



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI OUZOU  
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES  
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

# Mémoire

**En vue de l'obtention du diplôme Master II en Agronomie**

**Option : Traitement et valorisation des ressources hydrique**

## Thème

*Essai de traitement des boues  
par le procédé de  
« digestion anaérobie »*

**Réalisé par :**

BOUDJEMAI Kaci

DAOUD Amel

**Soutenu publiquement devant le jury composé de :**

Mr TAGHEMOUT Madjid	President	UMMTO
Mr BERRADJ Omar	Examineur	UMMTO
Mr MARIDJA Samir	Promoteur	UMMTO

**Promotion: 2016-2017**

## *Remerciements*

*Nous remercions tout d'abord « DIEU » tout puissant de nous avoir donné la santé et le courage d'effectuer ce projet de fin d'étude, dans les meilleures conditions*

*Comme nous tenons à adressées tout autres reconnaissances et notre gratitude à :*

*Tous les membres de service personnel de la STEP de EL-Djelfa*

*Mr Meridja notre promoteur, de nous avoir encadré,*

*Suivi et orienté tout au long de notre travail*

*Nous remercions d'avance, les membres du jury d'accepter d'examiner notre travail*

*Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail*

*Kaci et Amel*





# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à*

- ✓ *Mes parents qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui*
- ✓ *Mes frères et sœurs*
- ✓ *Toute ma famille*
- ✓ *Tous mes amis*
- ✓ *Mon binôme Boudjemai Kaci*
- ✓ *Mon promoteur Mr. Meridja Samir*
- ✓ *Tous ceux qui me connaissent*

*Amel*





# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à*

- ✓ *Mes parents qui ont fais de moi se que je suis aujourd'hui*
- ✓ *Mes frères et sœurs*
- ✓ *Tous mes amis*
- ✓ *Mon promoteur Mr. Meridja Samir*

*Kaci*



## LISTE DES PHOTOS

<b>Photo 1 :</b> <i>Filtre à vis</i> .....	<b>9</b>
<b>Photo 2 :</b> <i>Lit de séchage planté de roseaux</i> .....	<b>12</b>
<b>Photo 3 :</b> <i>Montage du mini-digesteur destiné à abriter la digestion anaérobie des boues produites par le STEP de Djelfa</i> .....	<b>33</b>
<b>Photo 4 :</b> <i>Multi paramètre PH mètre utilisé pour la mesure de la température et du PH du substrat</i> .....	<b>34</b>
<b>Photo 5 :</b> <i>Autoclave utilisé pour la dessiccation des échantillons étudiés</i> .....	<b>35</b>
<b>Photo 6 :</b> <i>Digestat produit à la fin du processus de digestion anaérobie</i> .....	<b>38</b>

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1.</b> <i>Schéma simplifié d'un épaisseur de boues</i> .....	7
<b>Figure 2.</b> <i>Lit de séchage naturel ou solaire</i> .....	10
<b>Figure 3.</b> <i>Lit de sable équipé d'un système de drainage</i> .....	11
<b>Figure 4 :</b> <i>Schéma récapitulatif des réactions biochimiques de la digestion anaérobie (R.MOLLETTA, 2008)</i> .....	18
<b>Figure 5.</b> <i>Formes géométriques de digesteur</i> .....	19
<b>Figure 6 :</b> <i>Production de biogaz (rendement) en fonction de la température et du temps de séjour (KHARBOUCHE, 2005)</i> .....	21
<b>Figure 7 :</b> <i>Différentes voies de valorisation du méthane (R.MOLETTA, 2009)</i> .....	27
<b>Figure 8 :</b> <i>Répartition des éléments entre la phase solide et liquide (ToineBakx ,2010)</i> .....	28
<b>Graphe 1 :</b> <i>Evolution des températures du digesteur et des amplitudes des températures successives enregistrées tout au long de la période d'essai</i> .....	36
<b>Graphe 2 :</b> <i>Evolution des PH à l'intérieur du digesteur et des amplitudes des PH successives enregistrées tout au long de la période d'essai</i> .....	37

