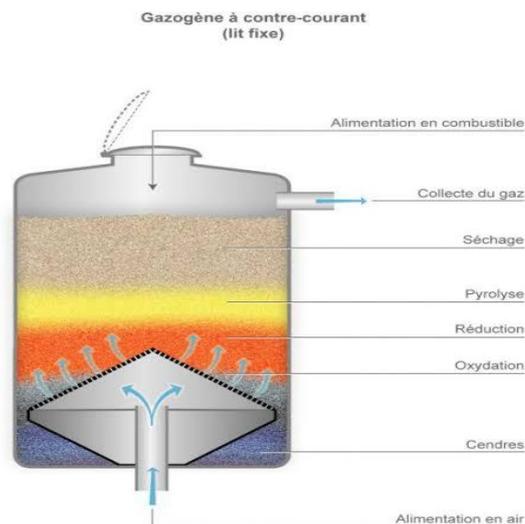
(Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ou lit de boues anaérobies à flux ascendant) : en utilisant la capacité d'auto-floculation de la biomasse dans le réacteur et la sédimentation des granules, les flots bactériens sont équilibrés dans le réacteur par sédimentation avec le flux ascendant de l'effluent à traiter [47].



*Figure III.6: Schéma d'un réacteur de boues anaérobies à flux ascendant (UASB) [31]*

### ➤ Les systèmes à culture fixe ou lit fixé (filtre anaérobie)

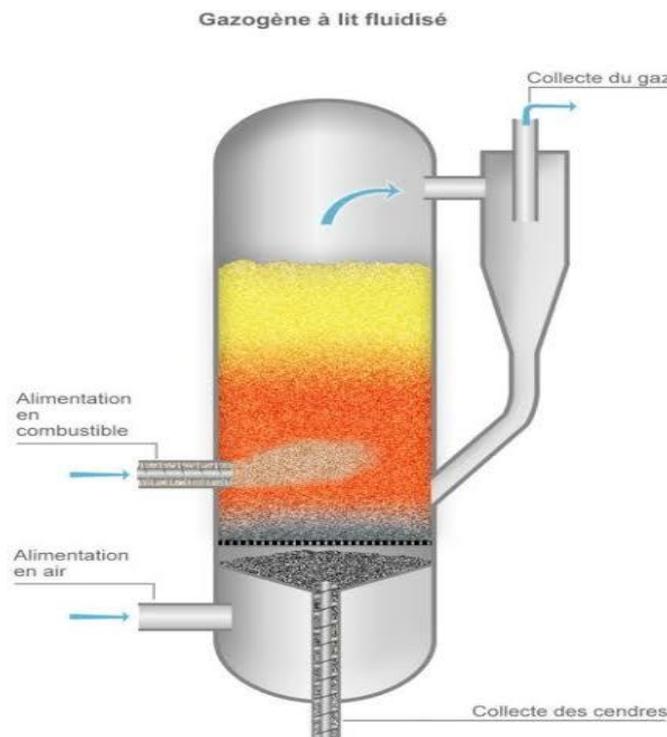
Le réacteur à culture fixe (figure III.7) contient un support statique inerte, minéral ou synthétique sur lequel viennent se fixer les bactéries, ce support est colonisé par les biofilms [47]. Il est traversé par l'effluent à traiter en flux ascendant ou descendant. L'effluent est donc distribué soit sur le bas, soit sur le haut du réacteur, et traverse ensuite le garnissage [48].



*Figure III.7 : Schéma d'un réacteur lit fixé ou filtre anaérobie [57]*

### ➤ Les systèmes à lit fluidisé

Dans les réacteurs à lit fluidisé (figure III.8) les bactéries sont fixées sur un support mobile, particules granulaires fines et poreuses comme le sable, maintenues en expansion et contrôlées par le flux ascendant rapide et régulier de l'effluent [47]. Ce type de réacteur permet d'obtenir de très forte concentration en micro-organismes (30 à 40 g.L<sup>-1</sup>) et peut donc accepter les charges volumiques les plus élevées [48].



**Figure III.8 :** Schéma d'un réacteur à lit fluidisé [57].

### III.4. Aérobie vs Anaérobie

Le système de traitement anaérobie est très efficace pour l'élimination des composés organiques biodégradables. Il est particulièrement adapté pour les déchets organiques et les flux d'eaux usées fortement chargés en contaminants organiques. Il les convertit efficacement en méthane gazeux et en dioxyde de carbone principalement, avec une génération faible d'excès de boues. Bien que ce procédé n'élimine pas complètement la pollution organique et

ne puisse pas fournir la même qualité d'effluent que le traitement aérobie, la production d'excès de boues beaucoup plus faible et la génération d'énergies renouvelables bénéfiques sous la forme de biogaz sont les raisons pour lesquelles ce type de procédé est devenu la solution privilégiée pour de nombreuses applications sur les déchets et les eaux usées industrielles [31].

Dans l'environnement industriel, l'espace est un élément économique de grande importance et induit de ce fait une préférence pour les techniques intensives. La figure III.9 représente une représentation graphique des procédés aérobie et anaérobie.

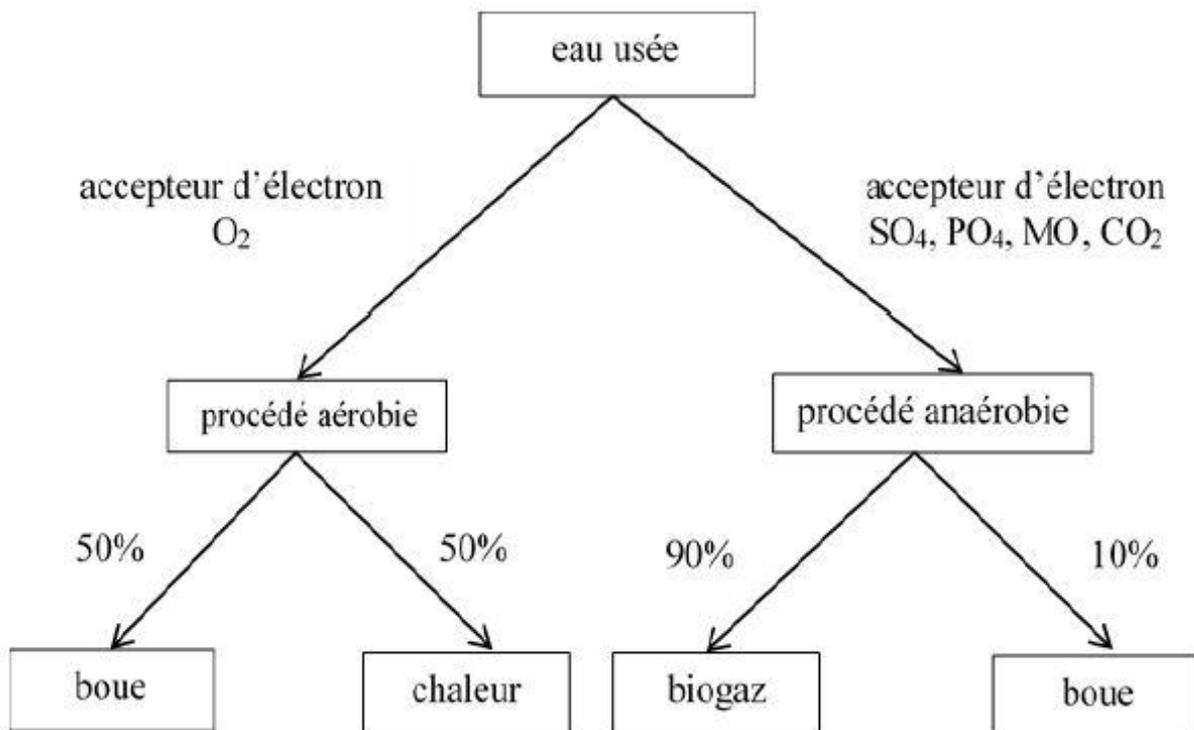


Figure III.9 : Illustration graphique des procédés aérobie et anaérobie [55].

Ainsi une comparaison des performances des deux voies de traitement biologique est illustrée dans le tableau (III.3)

Tableau III.3 : Comparaison des procédés de traitement aérobie et anaérobie [55].

Paramètres	Anaérobie	Aérobie
Elimination de la DCO	65-90%	90-98%
Energie produit	Élevée	Faible
Energie consommée	Faible	Élevée
Production de boues	Faible	Élevée
Elimination des nutriments (N/P)	Faible	Élevée
Surface requise	Petite	Grande
Capital investit	<b>Relativement faible</b>	<b>Relativement élevé</b>
Prétraitement	Suivi invariablement par le traitement aérobie	Filtration/désinfection

#### III.5. Le traitement biologique combine aérobie -anaérobie

Pour bénéficier des avantages des procédés aérobie et anaérobie, il a été envisagé de les combiner. Selon Chan et al (2009), l'association des procédés anaérobie et aérobie pour le traitement des eaux usées industrielles est favorable à une bonne élimination de la DCO. Des études ont montré que cette combinaison présente des avantages importants pour le traitement des eaux usées de l'industrie de boisson. De plus, il a été rapporté que l'utilisation des procédés aérobie/anaérobie peut également conduire à une réduction du coût de fonctionnement par rapport à un traitement aérobie seul, tout en entraînant une faible production de boue en aérobie [55].

Selon Cervantes et al.[55] les avantages de la combinaison des procédés aérobie et anaérobie sont les suivants :

- Grand potentiel de récupération des ressources : le prétraitement anaérobie élimine la plupart des polluants organiques et les convertis en biogaz.
- Efficacité élevée du traitement : le post traitement aérobie raffine les effluents sortant du système anaérobie et le résultat en matière de l'efficacité de traitement global est

élevé. De plus, le traitement aérobie atténue aussi les fluctuations de la qualité de l'effluent anaérobie.

- Faible consommation d'énergie : le prétraitement anaérobie permet de réduire les variations diurnes de la demande en oxygène et conduit à une réduction supplémentaire de la capacité d'aération maximale requise.
- Dégradation des composés organiques volatiles présents dans les eaux usées par le système anaérobie, éliminant la possibilité de leur volatilisation dans le traitement aérobie.

Les systèmes combinés anaérobie-aérobie classiques présentent néanmoins quelques inconvénients tels que [55] :

- L'utilisation de surfaces plus grandes,
- Une production excédentaire de boue,
- Une consommation d'énergie supplémentaire pour la recirculation et l'aération.

Au fil des années, de nouvelles technologies ont été développées pour pallier aux inconvénients des systèmes anaérobie/aérobie conventionnels. Le système anaérobie/aérobie utilisant des bioréacteurs (tels que le UASB, le bioréacteur à membrane) a été conçu afin de :

- Fournir un procédé de traitement qui est viable à la fois techniquement et économiquement avec comme
- Objectif double la récupération des ressources et
- La conformité avec la législation en vigueur sur le rejet des effluents industriels.
- L'intégration des zones anaérobie et aérobie à l'intérieur d'un bioréacteur favorise une forme intensive de biodégradation.

#### **III.6. Traitement des boues**

Une station d'épuration comprend obligatoirement deux filières de traitement :

- La filière eau qui assure la dépollution des eaux usées,
- La filière boue qui assure le traitement du sous-produit principal d'une station d'épuration, à savoir la boue.

Quel que soit le type de traitement biologique, il y a une production de boue. Elle est cependant plus ou moins importante en fonction du type de traitement de l'eau [49].

### **III.6.1. Définition**

La boue résulte de l'activité biologique des micro-organismes vivant dans les stations et qui transforment les matières transportées par les eaux usées. Elle est composée essentiellement de bactéries mortes, de matière organique stabilisée, de sels minéraux et d'eau [49].

Les grandes catégories de boues sont constituées [50] :

- Des boues urbaines
- Des boues industrielles

### **III.6.2. Objectifs**

Le traitement des boues a pour objectif de [51] :

- Réduire la fraction organique, de diminuer le pouvoir fermentescible des boues et les risques de contamination, ce par la « stabilisation » ;
- Diminuer le volume total des boues afin de réduire le coût d'évacuation, ce par « déshydratation » ;
- Elimination final des boues par :
  - Valorisation agricole ;
  - Incinération ;
  - Mise en décharge.