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1 :</b> <i>Valeurs indicatives de potentiel méthanogène pour différents substrats utilisés sur des unités de méthanisation .....</i>	<b>24</b>
<b>Tableau 2 :</b> <i>Composés organiques et inorganiques pouvant inhiber les micro-organismes de la digestion anaérobie.....</i>	<b>24</b>
<b>Tableau 3 :</b> <i>Composition moyenne du biogaz .....</i>	<b>25</b>

# SOMMAIRE

INTRODUCTION Générale.....	1
----------------------------	---

## Chapitre I Traitement et valorisation des boues

INTRODUCTION .....	3
I.1. SOUS-PRODUITS DES EAUX USEES .....	3
I.1.1. Déchets sableux .....	3
I.1.2. Déchets gras.....	3
I.1.3. Boues d'épuration.....	4
I.2. NATURE ET COMPOSITION DES BOUES .....	4
I.2.1. Types de boues .....	4
Boues primaire .....	4
Boues secondaires .....	4
Boues mixte .....	4
Caractéristique chimiques.....	4
* La siccité.....	4
* Matières volatiles sèches (MVS) .....	5
Caractéristiques physique .....	5
Composition des boues .....	5
• Eléments fertilisants .....	5
• Eléments indésirables .....	5
. Des éléments traces minéraux .....	5
Micro-organismes pathogènes .....	6
Des micropolluants organiques .....	6
I.3. TRAITEMENT DES BOUES D'EPURATION .....	6
I.3.1. Filières de traitement des boues .....	6
A) Epaissement .....	6
a) Epaissement gravitaire .....	7
b) Epaissement dynamique .....	7
- Flottation .....	7

- Egouttage.....	7
<b>B) Stabilisation.....</b>	<b>8</b>
a) Stabilisation aérobie ou Digestion aérobie .....	8
<b>C) Déshydratation .....</b>	<b>8</b>
- Filtre-presse .....	9
- Filtres à bande .....	9
- Filtre à plateaux .....	9
- Filtre à plateaux membrane .....	9
- Filtre à vis .....	9
<b>D) Centrifugation .....</b>	<b>10</b>
<b>E) Séchage .....</b>	<b>10</b>
a) Lit de séchage.....	10
o Séchage solaire .....	10
o Lit de sable .....	11
o Lagune de séchage.....	12
o Lit planté des macrophytes.....	12
b) Séchage thermique.....	13
- Le séchage direct.....	13
- Le séchage indirect .....	13
<b>F) Incinération .....</b>	<b>13</b>
<b>I.4. Valorisation des boues .....</b>	<b>14</b>
<b>I.4.1. Valorisation Agronomique.....</b>	<b>14</b>
A) Epandage .....	14
B) Compostage.....	14
<b>I.4.2. Valorisation Energétique .....</b>	<b>14</b>
A) Méthanisation .....	14
B) Pyrolyse .....	14
<b>Conclusion .....</b>	<b>16</b>

## **Chapitre II Digestion anaérobie**

Introduction .....	17
<b>II.1. HISTORIQUE.....</b>	<b>17</b>
<b>II.2.PROCESSUS DE LA DIGESTION ANAEROBIQUE .....</b>	<b>17</b>

<b>II.2.2.Etapes du processus de la digestion anaérobique.....</b>	<b>18</b>
a. Hydrolyse .....	19
b. Acidogène .....	19
c. Acétogènèse .....	19
d. Méthanogènes .....	19
<b>II.3. MISE EN OEUVRE DE LA METHANISATION EN DIGESTEUR.....</b>	<b>20</b>
II.3.1. Types de digesteurs .....	20
II.3.2. Etapes du procédé de digestion.....	20
<b>II.4.PARAMETRES DE LA DIGESTION ANAEROBIQUE.....</b>	<b>21</b>
II.4.1. Anaérobiose .....	21
II.4.2. Température .....	21
II.4.3. Le temps de séjour .....	22
II.4.4. Potentiel hydrogène pH .....	22
II.4.5. Alcalinité .....	23
II.4.6. Les acides gras volatiles .....	23
II.4.7. Humidité.....	23
II.4.8. Rapport carbone/azote (C/N) .....	23
II.4.9. L'agitation .....	24
<b>II.5.SUBSTRATS METANISABLES ET SUBSTANCES INHIBITRICES.....</b>	<b>25</b>
<b>II.6.SOUS-PRODUITS DE LA METHANISATION .....</b>	<b>25</b>
II.6.1.Biogaz .....	25
a. Composition .....	26
b. Procèdes de traitement et valorisation .....	26
c. Utilisation .....	26
d. Valorisation .....	27
II.6.2. Digestat et Hygiénisation .....	28
<b>II.7.AVANTAGES DE LA METHANISATION DES BOUES .....</b>	<b>29</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>30</b>

## **Chapitre III Méthode et travail**

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>31</b>
<b>III.1. PRESENTATION ET DESCRIPTION DE LA STEP DE DJELFA .....</b>	<b>32</b>
<b>III.1.1. Emplacement de la STEP de Djelfa .....</b>	<b>32</b>
<b>III.1.2. Ouvrages de la STEP de Djelfa .....</b>	<b>32</b>
<b>III.2. Méthode et conduite expérimentale .....</b>	<b>32</b>
<b>III.2.1 Conception du mini-digesteur .....</b>	<b>33</b>
<b>III.2.1.1. Accessoires utilisés dans la conception du mini-digesteur .....</b>	<b>34</b>
<b>III.2.1.2. Montage et conception du mini-digesteur .....</b>	<b>34</b>
<b>III.2.2. Conduite de l'expérimentation et suivi des paramètres de mesures.....</b>	<b>34</b>
<b>III.2.2.1. Conduite expérimentale .....</b>	<b>34</b>
<b>III.2.2.2. Suivi des paramètres .....</b>	<b>34</b>

## **Chapitre IV Résultats et interprétations**

<b>IV. 1. Résultats .....</b>	<b>36</b>
<b>IV.1.1. Evolution de la température .....</b>	<b>37</b>
<b>IV.1.2. Evolution du PH .....</b>	<b>37</b>
<b>IV.1.3. Evolution de la matière sèche et inflammabilité du biogaz .....</b>	<b>38</b>
<b>IV.2.INTERPRETATION .....</b>	<b>38</b>
<b>IV.3. CONCLUSION .....</b>	<b>39</b>



# **Introduction Générale**

## INTRODUCTION GENERALE

L'accroissement démographique, économique et urbain est à l'origine de différentes sources de pollutions environnementales affectant en premier lieu l'air, les eaux et les sols. Parmi ces sources de pollutions on peut citer en particulier les eaux usées, qui sont des eaux polluées, contenant divers matières polluantes de types physique, chimique ou biologique, susceptibles de contaminer les milieux récepteurs.

Bien que le traitement classique de ses effluents liquides a pour avantage la réduction du degré de nuisance de ces eaux rejetées dans leurs formes brutes, il en demeure pas moins que des traitements plus approfondies restent nécessaires pour une meilleure prise en charge de cette nuisance, assurant par la une sauvegarde durable de l'environnement.

C'est le cas de boues issues de l'épuration des eaux domestiques et qui renferment des éléments indésirables et dangereux pour la santé humaine et l'environnement (OMS, 1989; Prost, 1991). La prise en charge de ces effets nuisibles par l'application de traitements plus approfondies engendre des couts supplémentaires aux traitements initiaux (ADEME, 1999), limitant par-là la pratique de ces traitements approfondies dans de nombreuses situations, particulièrement lorsque le financement fait défaut. Ce qui n'est pas toujours le cas dans la mesure où certains traitements approfondis, applicables aux boues bien sûr, restent simples et abordables, voir largement rentables si la valorisation des sous-produits issues de ses traitements est prise en compte.

C'est le cas de l'application du procédé de la bioconversion, « digestion anaérobie », qui offre la possibilité de combiner le traitement de ces boues et sous-produits a valeurs ajoutées tels que le digestat utilisé en agriculture de même que la production d'une énergie renouvelable qui est le biogaz, au pouvoir énergétique élevé. Ce dernier, riche en méthane  $CH_4$ , est utilisé dans divers applications tels que, le chauffage, la cuisson, la production d'électricité, etc. Bien que sa production en Algérie demeure largement possible dans les STEP générant des boues comme sous-produit des procédés classiques d'épuration des eaux, la bioconversion reste ignorée, voir méconnue, par les services environnementaux de notre pays.