### **III.6.3. Système de traitement des boues**

L'excédent de boues extrait et peut subir, selon sa destination finale, un ou plusieurs traitements : épaissement, déshydratation, séchage, incinération [52].

#### **a) L'Épaulement**

L'épaulement consiste à laisser s'écouler les boues par gravitation à travers un silo placé au-dessus d'une table d'égouttage ou d'une toile semi-perméable. Autre technique de concentration : la flottation, basée sur l'injection de gaz dans les boues, ce qui sépare les

phases liquides et solides par différence de densité. En sortie, les boues sont encore liquides avec une siccité de 4 à 6 %.

### **b) La Déshydratation**

La déshydratation permet de produire une boue pâteuse ou solide par le biais d'une augmentation de la siccité de la boue d'origine [54]. Les boues sont déshydratées pour réduire leur volume et les préparer à un éventuel séchage. La déshydratation peut se faire par centrifugation, filtre à bande, ou presse à vis [52].

### **c) Le Séchage**

Le séchage des boues est une déshydratation quasi-totale des boues par évaporation de l'eau qu'elles contiennent ; la réduction de volume qui en résulte est conséquente [53].

#### ➤ **Le séchage thermique**

Il repose sur deux méthodes : directe et indirecte. Le séchage direct consiste en une évaporation des boues par convection, via un fluide caloporteur. Le séchage indirect repose quant à lui en un échange de chaleur par conduction, via une paroi chauffée par un fluide caloporteur. En sortie, les boues se présentent sous forme de poudres ou de granulés, avec un taux de siccité pouvant atteindre 90 à 95 %.

#### ➤ **Les lits de séchage**

Ce procédé consiste à répartir les boues à déshydrater sur une surface drainante (composée de plusieurs couches de gravier et de sable de granulométries variables), à travers laquelle s'écoule l'eau interstitielle. Ces lits de séchages soumis sous serre pour non seulement tirer parti du phénomène d'évaporation naturelle, mais l'accélérer par les rayons du soleil. On parle alors de séchage solaire. En sortie des lits de séchage, les boues sont solides, d'une siccité d'environ 35 à 40 %.

### **d) La Stabilisation**

Cela consiste à diminuer le caractère fermentescible des boues et ainsi, notamment, de supprimer les mauvaises odeurs. En général, la stabilisation s'opère après déshydratation des boues [53].

### ➤ La stabilisation biologique

Elle s'opère selon deux voies biologiques possibles : aérobie et anaérobie.

**La stabilisation aérobie** consiste à mettre les boues dans des bassins d'aération dits aussi bassins de stabilisation aérobie. Le compostage est un mode de stabilisation aérobie des boues. Il s'agit souvent d'un traitement de stabilisation biologique complémentaire, destiné à la fabrication d'un produit : le compost ;

**La stabilisation anaérobie** consiste à mettre dans des digesteurs les boues directement issues des filières de traitement des eaux usées, et à les porter à haute température (de 50 à plus de 100°C) afin d'en éliminer bactéries et virus. Stabilisées avec 30 à 60 % de quantités de matière organique en moins. Elles présentent une siccité pouvant aller au-delà de 20 à 30 %. Ces procédés de digestion anaérobie, appelés aussi méthanisation, s'accompagnent de la production de biogaz.

### ➤ La stabilisation chimique

La stabilisation chimique consiste à bloquer l'activité biologique des boues en y mélangeant de la chaux vive, CaO, ou de la chaux éteinte, Ca(OH)<sub>2</sub>. Les doses de chaux sont calculées en fonction des siccités initiale et finale des boues, dans une proportion de 10 à 50 % de la MS des boues, ce qui en élève le pH au-delà de 12. En sortie, les boues sont dites hygiénisées. Parfois, la stabilisation chimique s'opère avec ajout de nitrites à pH acide.

Une fois les boues traitées, elles sont prêtes à entrer dans un système...

- **De valorisation** : Il est possible d'utiliser certaines boues dans le domaine agricole, en les épandant dans les champs comme de l'engrais ou de compost. D'autres boues peuvent, après déshydratation, être placées dans des fours thermiques afin de produire de l'énergie. Il est parfois possible d'utiliser les boues dans l'industrie en les réinjectant dans le circuit de production [54].
- **D'élimination** : Pour les boues dont les particules sont trop difficiles à gérer, la seule solution est l'incinération. Certains autres types de boues sont mis en décharge avec des déchets ménagers [54].

Tout dépend du traitement qu'elles auront subi et du domaine dont elles proviennent. En toute logique, les boues issues d'eaux usées des secteurs nucléaire et chimique ne seront toujours utilisées en élimination et non en valorisation. A contrario, une boue de qualité issue du domaine agroalimentaire aurait tout intérêt à être épandue dans les champs.

### **III.7. Conclusion**

La digestion anaérobie est un phénomène complexe, marqué par une succession de transformations de la matière organique en absence d'oxygène, en biogaz, procurées par des microorganismes distincts. Ce phénomène se fait de manière spontanée dans plusieurs écosystèmes naturels par des consortia microbiens. En tant que procédé industriel, la digestion anaérobie se déroule dans des digesteurs anaérobies sous certaines conditions physico-chimiques contrôlées. Il permet ainsi de réduire la charge organique polluante de la matière organique tout en générant de l'énergie valorisable sous forme de biogaz. Le digestat, partie solide non digérée, issu du processus de digestion anaérobie peut être également valorisé soit en engrais organique, soit en amendement organique.

Le biogaz possède de nombreux débouchés possibles, analogues à ceux du « gaz naturel » tels que la production d'eau chaude et d'électricité, notamment par cogénération et l'utilisation en tant que carburant.

Pour une meilleure optimisation de la digestion anaérobie, les spécialistes, au fil des années des générations successives de digesteurs permettant une meilleure rétention de la biomasse et des conditions hydrodynamiques améliorées. Les digesteurs intègrent alors les caractéristiques des réactions microbiennes à réaliser qui sont généralement : une absence totale d'oxygène, une vitesse de croissance lente des microorganismes, des températures de fonctionnement des digesteurs et une production de biogaz. Actuellement, ce qui ralentit le développement de cette technique n'est pas les performances mais les coûts. Dans le chapitre suivant nous étudierons un procédé qui utilise cette technique.

# Chapitre IV

## **Chapitre IV**

### **Présentation et Evaluation du traitement des rejets liquides des industries de boisson Fruital et Tango**

#### **IV.1. Introduction**

Le traitement anaérobie s'est développé comme la technique de choix pour le traitement des eaux usées des entreprises générant des rejets liquides fortement concentrés en matière organique. De nombreuses industries de production de boissons et des centres de mise en bouteille et en canette ont adopté le traitement anaérobie pour leurs eaux usées [31].

Le méthaniseur ANUBIX™ fournit une solution intégrée pour les besoins énergétiques et en eaux usées des usines de production de boissons. C'est cette technique qui est appliquée au niveau de la station de traitement des eaux usées des entreprises de production de bières (Tango) et de boissons (Fruital) en Algérie. Cette station fait l'objet de la présente étude, dans laquelle nous nous sommes intéressées au suivi de l'évolution des paramètres caractéristiques (débit, DCO, pH et température) de ces effluents, le long du processus de traitement, l'objectif étant de déterminer son efficacité.

#### **IV.2. Présentation de l'entreprise**

##### **IV.2.1. Histoire et formule de coca cola**

L'histoire de Coca Cola a commencée au 18<sup>ème</sup> siècle, avec JohnStich Pemberton, originaire des Etat unis, né en 1831 dans la ville de Knoxville en Géorgie. Il finit ces études et obtient son diplôme en botanique, et s'intéresse à la médecine notamment des plantes et des substances chimiques pour devenir pharmacien.

Il est gravement blessé lors d'une bataille de la guerre civile en avril 1865. Il est soigné à la morphine et à la cocaïne, seuls produits antidouleur disponibles, donc il a adopté vite une addiction, il utilisera alors ces connaissances en pharmacie pour inventer un produit sensé le désintoxiquer progressivement.

Il crée la première recette ancêtre du Coca-Cola, le French Wine Coca en 1885, c'est une boisson alcoolisée à base de coca, de noix de kola et de damiana, Pemberton, se serait

## ***Chapitre IV : Présentation et évaluation du traitement des rejets liquides d'industries de boisson Tango et Fruital***

---

### **IV.1. Introduction**

Le traitement anaérobie s'est développé comme la technique de choix pour le traitement des eaux usées des entreprises générant des rejets liquides fortement concentrés en matière organique. De nombreuses industries de production de boissons et des centres de mise en bouteille et en canette ont adopté le traitement anaérobie pour leurs eaux usées [31].

Le méthaniseur ANUBIX™ fournit une solution intégrée pour les besoins énergétiques et en eaux usées des usines de production de boissons. C'est cette technique qui est appliquée au niveau de la station de traitement des eaux usées des entreprises de production de bières (Tango) et de boissons (Fruital) en Algérie. Cette station fait l'objet de la présente étude, dans laquelle nous nous sommes intéressées au suivi de l'évolution des paramètres caractéristiques (débit, DCO, pH et température) de ces effluents, le long du processus de traitement, l'objectif étant de déterminer son efficacité.

### **IV.2. Présentation de l'entreprise**

#### **IV.2.1. Histoire et formule de coca cola**

L'histoire de Coca Cola a commencée au 18<sup>ème</sup> siècle, avec JohnStich Pemberton, originaire des Etat unis, né en 1831 dans la ville de Knoxville en Géorgie. Il finit ces études et obtient son diplôme en botanique, et s'intéresse à la médecine notamment des plantes et des substances chimiques pour devenir pharmacien.

Il est gravement blessé lors d'une bataille de la guerre civile en avril 1865. Il est soigné à la morphine et à la cocaïne, seuls produits antidouleur disponibles, donc il a adopté vite une addiction, il utilisera alors ces connaissances en pharmacie pour inventer un produit sensé le désintoxiquer progressivement.

Il crée la première recette ancêtre du Coca-Cola, le French Wine Coca en 1885, c'est une boisson alcoolisée à base de coca, de noix de kola et de damiana, Pemberton, se serait inspiré de la recette du vin Mariani. Le « French Wine Coca » est présenté comme un remède efficace plus que comme un produit de plaisir gustatif. Cependant, à l'interdiction de vente d'alcool dans la ville d'Atlanta, John Pemberton n'a alors d'autres choix que de refaire sa boisson qui est à base d'alcool mais cette voici sans alcool, en 1886 il met en vente sa boisson

## *Chapitre IV : Présentation et évaluation du traitement des rejets liquides d'industries de boisson Tango et Fruital*

---

à base de sirop de cola diluée avec de l'eau gazeuse, et le succès de la boisson de couleur caramel à Atlanta est immédiat. Au fil du temps la boisson a été légèrement modifiée en ajoutant du sucre et de l'acide citrique pour contrebalancer la saveur sucrée.

John Pemberton a rapidement lancé Pemberton Chemical Company, en partenariat avec Frank Robinson pour commercialiser son produit. Peu après, Frank Robinson, lui propose le nom Coca-Cola et le design du logo Coca-Cola est alors devenu sa marque de commerce.

En début du 20<sup>ème</sup> siècle sous la pression de l'opinion publique, la firme coca retire la cocaïne de sa boisson en utilisant des feuilles décocainisées, un procédé chimique permettant d'y extraire les éléments psycho-actifs des feuilles de coca.

En 1888, l'affaire est rachetée par Asa Candler, qui devient le seul détenteur de la formule de Coca-Cola, tenue secrète. C'est alors qu'il fonde The Coca-Cola Company en 1892. En 1899 une nouvelle société naît (la Coca-Cola Bottling Company) permettant de développer un système d'embouteillage indépendant de la compagnie, passant des petites bouteilles en verre jusqu'à nos fameuses cannettes en aluminium et bouteilles en plastiques. Aujourd'hui coca cola est devenue la boisson la plus consommées et la plus vendues au monde [61].

FRUITAL Equatorial Coca-Cola Bottling Company, leader dans le secteur des boissons en Algérie, a commencé son parcours en 1993, depuis, elle produit, distribue et commercialise des boissons gazeuses et des jus. En 2006 FRUITAL noue un partenariat avec le groupe Espagnole ECCBC (Equatorial Coca-Cola Bottling Company) un mariage qui rassemble à la fois un savoir-faire algérien et une expertise internationale [62].

### **IV.2.2. Usine de coca cola**

Pour la fabrication d'une boisson rafraichissante Coca Cola entreprise prend toutes les précautions pour garantir une qualité totale, tout commence à la porte des usines Coca Cola entreprise.

Les ingrédients ne sont déchargés qu'après vérification de la nature de chargement et présentation des certificats de conformité, pour le sucre et le gaz carbonique un échantillon est systématiquement prélevé et analysé avant le déchargement.

## *Chapitre IV : Présentation et évaluation du traitement des rejets liquides d'industries de boisson Tango et Fruital*

---

La qualité de l'eau est essentielle pour Coca Cola entreprise, elle doit satisfaire à des exigences de qualité incontournable. L'eau est filtrée plusieurs fois et traitée pour garantir un gout constant à la boisson.

Les boissons qui sont préparées avec une concentrée, sont stockées dans une zone particulière sécurisée, seuls les laborantins chargés du sirop ont accès.

Avant la phase de remplissage, les boites sont envoyées à tête renversées, et sont lavées avant d'être acheminées vers la zone de remplissage, pour les bouteilles en verre, une inspectrice vérifie automatiquement et systématiquement tous les défauts possibles du verre, les bouteilles en plastiques sont soufflées à partir d'une forme élémentaire appelée préforme, ensuite, elles sont vérifiées, nettoyées et envoyées sous protection vers une unité de remplissage. Le sirop, l'eau et le gaz carbonique parviennent à tête de remplissage automatiquement sans contact avec l'extérieur. Près de 6000 contrôles sont effectués chaque jour dans les lignes de production, des contrôles visuels sont aussi effectués par les opérateurs, chaque contrôle est systématiquement doublé pour garantir sa fiabilité ainsi, le gout l'aspect, taux de sucre et teneur en gaz carbonique.

Après le remplissage, les bouteilles sont immédiatement fermées afin de garantir la qualité de la boisson, les bouteilles sont ensuite étiquetées automatiquement après un contrôle supplémentaire d'adéquation du produit et de l'étiquette.

Des produits finis sont prélevés régulièrement, une partie est analysée immédiatement pour le contrôle qualité.

Aussitôt étiqueter, les produits sont conditionnés puis acheminés vers les airs de stockage pour livraison aux entrepôts de ces clients, le contrôle qualité, l'hygiène et sécurité est au cœur de la stratégie de l'entreprise [63].

### **IV.2.3. Coca cola et développement durable**

The Coca-Cola Company entend utiliser sa force d'impact pour mettre en place une nouvelle stratégie de développement durable avec des objectifs très spécifiques d'ici à 2025, autour de trois axes prioritaires : les boissons, l'emballage, et la société. Trois actions complémentaires concernant le climat, l'eau et la chaîne logistique soutiennent ces axes, et l'impact positif dans chaque région où elle est présente [64]. L'eau constitue l'un des piliers de son plan d'action pour le développement durable, car l'eau est le principal ingrédient des

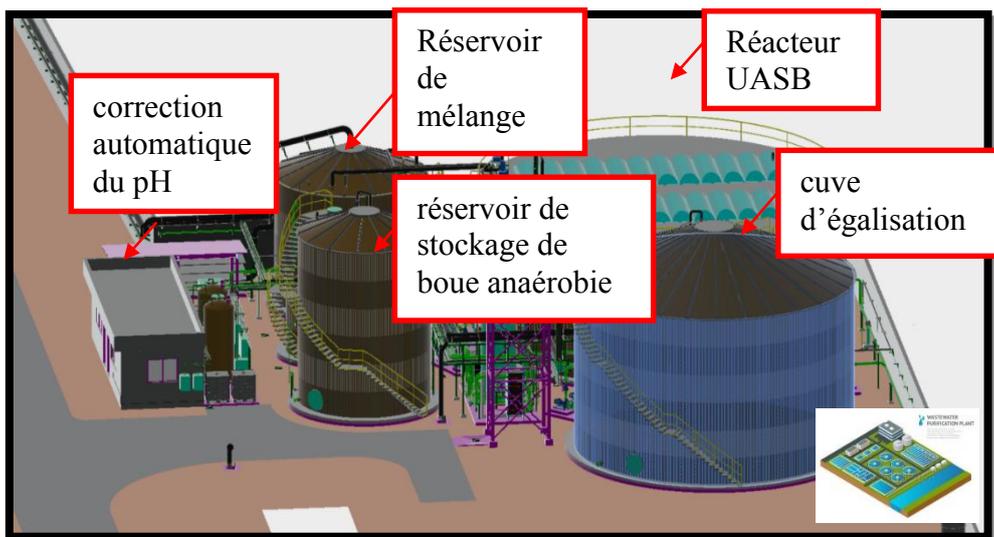
## *Chapitre IV : Présentation et évaluation du traitement des rejets liquides d'industries de boisson Tango et Fruital*

produits de Coca-Cola, ainsi un intrant dans les procédés de production pour refroidir, laver et rincer. Elle est aussi indispensable pour cultiver les ingrédients naturels de ces boissons. The Coca-Cola Company met donc tout en œuvre pour réduire sa consommation, et restaurer l'équilibre en restituant l'eau au milieu naturel, cette politique consiste à traiter correctement l'eau dédiée à la fabrication via un système de traitement des eaux usées avant de la rejeter dans la nature, conformément à ces normes internes, aux lois et réglementations locales et aux exigences imposées par la protection de la vie aquatique [65].

### **IV.3. Présentation de la station d'épuration**

#### **IV.3.1. Description de la station**

La station d'épuration de Fruital / Tango (La brasserie Tango fait partie du groupe Heineken et produit de la bière) est une station de traitement commun avec Tango, une station de prétraitement local Fruital avant l'envoi vers la station commune chez Tango. La STEP est capable de traiter un débit max  $200 \text{ m}^3 / \text{h}$  avec une DCO inférieure ou égale à  $2000 \text{ mg/l}$ .



*Figure IV.1: Schéma représentatif de la STEP Fruital/Tango*

### **IV.3.2. Localisation de la station**

La station d'épuration de Fruital/Tango se situe dans la zone Industrielle de Rouïba Route Nationale 5, Rouïba 16017, à l'Est de la ville d'Alger. Conçue pour traiter des eaux usées d'origine industrielle issue des entreprises Fruital Coca-Cola et Tango.

### **IV.3.3. Caractéristiques des rejets**

La composition des différents flux d'eaux usées et des eaux usées générales à traiter dans la nouvelle station de traitement des eaux usées (STEP) est présentée dans les tableaux (IV.1) et (IV.2).

#### **a) Les eaux usées industrielles**

Les entreprises Fruital et Tango prétraitent leurs eaux usées industrielles (Effluents de fabrication ou de procédés, eaux des circuits de refroidissement, eaux de lavage des sols et des machines) dans leurs stations de prétraitement respectives, avant de les envoyer vers leur station commune (STEP).

#### **b) Les eaux usées domestiques**

Les eaux usées domestiques (des toilettes, cuisines, restaurant, douches, ...) de Fruital et de Tango sont aussi traitées dans la STEP. Toutes les toilettes sont connectées à des fosses septiques, les eaux usées des cuisines passent d'abord dans un séparateur de Graisses & Huiles. Il est assumé que les fosses septiques fonctionnent correctement et sont vidées régulièrement.

#### **➤ Fruital**

Une production des eaux usées domestiques, est estimée de 75 l/employé. Puisque Fruital a 800 employés, le montant total de la production des eaux usées domestiques est de 60 m<sup>3</sup>/j. les caractéristiques des eaux usées sont estimées telles que présentées dans le Tableau (IV.2).

**Chapitre IV : Présentation et évaluation du traitement des rejets liquides  
d'industries de boisson Tango et Fruital**

---

*Tableau IV.1 : Caractéristiques des eaux usées industrielles Fruital*

Paramètre	Valeur	Valeur/J
<b>Débit</b>		
• <b>Moyen</b>	125 m <sup>3</sup> /h	3000 m <sup>3</sup> /jour
• <b>Maximum</b>	200 m <sup>3</sup> /h	
<b>DCO</b>	2.000 mg/l	6.000 kg/jour
<b>DBO5</b>	1.250 mg/l	3.750 kg/jour
<b>(MES)</b>	100 mg/l	300 kg/jour
<b>Total N</b>	10 mg/l	30 kg/jour
<b>Total P</b>	2,5 mg/l	7,5 kg/jour
<b>Graisses, huiles et souillures (FOG)</b>	< 50 mg/l	
<b>Huile minérale</b>	< 10 mg/l	
<b>Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b>	100 mg/l	
<b>Chlorures (Cl<sup>-</sup>)</b>	<500 mg/l	
<b>pH</b>	4,5	
<b>Température</b>	22 – 28 °C	

*Tableau (IV.2) : Caractéristiques des eaux usées domestiques Fruital*

Paramètre	Valeur	Valeur/J
<b>Débit</b>		
• <b>Moyen</b>	• 2,5 m <sup>3</sup> /h	• 60 m <sup>3</sup> /j
<b>DCO</b>	430 mg/l	25,8 kg/jour
<b>DBO5</b>	190 mg/l	11,4 kg/ jour
<b>(MES)</b>	210 mg/l	12,6 kg/ jour
<b>Total N</b>	40 mg/l	2,4 kg/ jour
<b>Total P</b>	7 mg/l	0,4 kg/ jour
<b>Graisses, huiles et souillures (FOG)</b>	90 mg/l	
<b>Huile minérale</b>	< 10 mg/l	
<b>Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b>	30 mg/l	
<b>Chlorures (Cl<sup>-</sup>)</b>	50 mg/l	

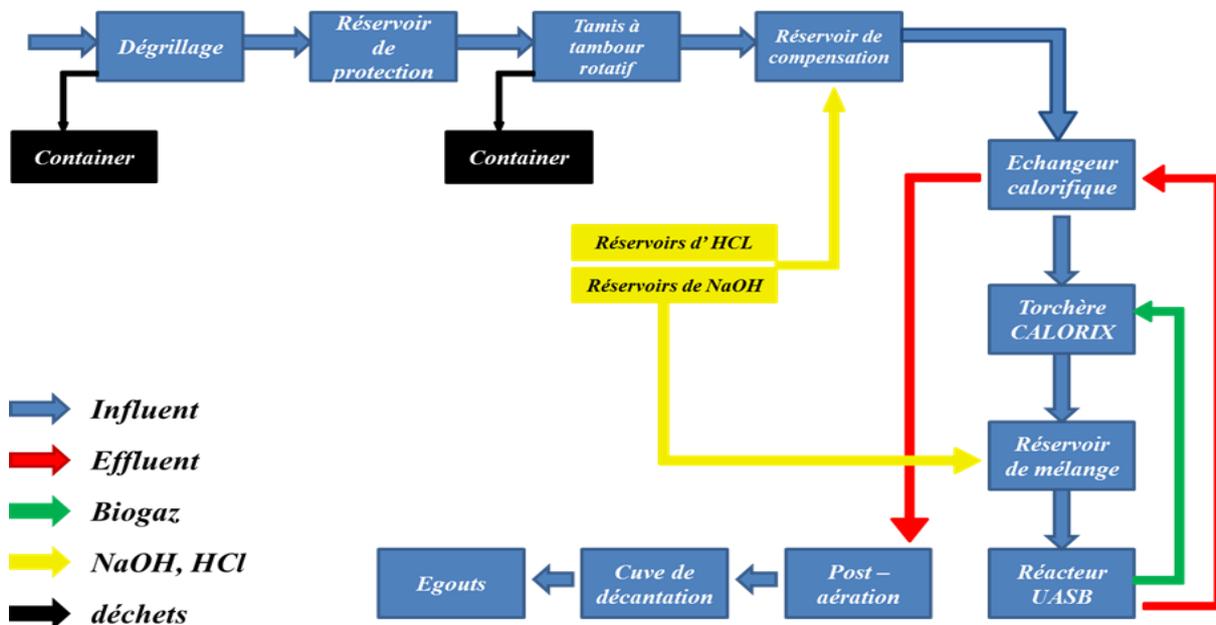
**Chapitre IV : Présentation et évaluation du traitement des rejets liquides  
d'industries de boisson Tango et Fruital**

<b>pH</b>	6-8
<b>Température</b>	>22 °C

**IV.3.4. Principe de fonctionnement**

La station d'épuration Fruital/Tango basée sur le traitement biologique anaérobie par le procédé de l'ANUBIX™ – B, repose sur un type de réacteur UASB (un traitement par Lit de Boues Anaérobies à Flux Ascendant). La dégradation de la matière organique qui a lieu dans le réacteur est un phénomène complexe générateur du biogaz, réalisé par les microorganismes.