C'est dans ce contexte que nous avons pris l'initiative d'entreprendre un travail expérimental en vue de mettre en évidence la possibilité de l'utilisation du procédé de bioconversion dans les STEP Algérienne et la production de sous-produits très peu utilisés en Algérie,

démystifiant ainsi l'application de ce procédé et dont la prise en compte dans les études de faisabilités appliquées aux projets de réalisation des STEP devra être évidente.

Dans ce travail, nous aborderons dans un premier chapitre le traitement et la valorisation des boues, qui représentent un sous-produit de l'épuration des eaux usées de même que les nuisances qu'elles peuvent engendrées sur la santé humaine et environnementale si des traitements approfondies ne sont pas appliqués.

Nous présenterons dans un second chapitre un des procédés de traitement des boues issues de l'épuration des eaux usées, à savoir la bioconversion, appelée aussi « digestion anaérobie », de même que ses divers sous-produits résultant, dont le biogaz et le digestat.

Dans le troisième chapitre nous aborderons la méthodologie expérimentale mise en place et les principaux paramètres ayant fait l'objet de mesures et de suivi temporel du procédé de bioconversion et de la production de biogaz dans la STEP de Laghouat.

Nous présentons dans le chapitre IV les résultats et leur interprétation, avant de conclure sur le travail générale et sur ses perspectives.



## **Chapitre I**

### **Traitement et valorisation des boues**

---

## **INTRODUCTION**

Il n'existe pas de traitement d'épuration d'eau qui n'aboutisse pas à la production de résidus concentrés, contenant des matières de pollution et des produits de transformation insolubles. De ce fait, il est convenable de les traiter d'une manière rationnelle et économique. Parmi ces sous-produits résultants du procédé de traitement des eaux usées, on retrouve les sables et les déchets graisseux, piégés au début du procédé de traitement des eaux usées, de même que les boues récoltées cette fois-ci à la fin du traitement.

### **I.1. SOUS-PRODUITS DES EAUX USEES**

#### **I.1.1. Déchets sableux**

Le terme sable correspond à un ensemble d'hétéroclite d'une multitude de composées telles que des noyaux et des pépins de fruits, des matières en plastiques ou encore des produits issus de la dégradation des chaussées ou des chantiers, d'une siccité moyenne de 10% à 70%**(Dégermant ,1994)**.

Les sables sont retenus dans des ouvrages appelés dessableur dont le principe repose sur une sédimentation des matières lourdes. Le dimensionnement des ouvrages équipant les stations d'épuration doit permettre de retenir 80 % des sables de diamètre supérieur à 200  $\mu\text{m}$ . Souvent, ils sont combinés avec les dégraisseurs. Le sable est stocké au fond de l'ouvrage ou transférer dans des chambres à sables (ouvrages rectangulaires en béton).

#### **I.1.2. Déchets graisseux**

Ce sont des matières présentant les propriétés suivantes : insolubilité et de densité inférieure à 1, et 34 % de la DCO qui la rend difficilement biodégradable, d'une siccité très variable de 5% à 80%. Ils sont présents entrés grande quantité dans les eaux usées. Elles induisent des soucis d'exploitation dans les réseaux d'assainissement (bouchages) et dans les stations d'épuration (baisse des capacités d'aération, développement des bactéries filamenteuses, etc.).**(C.CARDOT ; 2001)**

Dans la majorité des cas, les stations d'épuration sont équipées d'un ouvrage combiné qui permet simultanément d'assurer le dessablage et le dégraisage : grâce à une insufflation

---

d'air, les graisses sont récupérées par un écrémage de surface. Le stockage se fait dans une cuve où il est possible de récupérer les eaux claires afin de concentrer les boues. Un traitement biologique aérobie complémentaire peut être mis en place afin de les éliminer.

**(C.CARDOT ; 2001)**

### **I.1.3. Boues d'épuration**

Ce sont des sous-produits du traitement des eaux domestiques constituées essentiellement de parties solides non retenues de prétraitements de l'eau en amont de la station mais aussi par le procédé de traitement lui-même. On retrouve alors dans ces boues une grande proportion de matières organiques, minérales, de microorganismes et d'eau représentant près de 99% de ces boues.