Comme indiqué sur la figure (IV.2), les eaux usées sont d'abord filtrées puis recueillies dans un réservoir tampon avec un agitateur. Ce réservoir est conçu afin d'assurer une compensation qualitative et quantitative suffisante et pour acidifier partiellement les eaux usées. Ainsi, les boues sont de meilleures qualités et le fonctionnement est plus stable lors de la prochaine étape au niveau du méthaniseur ANUBIX™ – B. Afin d'assurer le bon déroulement du procédé global, des dispositions ont été prises pour la pré-sédimentation des solides, le chauffage, le refroidissement, le dégazage du CO<sub>2</sub> et la neutralisation.



*Figure IV.2: Schéma général du procédé de la STEP Fruital/Tango*

#### **IV.3.5. Description des installations**

##### **a) Dégrilleur grossier**

Le dégrillage est assuré avec un dégrilleur à barres verticales, type chaîne dont l'espacement des barres est de 10,0 mm, d'une capacité de 38 m<sup>3</sup>/h (débit de l'influent d'eaux usées moyen) et avec un débit max de 60 m<sup>3</sup>/h. Le matériau de construction du corps, de chaîne et des barres est du l'acier inoxydable.

Le processus de dégrillage est la première opération de pré-traitement dans la station de traitement des eaux usées; son choix optimale implique une réduction de la charge organique en entrée aux suivants traitements d'épuration. En outre, le dégrillage parfaitement en état de marche permet de réduire les problèmes d'engorgement des pompes et équipements en aval du dégrillage. Les débris seront collectés dans un conteneur, afin d'être évacués.



*Figure IV.3 : Photographie de dégrilleur grossier*

##### **b) Bassin de protection**

Un réservoir en béton, pouvant traiter un débit moyen de 38 m<sup>3</sup>/h pour  $\pm 12$  heures, et un débit max de 60 m<sup>3</sup>/h pour un temps de rétention de  $\pm 8$  heures. Ce réservoir est conçu afin de collecter les eaux usées avec des valeurs de DCO, pH ou de température trop élevées qui seront ensuite pompées doucement vers le puisard lorsque la capacité de la station le permet. Le bassin de protection est équipé d'un système d'aération à jet immergé existant.

**c) Tamisage**

Le tamisage est assuré par un tamis à tambour rotatif (figure IV.4) et traite un débit de 260 m<sup>3</sup>/h, dont la capacité peut aller jusqu'à 300 m<sup>3</sup>/h. La taille du maillage du tamis est de 1,0 mm. Les grilles verticales concaves sont en acier inoxydable à auto nettoyage assisté, l'eau brute étant distribuée suivant un rideau d'eau vertical, les particules retenues sont entraînées hydrauliquement vers un réceptacle inférieur.

L'objectif de cette opération étant l'élimination des particules fines dans le flux d'eaux usées brutes issues de la pompe de puisard de l'influent. Il peut aussi s'accompagner de l'élimination d'une partie significative de la pollution en suspension et, éventuellement, de sa revalorisation.



*Figure (IV. 4) : Photographie du tamis à tambour rotatif*

**d) Réservoir d'homogénéisation/tampon (Réservoir de compensation)**

Le réservoir de compensation (figure IV.5) est du type boulonné en acier vitrifié, dont la capacité de débit de l'influent est de 260 m<sup>3</sup>/h, avec une durée de rétention  $\pm$  8 h pour le débit quotidien. Il est équipé d'un système de mesure et de contrôle du niveau. Dans ce bassin, une pré-acidification partielle (fermentation acidogène) a lieu, neutralisant ainsi les valeurs de pH élevées. Le débit de sortie est contrôlé en fonction du niveau dans le réservoir afin d'avoir un débit régulier et peu variable.



*Figure (IV.5) : Photographie du réservoir de compensation*

Des solutions de HCl et NaOH peuvent être dosées dans ce bassin (automatiquement, contrôle du pH). Le but est de garantir que le pH du bassin tampon soit en permanence entre 4,5 et 8,5 pour que les réactions biologiques d'acidification puissent perdurer. En dehors de cette gamme, les bactéries d'acidification seront épuisées, ce qui engendrerait des conséquences très négatives pour le méthaniseur/réacteur anaérobique. Le bassin tampon est brassé via un mélangeur immergé pour éviter les dépôts.

- **Réservoir de stockage du NaOH** : C'est un réservoir en PEHD, double paroi, de volume de 5 m<sup>3</sup> (humide) – pour des solutions à 25 % NaOH.
- **Réservoir de stockage du HCl** : C'est un réservoir en PEHD, double paroi, de volume de 5 m<sup>3</sup> (humide) – pour des solutions à 35% HCl, un épurateur des vapeurs de HCl est intégré.

Ces réservoirs (figure IV.6) sont prévus pour assurer une bonne valeur de pH pour les eaux usées entrantes dans le méthaniseur en mélangeant des eaux usées prétraitées à l'effluent anaérobie et en dosant le NaOH ou le HCl. Le dosage de l'acide chlorhydrique (12 % HCl) n'est prévu qu'en pause. La soude caustique (50 % NaOH) est utilisée pour la neutralisation du pH.



*Figure IV.6 : Schéma de la cuve acide soude*

**e) Echangeur calorifique influent-effluent**

Le préchauffage des influents froids est assuré grâce à des effluents anaérobies chauds via l'utilisation d'un échangeur calorifique influent/effluent type « wide-gap ». Un bypass manuel de l'échangeur calorifique avec les connexions nécessaires pour un branchement sur une unité NEPCIP mobile est prévu. Il a comme objectif d'accroître la température de l'influent de 20 °C à 30°C et réduire la température de l'effluent dans le réacteur anaérobie de 35 °C à 30°C. Ceci permet de réduire le chauffage nécessaire dans l'unité.

**f) La torchère « CALORIX™ »**

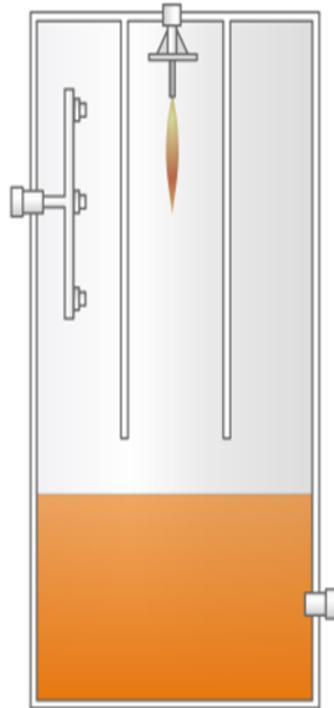
Dans le système CALORIX™, le biogaz est brûlé à la pression atmosphérique dans une chambre de combustion qui est montée au centre d'une cuve en acier inoxydable et suspendue au toit. Un brûleur sur le toit de la cuve projette une flamme vers le bas dans la chambre de combustion. La cuve est partiellement remplie avec des eaux usées et l'extrémité de la flamme chaude est juste au-dessus de la surface de l'eau [31].

Les gaz d'échappement chauds sont déviés par la surface de l'eau dans un espace annulaire autour de la chambre de combustion centrale. Les eaux usées sont vaporisées autour de cet espace annulaire pour être chauffées, refroidissant ainsi la chambre de combustion depuis

## *Chapitre IV : Présentation et évaluation du traitement des rejets liquides d'industries de boisson Tango et Fruital*

---

l'extérieur et cela refroidit et lave également les gaz d'échappement. Les eaux usées circulent depuis le fond de la cuve vers l'espace de tête via une pompe centrifuge et un ensemble de buses de pulvérisation anti-colmatage [31].



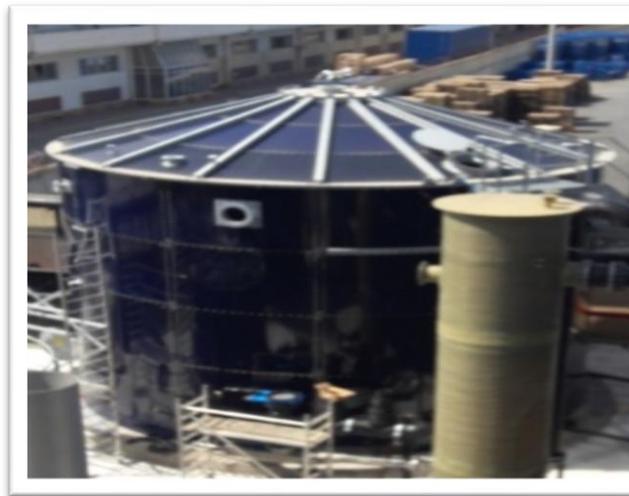
*Figure IV. 7 : Schéma de la torchère « CALORIX™ » [31]*

### ➤ **Le chauffage direct des eaux usées par le système CALORIX™**

Les eaux usées froides et fraîchement filtrées entrent continuellement dans la cuve. Elles sont chauffées en quelques minutes puis sortent de la cuve par gravité via un seuil à niveau constant. Toute la chaleur de la combustion est transférée depuis les gaz d'échappement vers les eaux usées. La chaleur supplémentaire est récupérée via la condensation de l'eau. Les particules de poussières, les NO<sub>x</sub> et le SO<sub>2</sub> sont également absorbés et dissous en grande partie dans l'eau, ainsi l'unité CALORIX™ est un système de chauffage très propre et permet d'éviter d'avoir à obtenir de nombreux permis qui sont nécessaires pour des chaudières plus importantes.

**g) Bassin de mélange**

Le bassin de mélange boulonné est en acier vitrifié (figure IV.8), recevant un débit de l'influent de 166 m<sup>3</sup>/h + celui du recyclage de 124 m<sup>3</sup>/h, soit un débit total 290 m<sup>3</sup>/h pour ± 10 minutes, et fonctionnant dans des conditions de température de 30 à 38 °C et de pH allant de 6,8 à 7,2.



*Figure IV.8: Photographie du réservoir mélange*

Le rôle majeur du bassin mélange est le dégazage des effluents anaérobies recyclés après mélange avec l'influent de faible pH. Cet effluent recyclé est saturé avec du CO<sub>2</sub> et riche en bicarbonates. Au moment du mélange avec l'influent acide tamponné, le CO<sub>2</sub> est expulsé du mélange d'eaux usées. Cette perte d'acidité réduit le prérequis en compléments alcalins (= consommation de soude caustique) du système de traitement anaérobie, en particulier lors du traitement d'eaux usées riches en carbohydrates avec peu d'alcalin comme c'est le cas ici.

#### **h) Le réacteur UASB**

##### **➤ Capacité et utilisation**

Le réacteur ANUBIX™ – B, 7ème de sa génération depuis 1979 dont le matériau de construction est de l'acier boulonné vitrifié, peut recevoir un débit quotidien de 166 m<sup>3</sup>/h, et gérer des taux de charge importants (jusqu'à 11.057 kg de DCO/m<sup>3</sup>/j). Néanmoins, le réacteur ANUBIX-B est généralement conçu pour des taux de charge plus faibles afin de faire face aux événements imprévus et de maximiser l'efficacité qui peut atteindre 85 % de l'élimination de la DCO.



*Figure IV. 9: Réacteur UASB (a) Vue d'ensemble, (b) Vue schématique du fonctionnement du réacteur*

##### **➤ Le principe de fonctionnement de l'UASB**

###### **• Traitement de l'effluent**

Les eaux usées brutes sont alimentées dans le réacteur ANUBIX™ – B via un système de distribution interne de l'influent. C'est le système de tuyaux en bas du méthaniseur ANUBIX™-B. Les tuyaux sont organisés en boucles parallèles et ont de nombreux orifices via lesquels les eaux usées entrantes sont injectées dans le lit de boue. Les eaux usées montent depuis la partie inférieure vers la partie supérieure du réacteur à une vitesse prédéterminée en passant à travers un lit de boues anaérobies actives. La digestion anaérobie de la matière organique a lieu dans le méthaniseur ANUBIX™ – B. Les composés organiques (tels que les sucres) sont principalement dégradés par des bactéries anaérobies (boues) puis convertis en

biogaz (un mélange de méthane et de dioxyde de carbone). Seule une petite croissance des boues a lieu durant cette étape [31].

- **Formation des boues granulaires anaérobies**

Dans la partie inférieure du réacteur ANUBIX™ – B, les boues se concentrent (jusqu'à 10 % de MS – « Matières sèches ») et développent une structure granulaire (biofilms). Lorsque le stress hydraulique est suffisant et dans les conditions appropriées, créées par le réacteur ANUBIX™ – B, la structure granulaire est atteinte spontanément sans nécessité d'additif. Ces biofilms ou granules microbiennes ont un diamètre compris entre 0,5 à 2 mm et sont autosupportés (en suspension dans le réacteur), mais assez grosses et denses pour ne pas être emportées par la vitesse ascensionnelle, qui se situe souvent aux environs des 0,58m/h.

- **Séparateurs triphasiques uniques**

Les eaux usées entrent dans la partie inférieure du réacteur via un système de distribution unique et sortent en haut du réacteur à travers un séparateur trois phases intégré qui redirige le biogaz et retient même les plus petits floccs de boues méthanogènes. Les unités modulaires du séparateur, construites en acier inoxydable et en plastique renforcé de fibre de verre (PRV), sont équipées de plaque de séparation parallèle avec un « flux croisé » afin que même les floccs les plus petits, puissent être retenus et retournés dans le milieu du méthaniseur. L'effluent sort du réacteur via un conduit collecteur. Le biogaz est envoyé pour être traité, utilisé ou éliminé via une torchère de biogaz [31].

- **Mode recirculation**

Le mode recirculation permet une meilleure répartition et expansion du lit de boue dans le méthaniseur et le chauffage du contenu du méthaniseur pour l'initiation de son alimentation.

Il faut d'abord remplir le méthaniseur avec de l'eau propre jusqu'à la limite de trop plein et laisser l'eau déborder dans le réservoir de rétention de l'effluent. En l'absence d'arrivée d'eaux usées issues de réservoir de compensation, l'effluent issu du méthaniseur sera entièrement recyclé. Ensuite, Un chauffage initial de l'eau présente dans le réacteur anaérobie durant le mode recirculation pour préparer le réacteur anaérobie pour la boue d'ensemencement. Une fois que la boue d'ensemencement a été transférée dans le méthaniseur, il faut déterminer la quantité d'eaux usées qui peut être traitée lors du démarrage. Et pour ce faire il faut réaliser

## Chapitre IV : Présentation et évaluation du traitement des rejets liquides d'industries de boisson Tango et Fruital

une analyse des eaux usées (DOC, MES, total N, total P, ...) pour ce cas le débit est réglé à 166 m<sup>3</sup>/h.

Pour la première alimentation, il faut modifier la direction du débit de l'effluent qui sera envoyé par les pompes vers l'échangeur calorifique influent-effluent. Ainsi, l'effluent sera recyclé dans l'unité Calorix™ pour un chauffage plus poussé (figure IV.10).

Une fois que le temps de rétention établi pour les réactions de pré-acidification dans le réservoir de compensation, la valve de contrôle de débit en aval de réservoir de compensation doit initialement être opérée au débit souhaité en fixant une consigne manuelle suivant l'ingénieur procédé de GWE. Comme le méthaniseur doit déjà être en mode recirculation, les eaux usées seront mélangées avec l'effluent recyclé et un débit ascendant suffisant (de mélange) est maintenu. Le recyclât diminuera automatiquement, puisque la valve de mélange réduit le recyclât lorsque le niveau dans le réservoir de mélange augmente. Une fois que l'alimentation du réacteur initiée, la production de biogaz doit être suivie.

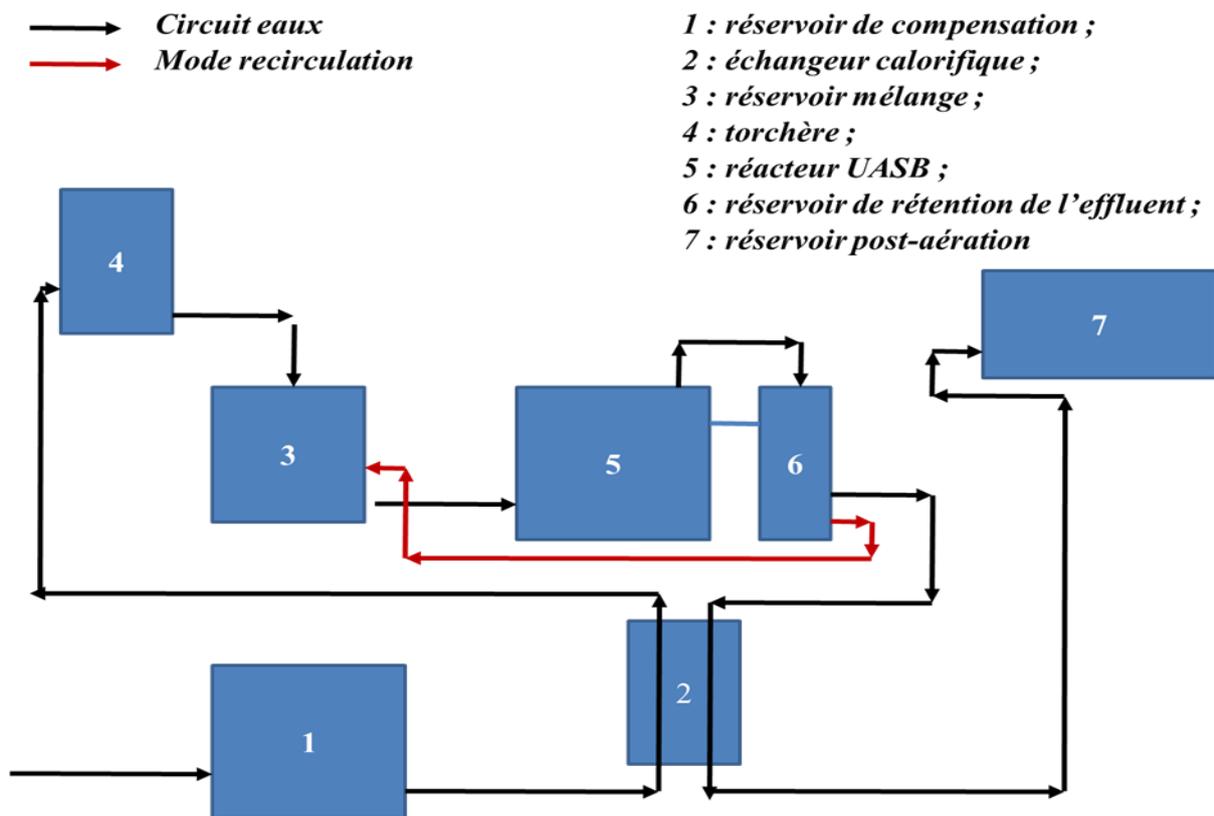


Figure IV.100 : Schéma explicatif du mode recirculation

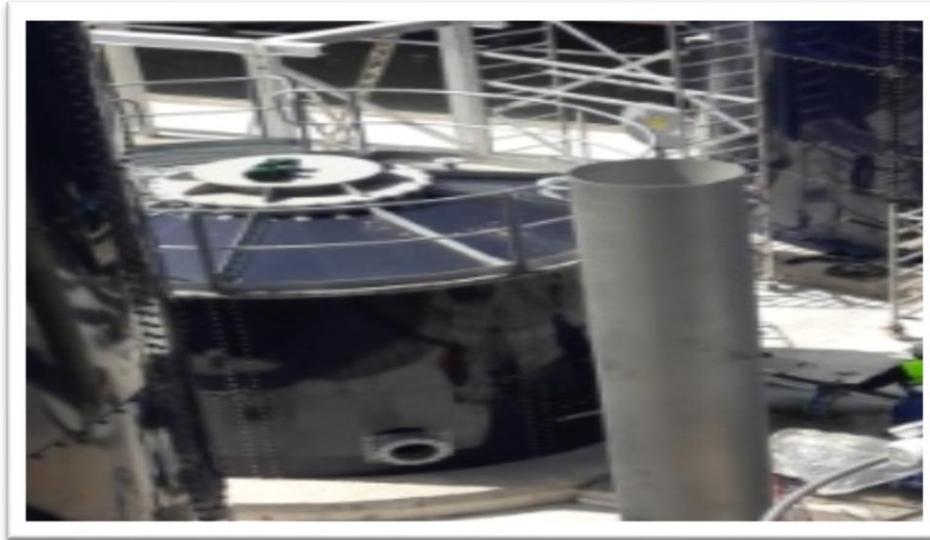
**i) Réservoir de stockage des boues anaérobies**

Il s'agit d'un réacteur fermé en acier boulonné vitrifié de capacité de 284 m<sup>3</sup>, la hauteur du lit de boue dans ce réacteur est approximativement de 1 m. Avec le temps, de plus en plus, les boues anaérobies s'accumulent dans le réacteur de méthanisation. Au bout d'un ou deux ans (de fonctionnement continu), il est généralement temps d'évacuer les boues excédentaires. Après déshydratation de ces dernières au moyen du décanteur, elles sont stockées en attente de trouver une solution.

Les boues excédentaires sont souvent recherchées pour servir de boue d'amorçage pour le démarrage d'autres réacteurs anaérobies.

**j) Réservoir Post-aération**

Le réservoir post- aération est en béton, et reçoit un débit moyen de 166 m<sup>3</sup>/h de l'effluent issu de l'échangeur calorifique, il est prévu pour accroître la concentration en oxygène au sein de l'effluent pour éliminer les sulfures (26– 28 mg/l soit 103,5 – 111,4 à la sortie du réservoir), qui sont à l'origine de l'odeur. Les sulfures sont oxydés chimiquement avec de l'oxygène et dissout en soufre, thiosulfate et sulfate. Le réservoir post-aération fournit également une compensation supplémentaire des niveaux de MES de l'effluent eu sein du réacteur anaérobie (nivellement des pics). L'aération de l'effluent anaérobie avant son rejet dans les égouts existants élimine le risque de corrosion des égouts. L'aération est réalisée grâce à des soufflantes qui poussent l'air à travers des diffuseurs d'air à micro bulle situés en bas du réservoir post-aération. Un agent anti-moussant est dosé afin d'éliminer la mousse qui se développe à l'intérieur du réservoir post-aération.



*Figure IV.11: Photographie du réservoir de post-aération*

L'air ventilé produit par les espaces de tête et le réservoir post-aération, le bassin de mélange, le réservoir de boue anaérobie, le méthaniseur, le bassin de protection et le réservoir de compensation, est collecté et sera envoyé vers le bio-filtre installé sur la partie supérieure du réservoir post-aération. Le bio-filtre assurera l'élimination des odeurs de l'air ventilé avant qu'il ne soit libéré dans l'environnement.

#### **k) Le bio-filtre ODORIX™**

Le bio-filtre ODORIX™ est un système efficace de contrôle des odeurs pour les installations de traitement biologique des eaux usées. Le bio-filtre ODORIX™ est conçu comme un bassin rectangulaire ou cylindrique en polyéthylène haute densité (PEHD) anti-corrosion. Il comprend une chambre d'humidification de l'air, avec des buses de pulvérisation, une pompe de recyclage et une chambre de filtrage.

L'air vicié est amené au système ODORIX™ via des ventilateurs et passe à travers un lit de média filtrant. Une vaporisation d'eau maintient l'environnement du filtre humide pour fournir des conditions idéales à la croissance microbienne au sein du filtre, et une source de nutriment (N, P) doit être ajoutée. La boue liquide biologique fine (anaérobies ou aérobies) issue de la STEP est une très bonne source, et généralement disponible sur le site. Les acides organiques sont dégradés. Le sulfure d'hydrogène est oxydé en soufre et en acide sulfurique qui est ensuite neutralisé par le calcaire ajouté comme tampon dans le média du filtre.

**1) Réservoir d'agent anti-moussant**

Le baril pour agent anti-moussant, est installé sur une dalle de béton tapissée de PEHD, le volume du stockage de baril est de 60L tel que fournit par le fournisseur. Une connexion flexible est réalisée avec la pompe de dosage via le haut du baril, avec une alarme pour les niveaux faibles et un commutateur pour le niveau extrêmement faible. L'agent anti-moussant est dosé dans le réservoir post-aération lorsque nécessaire.

Après traitement, ces eaux finales sont déversées vers une seconde station municipale (station de traitement des eaux usées de Reghaia) par les réseaux assainissement pour un traitement finale avant rejet vers le milieu naturel.

#### **IV.4. Appareils et méthodes**

##### **IV.4.1. Échantillonnage**

L'échantillonnage est une étape très importante pour le suivi de la STEP. Les résultats des analyses ne peuvent pas être fournis de manière fiable si les échantillonnages sont mal réalisés.

**a) Objectif :**

Collecter les échantillons représentatifs de chacun des différents points d'échantillonnage de la STEP.

**b) Procédure :**

- 1.** Ouvrir la valve fournie pour un point d'échantillonnage spécifique pendant au moins 10 secondes. Ceci élimine ou purge le liquide restant sur la ligne depuis l'échantillonnage précédent.
- 2.** Collecter le volume nécessaire pour les analyses dans un récipient approprié correctement étiqueté. Pour les analyses de DCO, pH, et température un échantillon de 100 à 500 ml est nécessaire.
- 3.** Amener les échantillons au laboratoire pour les analyses requises.

Les résultats étudiés dans la partie suivante, sont ceux des échantillons prélevés :

-A l'entrée : bassin de protection

-A la sortie : post aération

##### **IV.4.2. Mesure de température**

**a) Objectif :**

Déterminer la température réelle des différents échantillons de l'UTEU pour un contrôle et des ajustements adaptés.

**b) Mode opératoire :**

La mesure de la température est réalisée en même temps que les mesures de pH. Le pH-mètre portable utilisé et doté d'un thermomètre, donc le pH et la température sont mesurés en même temps.

**IV.4.3. Mesure électro métrique du pH :**

**a) Principe**

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

**b) Appareillage**

Le matériel de mesure du pH se compose de :

- Un pH mètre WTW 521 équipé d'une électrode combinée ;
- Un thermomètre intégré ;
- Un agitateur magnétique.

**c) Mode opératoire**

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

#### **IV.4.4. Détermination de la DCO**

La détermination de la DCO s'effectue par dosage colorimétrique avec le bichromate de potassium.

##### **a) Appareillage**

- DCO mètre
- Thermostat
- Tubes de DCO avec réactifs de digestion et sulfate de mercure,
- Burette,
- Pipette automatique.

##### **b) Réactif**

- Acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ),
- Dichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ).
- L'eau utilisée pour la préparation des réactifs est de l'eau distillée.

##### **c) Mode opératoire**

- Prélever 2 ml d'eau brute et 2 ml d'eau épurée à l'aide d'une burette associée à une pipette automatique, qui seront rajoutés aux deux tubes de réactif à DCO, contenant du dichromate de potassium,
- La plage de mesure du premier tube qui contient les eaux brutes est de [0 à 1500 ppm] et le second, celui des eaux épurées est de [0 à 150 ppm],
- Les deux tubes seront chauffés pendant 2 heures à une température de  $150^{\circ}C$  dans le thermostat,
- Les composés organiques oxydables réduisant les ions dichromate ( $Cr^{6+}$ ) en ions chrome ( $Cr^{3+}$ ),
- Laisser les tubes refroidir 20 min à la température ambiante avant d'effectuer les mesures au DCO mètre,
- Placer les tubes dans le puits de mesure et fermer le capot,
- Lire lorsque le signal est stable et on note le résultat.

## IV.5 Résultats et discussions

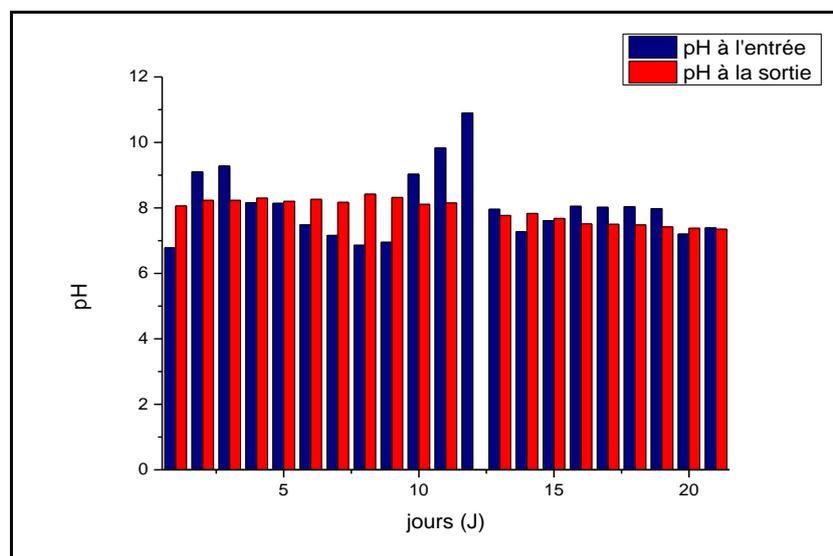
### IV.5.1 Variation du pH en fonction du temps

Le pH influence la plupart des mécanismes chimiques et biologiques dans les eaux. Ce paramètre est un élément important pour l'interprétation de la corrosion dans les canalisations des installations de l'épuration [19].

Des mesures journalières du pH à l'entrée et à la sortie du procédé, ont été effectuées sur une période de 21 jours. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau (IV.3) et représentés sur la figure IV.12.

*Tableau IV.3 : Evolution du pH en fonction du temps*

<b>Jour</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>pH entrée</b>	6,78	9,1	9,28	8,16	8,14	7,48	7,16
<b>ph sortie</b>	8,06	8,23	8,23	8,3	8,2	8,26	8,17
<b>Jour</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
<b>pH entrée</b>	6,86	6,95	9,03	9,83	10,9	7,96	7,27
<b>pH sortie</b>	8,42	8,32	8,11	8,15	/	7,77	7,83
<b>Jour</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>
<b>pH entrée</b>	7,61	8,05	8,02	8,04	7,98	7,2	7,39
<b>pH sortie</b>	7,68	7,51	7,5	7,48	7,42	7,38	7,35



*Figure IV.12 : variation de pH en fonction du temps*

**❖ Interprétations**

Les valeurs du pH des échantillons d'eau prélevés à la sortie sont légèrement basiques et varient entre 7,32 et 8,42, ces résultats sont en accord avec les valeurs limites (5,5-8,5) indiquées dans le journal officiel Algérien N° 36, 2006.

La stabilité du pH dans une gamme presque neutre est due à l'absence des acides organiques produits à partir de la matière organique. Ces acides sont généralement consommés lors de la dernière étape de la digestion anaérobie dans le méthaniseur pour produire du biogaz.

**IV.5.2. Variation de la température en fonction du temps**

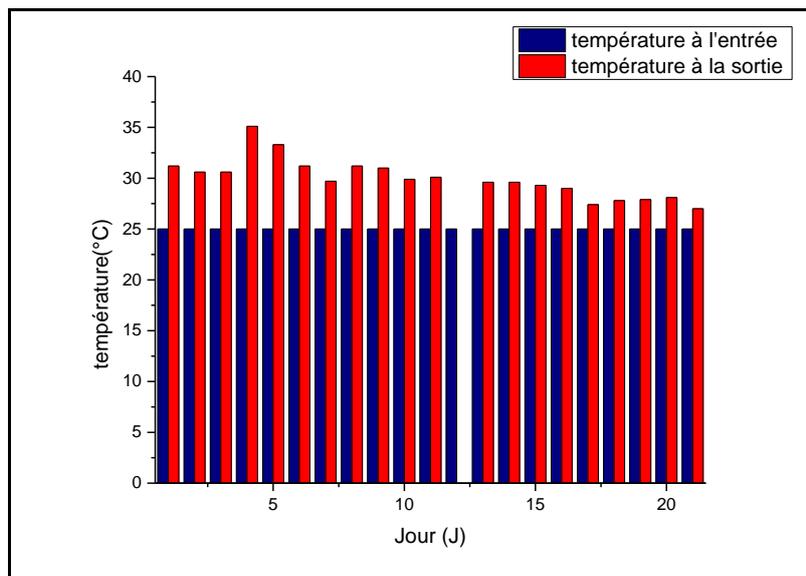
La température est un facteur abiotique important. Sa mesure est nécessaire, étant donné le rôle qu'elle joue dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH. L'augmentation de ce paramètre favorise l'autoépuration et accroît la vitesse de sédimentation, ce qui présente un intérêt dans les stations d'épuration. Par ailleurs, avec la température les réactions chimiques et biochimiques s'accroissent [19].

La température à l'entrée du procédé est la température ambiante, elle varie entre 25°C et 30°C. Les résultats de mesure de la température à la sortie du procédé sont regroupés dans le tableau (IV.4)

*Tableau (IV.4) : Variation de la température en fonction du temps*

<b>Jour</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>T° de sortie</b>	31,2	30,6	30,6	35,1	33,3	31,2	29,7
<b>Jour</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
<b>T° de sortie</b>	31,2	31	29,9	30,1	0	29,6	29,6
<b>Jour</b>	15	16	17	18	19	20	21
<b>T° de sortie</b>	<b>29,3</b>	<b>29</b>	<b>27,4</b>	<b>27,8</b>	<b>27,9</b>	<b>28,1</b>	<b>27</b>

Pour mieux illustrer ces variations, ces résultats sont représentés sur la figure IV.13. Nous remarquons que la température de sortie varie entre 27 et 33,3°C.



*Figure IV.13: Variation de la température en fonction du temps*

#### ❖ Interprétations

Les valeurs de la température varient entre 27°C et 35,1°C, c'est-à-dire, le procédé, notamment le méthaniseur fonctionne dans une plage mésophile, il est à noter, comme déjà indiqué dans le chapitre III que la plupart des méthanogènes (microorganismes) sont mésophiles. La présence de ce type de microorganismes, en grand nombre reflète l'augmentation de la consommation de la matière organique et la production du biogaz, ce qui conduit à un rendement épuratoire élevé.

Les valeurs moyennes de la température détectées à la sortie du méthaniseur sont proches de la valeur limite (30°C) des eaux usées autre que domestique énoncé par le journal officiel algérien N° 36, 2009.

#### IV.5.3 La variation de la DCO :

La DCO correspond à la quantité d'oxygène consommée par voie chimique pour oxyder l'ensemble des matières oxydables présentes dans l'eau. La DCO est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un effluent industriel [9].

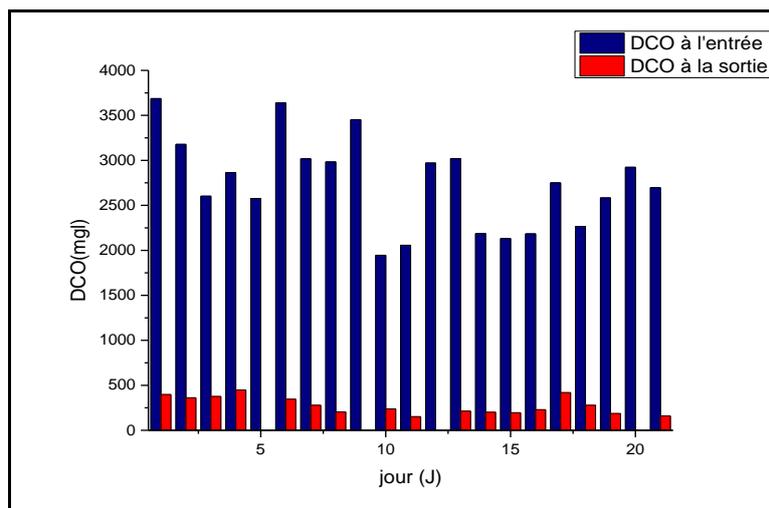
Le tableau (IV.5) représente des résultats des mesures journalières de la concentration en DCO à l'entrée et à la sortie du procédé pendant une période prédéterminé.

**Chapitre IV : Présentation et évaluation  
du traitement des rejets liquides d'industries de boisson Tango et Fruital**

**Tableau (IV.5) : Variation de la DCO en fonction du temps**

Jour	1	2	3	4	5	6	7
Entrée	3687	3178	2602	2864	2577	3639	3018
Sortie	397	361	376	448	/	346	278
Jour	8	9	10	11	12	13	14
Entrée	2983	3452	1946	2057	2970	3020	2187
Sortie	204	/	238	151	/	213	201
Jour	15	16	17	18	19	20	21
Entrée	2132	2184	2750	2265	2583	2923	2697
Sortie	195	229	419	278	186	/	159

La figure (IV.14) représente les résultats obtenus de la mesure de la DCO des échantillons des eaux usées prélevés avant et après traitement. Nous relevons de fortes concentrations de la DCO à l'entrée de la station qui peut être attribuée à la production intense de la boisson pendant la saison estivale.



**Figure (IV.14) : Variation de la DCO à l'entrée et la sortie de STEP en fonction du temps**

❖ **Interprétations**

On constate aussi une diminution très significative des valeurs de la DCO après traitement, les valeurs sont inférieures à 419 mg/l, ces valeurs sont en accord avec la valeur limite (1000 mg/l) approuvée par le journal officiel algérien N° 36, 2009. Cet abattement indique clairement l'efficacité du traitement effectué et permet d'obtenir un effluent conforme à la réglementation en vigueur.

**IV.5.4 Evaluation de l'efficacité du traitement**

❖ **Calcul de la valeur de la DCO moyenne des flux combinés**

➤ **Fruital**

- Débit : 3000 m<sup>3</sup>/j
- DCO : 2000 mg/l

➤ **Tango**

- Débit : 920 m<sup>3</sup>/j
- DCO : 3906 mg/l

Après combinaison des deux flux la valeur de la DCO moyenne à l'entrée est estimée à une valeur moyenne de :

- $DCO_{moy} = 2447$  mg/l

En tenant compte des valeurs de la DCO de sortie consignée dans le tableau (IV.5), nous calculons les rendements du traitement sur la base d'une valeur moyenne de la DCO à l'entrée ( $DCO_{moy} = 2447$  mg/l), et en utilisant la formule donnée ci-dessous, on obtient les pourcentages d'élimination de la DCO pendant cette période.

❖ **Evaluation des pourcentages d'élimination de la DCO en fonction du temps**

Le pourcentage d'élimination de la DCO est donné par la formule suivante :

$$(\%) DCO = \frac{DCO_i - DCO_f}{DCO_i}$$

Avec :  $DCO_i =$  DCO initiale (mg d'O<sub>2</sub>/ l)

$DCO_f =$  DCO finale (mg d'O<sub>2</sub>/ l)

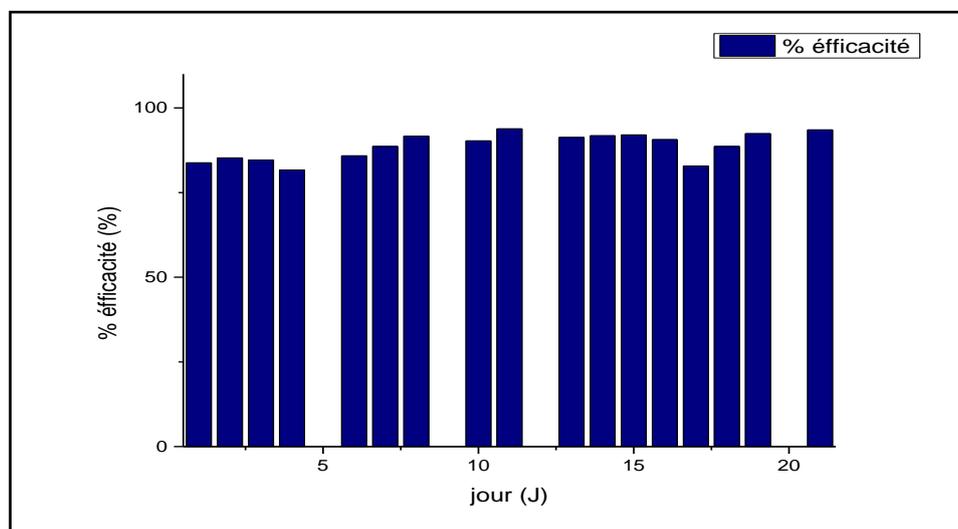
**Chapitre IV : Présentation et évaluation  
du traitement des rejets liquides d'industries de boisson Tango et Fruital**

---

**Tableau (IV. 7) : la variation de l'efficacité d'élimination de la DCO en fonction du temps**

<b>jour</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>Efficacité (%)</b>	83,78	85,25	84,63	81,69	/	85,86	88,64
<b>jour</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
<b>Efficacité (%)</b>	91,66	/	90,27	93,82	/	91,29	91,78
<b>jour</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>
<b>Efficacité (%)</b>	92,03	90,64	82,87	88,63	92,39	/	93,50

Les résultats obtenus du tableau (IV. 7) sont traduits dans le diagramme représenté dans la figure (IV.15)



**Figure (IV.15) : Représentation de la variation des pourcentages de la DCO éliminée en fonction du temps**

❖ **Interprétations**

En suivant le taux d'élimination de la DCO en fonction du temps, on remarque qu'il varie entre 81% et 93,5%, nous pouvons donc conclure que ce procédé présente de bonnes performances avec des rejets qui répondent parfaitement aux normes exigées par la réglementation en vigueur.

# Conclusion

### **Conclusion générale**

Généralement, les technologies d'épuration faisant appel aux micro-organismes pour la dégradation de la matière organique contenue dans les effluents issus des unités industrielles produisant des boissons gazeuses et alcoolisées semblent plus efficaces que les méthodes physico-chimiques. Ces microorganismes éliminent la pollution organique carbonée biodégradable et la pollution inorganique pour assurer leur multiplication et leur développement. Nous avons présenté dans ce travail le procédé de traitement des eaux usées primaires d'origine industrielle de Fruital et Tango par la technique de la digestion anaérobie en utilisant une nouvelle technologie de méthaniseurs de type UASB, "ANUBIX-B<sup>TM</sup>", qui voit son utilisation dans le domaine industriel de plus en plus rencontré en égard aux avantages qu'ils présentent.

L'étude bibliographique nous a permis de cerner les prétraitements adéquats et les conditions favorables lors de la mise en application de ce procédé, ainsi qu'un traitement complémentaire des odeurs.

Au cours de ce travail, on a étudié les caractéristiques des rejets de Fruital/Tango, pour suivre l'évolution du pH, température, et la DCO en fonction temps.

Les résultats ont montré que le pH est maintenu à la sortie dans une gamme légèrement basique, quant à la température, elle varie dans une plage mésophile, cette variation est assurée par un chauffage afin d'améliorer les performances épuratoires du procédé.

Le suivi de l'évolution de la DCO nous a permis d'étudier l'efficacité de ce procédé, l'abattement de la DCO peut atteindre les 93%.

Tenant compte des résultats obtenus au cours de cette étude, et des informations que nous avons apprises sur ce procédé, nous pouvons confirmer que ce dernier fonctionne parfaitement, en termes de mise à disposition des conditions appropriées pour le méthaniseur ou de suivi et d'exploitation des sous-produits.

Nous pouvons donc conclure que le traitement par la méthode biologique anaérobie est très bien adaptée et très indiquée pour la prise en charge des effluents liquides de l'industrie agroalimentaire de fabrication de boissons de différents types. En plus de l'efficacité avérée de cette technique, nous savons que les traitements biologiques sont les mieux indiqués pour l'équilibre écologique et la conservation des ressources qui sont très impliqués dans les autres types de traitement.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

### Références bibliographiques

- [1] **NOTRE PLANETE. INFO**, web site URL : <https://www.notre-planete.info/ecologie/dechets/dechets.php#:~:text=Ces%20d%C3%A9chets%20peuvent%20%C3%AAtre%20d,nature%20avec%20les%20d%C3%A9chets%20verts.&text=De%20plus%2C%20les%20d%C3%A9chets%20li%C3%A9s,particuli%C3%A8rement%20suivis%20pour%20leur%20dangerosit%C3%A9>.
- [2] **SEAFF**, web site URL : [https://www.pseau.org/outils/organismes/organisme\\_detail.php?org\\_organisme\\_id=18938](https://www.pseau.org/outils/organismes/organisme_detail.php?org_organisme_id=18938)
- [3] **EAUFRANCE**, web site URL <https://www.eaufrance.fr/lassainissement-des-eaux-usees-domestiques>
- [4] **F. VALIRON**, La réutilisation des eaux usées, LAVOISIER TEC et DOC Edition BERGM, 1983.
- [5] **S.OURTELLI, S.BRAHIMI**, Contribution à l'étude de l'efficacité du traitement des eaux usées de la station d'épuration de corps gras de Bejaia la(CO.G.B) Labelle après ensemencement. Mémoire de fin de cycle, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia, 2012/2013
- [6] **Y.LIBES**, Les eaux usées et leur épuration, 2010.
- [7] **G. GROSCLAUDE**, L'eau, Revue, Edition INRA, paris 1999.
- [8] **F. REJESK**, Analyse des eaux ; aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentaires techniques pédagogique d'aquitaine, 2002.
- [9] **J. RODIER**, L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Edition Dunod 8<sup>ème</sup>Edition, Paris, 2005
- [10] **O.BENKADI, S.LEZOUL**, Etude de l'efficacité de la station d'épuration de Réghaia et l'impact de la pollution sur le lac de Réghaia. Mémoire de fin de cycle, université de Boumerdes, 2017
- [11] **J-P. DUGUET, F. BERNAZEAU, D. CLERET, A. GAID, A. LAPLANCHE, J. MOLES, A. MONTIEL, G. RIOU, P. SIMON**, Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine. ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'environnement) 1ère Edition, 2006.
- [12] **D. XANTHOULIS**, Valorisation agronomique des eaux usées des industries agro-alimentaires. Article de périodique, 1993.
- [13] **ENCYCLOPEDIA UNIVERSALISE**, Edition ATLAS, 1999

## Références bibliographiques

---

- [14] **DEGREMONT**, Mémento technique de l'eau, Edition LAVOISIER TEC et DOC, 8<sup>ème</sup> édition, Paris, 1978
- [15] **F. TARMOUL, M. SODI**. Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel. Mémoire de fin de cycle, institut des sciences de la mer et de l'aménagement du Littoral, 2007.
- [16] **D. GAUJOUS**, La pollution des milieux aquatiques. Aide-mémoire, 2<sup>ème</sup> édition, revue et augmentée, 1995
- [17] **J. RODIER**, L'analyse de l'eau., Edition Dunond, 9<sup>ème</sup> Edition, Paris, 2009.
- [18] **P. BOUTIN, J.P. BECHAC, B. MERCIER, P. NUER**, Traitement des eaux usées. Edition EYROLLES, Paris, 1968
- [19] **M. TABET**, Etude physico-chimique et microbiologique des eaux usées et évaluation du traitement d'épuration. Thèse de Doctorat, Université de Guelma, 2014/2015
- [20] **T. REVERDY**, Les formats de la gestion des rejets industriels : instrumentation de la coordination et enrôlement dans une gestion transversale. Article, Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS, 2000
- [21] **JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 26**, Les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Décret exécutif N° : 06-141, 19 avril 2006
- [22] **A. DUPONT**, Hydraulique urbaine : hydraulique- captage et traitements des eaux,  
Edition EYROLLES. Paris, 1969
- [23] **M. DEFERANCESI**, L'eau dans tous ces états. Edition Ellipses/ Edition marketing S.A, Paris, 1996.
- [24] **R. DESJARDINS**, Le traitement des eaux. 2<sup>ème</sup> Edition revue et enrichie, 1997.
- [25] **A. CHERFAOUI**, Utilisation du charbon actif en poudre dans le traitement d'une eau polluée par les hydrocarbures, Mémoire de fin e cycle, université USTHB, 1994.
- [26] **CONDORCHEM ENVITECH**, Web site URL:  
<https://condorchem.com/fr/microfiltration-ultrafiltration-nanofiltration/>
- [27] **AGHTM** (Association général des hygiénistes et techniciens municipaux), Les stations de pompage d'eau. Technique et documentation, Paris, 1982.
- [28] **C. GOMELLA**, Le traitement de l'eau publique industrielle et privées. Edition EYROLLES. 2<sup>ème</sup> édition, paris, 1978.

## Références bibliographiques

---

- [29] **J. PERRAS**, Critères de faisabilité pour le traitement biologique du mélange des eaux usées municipales et industrielles. Thèse mémoire, Université du Québec, 1984
- [30] **S. ATTAB**, Amélioration de la qualité microbiologique des eaux Epurées par boues activées de la station d'épuration Haoudberkaoui par l'utilisation d'un filtre a sable local. Mémoire Magister, Université Kasdi Merbah-Ouargla, 2011.
- [31] **GLOBAL WATER AND ENERGY**, Web site URL:  
<http://www.globalwe.com/fr/solutions-fr/eaux-usees/>
- [32] **J. ALBERTO, L. AMARANTE**, Biométhanisation des déchets putrescibles municipaux – technologies disponibles et enjeux pour le Québec. Essai effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement, Sherbrooke, Québec, Canada, juillet 2010.
- [33] **K. BOUDJEMAI, A. DAOUD**, Essai de traitement des boues par le procédé de digestion anaérobie. Mémoire Master II, Université Mouloud Mammeri De Tizi Ouzou, 2016-2017
- [34] **F. BELINE, P. PEU, P. DABERT, A. TREMIER, G-L. GUEN, A. DAMIANO**, La méthanisation en milieu rural et ses perspectives de développement en France. Article 6-13 Sciences Eaux & Territoires 2013.
- [35] **E.- A. CAZIER**, Rôle des gaz dissous dans la digestion anaérobie par voie sèche de déchets ligno-cellulosiques. Thèse de doctorat, Université Montpellier, le 26 novembre 2015.
- [36] **J. – B. ZHANG**, Procédé de traitement anaérobie des boues et de valorisation du biogaz. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, le 12 Décembre 2011.
- [37] **J. ROMAIN, B. ANGELI**, Etude de faisabilité de la micro-méthanisation par co-digestion à l'échelle des quartiers. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Loire, 3 May 2019
- [38] **J – C. MABALA**, Aptitude d'écosystèmes anaérobies industriels à produire du méthane à partir d'éthanol en conditions psychrophile, mésophile et thermophile. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France, 2012.
- [39] **R - R. MENDEZ**, Digestion anaérobie des résidus d'abattoirs de veaux de lait : caractérisation, traitement et modélisation. Thèse de Doctorat, Québec, Canada, 2015.
- [40] **S. BAUDELET**, Méthanisation : du traitement des eaux usées à l'injection de biométhane dans le réseau, Article publié dans Encyclopédie d'énergie, 2017
- [41] **D. VALLERAND**, Effet de réacteurs acidogènes sur la capacité de réacteurs UASB de valoriser des effluents de fromagerie contenant des huiles et graisses. Mémoire de maitrise, Université de Montréal, France, Août 2015.

## Références bibliographiques

---

[42] **J. BOLLON**, Etude des mécanismes physiques et de leur influence sur la cinétique de méthanisation en voie sèche : essais expérimentaux et modélisation. Thèse de Doctorat, INSA de Lyon, France, le 7 Février 2012.

[43] **W. ARRAS**, Étude expérimentale et modélisation de la digestion anaérobie des matières organiques résiduelles dans des conditions hyperthermophiles. Thèse de Doctorat, université du Québec, 6 octobre 2017.

[44] **R. MOLETTA**, Contrôle et conduite des digesteurs anaérobies. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, 2 (2), 265–293, Université du Québec, le 21 juillet 2020.

[45] **Y. BAREHA**, Modélisation des processus de transformation de l'azote en digestion anaérobie: application à l'optimisation de la valorisation des digestats. Thèse de Doctorat. Université de Rennes, le 20 décembre 2018.

[46] **R. MOLETTA**, La méthanisation. Livre, 2<sup>ème</sup> Edition, TEC et DOC, LAVOISIER, Paris 2011

[47] **INP**, web site URL :

[http://hmf.enseiht.fr/travaux/CD0405/beiere/4/html/binome3/proc\\_met.htm](http://hmf.enseiht.fr/travaux/CD0405/beiere/4/html/binome3/proc_met.htm)

[48] **L'EAU, L'INDUSTRIE, LES NUISANCES**, web site URL :

[https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.oieau.org/eaudoc/system/files/documents/45/226163/226163\\_doc.pdf&ved=2ahUKEwjSnLLBm6PtAhUO3aQKHARMAcYQFjADegQIFBAB&usg=AOvVaw1k\\_uM2tDUABf99VBXbQPi7](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.oieau.org/eaudoc/system/files/documents/45/226163/226163_doc.pdf&ved=2ahUKEwjSnLLBm6PtAhUO3aQKHARMAcYQFjADegQIFBAB&usg=AOvVaw1k_uM2tDUABf99VBXbQPi7)

[49] **SIENE & MARNE**, web site URL : <https://eau.seine-et-marne.fr/traitement-des-boues-depuration>

[50] **B.DE CAEVEL, M.DE VOS, J-P. CHABRIER, O. POLLET**, Critères de choix d'une filière adaptée et arbre de décision associée. Revue des filières de traitement/valorisation des boues, septembre 2007

[51] **S.- M. METAHRI**, Élimination simultanée de la pollution Azotée et phosphatée des eaux usées Traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de Doctorat, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 01 juillet 2012

[52] **I.BALTY, V. CARON, M. CHARVOLIN, J. CLUZEAU, C. DAVID, H. DELEPAUT, P. DUQUENNE, B. FACON, E. LECORNET, R. RAPP, O.SCHLOSSER, P. SIMON, R. WERLE**, Station de traitement des eaux usées, prévention des risques biologiques. Edition INRS, 2013.

## Références bibliographiques

---

- [53] **ACTU ENVIRONNEMENT**, web site URL : <https://m.actu-environnement.com/dossiers/traitement-des-boues/traitement-boues-station-epuration.php4>
- [54] **AIR LIQUIDE**, web site URL : <https://industrie.airliquide.fr/savoir-boues-depuration>
- [55] **S. BOUKARY**, Traitement des eaux usées industrielles par des procédés membranaires sous climat sahélien : cas des eaux usées de brasserie au Burkina Faso. Thèse de thèse, Université De Montpellier, Le 8 décembre 2018
- [56] **SUEZ**, web site URL : <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/procedes-biologiques/procedes-a-cultures-libres/types-et-configurations-des-reacteurs-de-boues-actives>
- [57] **CONNAISSANCE DES ENERGIES**, web site URL : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/gazeification?amp>
- [58] **METHANISATION INFO**, web site URL : <https://www.methanisation.info/etapes.html>
- [59] **ENCYCLOPEDIE DE L'ENERGIE**, web site URL : <https://www.encyclopedie-energie.org/methanisation-du-traitement-des-eaux-usees-a-linjection-de-biomethane-dans-le-reseau/>
- [60] **MEDIA WIKI**, web site URL : [https://projets-ima.plil.fr/mediawiki/index.php/P5\\_Commande\\_d%E2%80%99une\\_centrale\\_de\\_production\\_de\\_biogaz](https://projets-ima.plil.fr/mediawiki/index.php/P5_Commande_d%E2%80%99une_centrale_de_production_de_biogaz)
- [61] **COCA-COLA**, web site URL : <http://tpecoca-cola.e-monsite.com/pages/coca-cola-toute-une-histoire.html#:~:text=L%27histoire%20de%20Coca%20Cola,gagner%20facilement%20de%20l%27argent.&text=Le%208%20mai%201886%2C%20le,avec%20de%20l%27eau%20gazeuse.>
- [62] **LINKED IN**, web site URL : [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://dz.linkedin.com/company/fruital-equatorial-coca-cola-algeria-&ved=2ahUKEwjY5oSN1qPtAhW4SRUIHbVZDwMQjgwAHoECAEQAAQ&usg=AOvVaw3-VhML7y\\_itNB5IVHKm-N9](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://dz.linkedin.com/company/fruital-equatorial-coca-cola-algeria-&ved=2ahUKEwjY5oSN1qPtAhW4SRUIHbVZDwMQjgwAHoECAEQAAQ&usg=AOvVaw3-VhML7y_itNB5IVHKm-N9)
- [63] **COCA-COLA EUROPEAN PARTNERS**, web site URL : <https://www.cocacolaep.com/fr/>
- [64] **COCA-COLA EN FRANCE**, web site URL : <https://www.coca-cola-france.fr/nos-engagements/notre-vision/en-action-le-nouvel-engagement-durable-de-the-coca-cola-company#:~:text=Pr%C3%A9sent%20dans%20plus%20de%20200,%20emballage%2C%20et%20la%20soci%C3%A9t%C3%A9.>

## Références bibliographiques

---

[65] **COCA-COLA EN FRANCE** web site URL : <https://www.coca-cola-france.fr/nos-engagements/environnement/eau/comment-coca-cola-restitue-cent-pour-cent-de-l-eau-utilisee-dans-la-fabrication-de-ses-produits>

## Résumé

A l'instar de tous les systèmes à haut rendement, le réacteur anaérobie à lit de boues ou « Up-flow Anaerobic Sludge Blanket » (UASB) a connu un essor marqué ; il ne cesse de s'imposer dans le monde industriel comme l'une des plus prometteuses techniques d'avenir. Cette technique a été essentiellement développée pour l'épuration des eaux usées industrielles notamment pour les rejets des brasseries et de production de boisson, ayant peu de matières solides et de graisses, ce qui favorise la croissance de boues de bonne qualité dans le réacteur UASB. Cette étude repose sur l'évaluation des performances en élimination de la DCO dans la STEP commune Fruitai/ Tango, qui est basée sur le réacteur ANUBIX™ - B de type UASB à alimentation ascendante muni d'un séparateur interne des phases. Un prétraitement et une acidification partielle sont assurés en amont du réacteur anaérobie pour fournir les meilleures conditions du fonctionnement du réacteur, en complément d'une étape aérobie réduite pour l'oxydation des sulfures, les odeurs sont collectées par ventilation et contrôlées par un bio filtre. Ce procédé produit très peu de boues et assure des rendements élevés d'élimination de la matière organique pendant des temps courts, les rendements d'élimination de la DCO peuvent atteindre les 93%. Les valeurs des principaux paramètres des rejets finaux répondent bien aux normes imposés par la réglementation en vigueur. En plus, les installations de la STEP, occupent des superficies réduites et engendrent de coûts d'investissement et de fonctionnement modérés tout en offrant la possibilité de récupérer le biogaz et de l'utiliser à des fins énergétiques.

**Mots-clés :** eaux usées, épuration, anaérobie.

## Abstract

Like all high-efficiency systems, the Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASB) has been booming and continues to make its mark in the industrial world as one of the most promising technologies of the future. This technique was mainly developed for the treatment of industrial waste water, particularly for the discharges from breweries and beverage production, having low solids and fats, which promotes the growth of good-quality sludge in the UASB reactor. This study is based on the evaluation of the elimination performance of COD in the common Fruitai/Tango WWTP, which is based on the ANUBIX™ - B UASB-type, ascending feed reactor with an internal phase separator. Pre-treatment and partial acidification shall be carried out upstream of the anaerobic reactor to provide the best operating conditions of the reactor, in addition to a reduced aerobic stage for sulphide oxidation, odors are collected by ventilation and controlled by a bio filter. This process produces very little sludge and ensures high removal yields of organic matter for short time, removal yields of COD can reach 93%. The values of the main endpoints for final releases are consistent with the regulatory requirements. In addition, the WWTP facilities occupy small areas and generate moderate capital and operating costs while offering the possibility of recovering biogas and using it for energy purposes.