## **I.2. NATURE ET COMPOSITION DES BOUES**

### **I.2.1. Types de boues**

Dans une station d'épuration d'eau usée urbaine, les boues résultent de la simple décantation des matières organiques et minérales en suspension dans le bassin primaire mais aussi par l'agglomération des matières organiques particulières ou colloïdales des eaux traitées lors de la décantation dans le bassin secondaire, après addition d'un réactif coagulant. Les boues mixtes résultent du mélange de boues primaires et secondaires.

#### **1. Boues primaire :**

Elles sont issues du traitement primaire et sont produites par simple décantation. Elles sont très hétérogènes et fraîches, contiennent une forte quantité de matière organique (non stabilisées) et sont fortement fermentescibles. Elles sont constituées de 70% de MES avec une teneur en eau de l'ordre de 90 à 95%. **(DEGERMANT, 1989)**

#### **2. Boues secondaires :**

Résultent du traitement secondaire ou biologique et sont beaucoup plus stabilisées que les boues primaires. Elles sont composées d'agrégats et de floccs bactériens. La teneur en MO présente un différentiel selon le traitement utilisé mais elle reste moyenne de l'ordre de 75%. Il est évident qu'un traitement à faible charge conduit à des taux organiques bien inférieurs à ceux d'un

---

traitement à forte charge. (DEGERMANT, 1989). La teneur en eau est quand a elle élevée atteignant jusqu'à 99%.

### **3. Boues mixtes :**

Les boues mixtes proviennent du mélange des boues primaires et secondaire. Très fermentescibles, ces boues mixtes doivent subir un traitement de stabilisation (DEGERMANT, 1989).

#### **I.2.2. Caractéristiques et compositions des boues**

Les boues provenant d'un traitement d'épuration des eaux domestique sont caractérisées par divers paramètres dépendant de leurs natures et origines.

#### **1. Caractéristique chimiques**

##### **\* La siccité**

Elle définit la concentration en matière sèche d'une boue et s'exprime en g/l (ou en pourcentage %). On retrouve alors :

2. **Les boues liquides** : siccité de 0 à 10 %
3. **Les boues pâteuses** : siccité de 10 à 25%
4. **Les boues solides** : siccité de 25 à 80% (DEGERMANT, 1989)

##### **\* Matières volatiles sèches (MVS)**

La matière sèche est constituée de matières minérales et de matières organiques qui sont appelées matières volatiles sèches. Son évaluation permet de connaître la stabilité d'une boue. Plus le taux de MVS est faible, plus la boue est facile à épaissir ou à déshydrater, mais plus son incinération est faible. (DEGERMANT, 1989).

#### **5. Caractéristiques physique**

Les caractéristiques physiques des boues d'épuration dépendent de leur teneur en eau. Si elle dépasse 90%, elles se comportent alors comme un liquide. En dessous de cette teneur d'eau

---

(<90%), les boues se comportent comme un liquide non newtonien avec un flux plutôt plastique que visqueux.

## **6. Composition des boues**

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration. Les boues résiduaires représentent avant tout une matière première composée de différents éléments tels que, les éléments fertilisants, éléments traces métalliques, éléments traces organiques et agents pathogènes, etc.

## **7. Eléments fertilisants**

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, en phosphore, en magnésium, calcium et en soufre. Elles peuvent aussi corriger des carences à l'exception de celle en potassium. Les éléments en traces tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel présents dans les boues sont aussi indispensables au développement des végétaux et des animaux.

## **8. Eléments indésirables**

Les éléments indésirables contenus dans les boues peuvent avoir différentes natures et compositions. Parmi ces éléments on y trouve :

**Des éléments traces minéraux :** Constitués en majorité par des métaux. Certains de ces éléments occupent une place essentielle à faibles concentrations dans l'organisme, mais deviennent généralement toxiques au-delà d'un certain seuil. **(OTV, 1997)**

**Micro-organismes pathogènes micro-organismes pathogènes :** Tels que les virus, les bactéries, les protozoaires, les parasites, et les champignons. Ils sont notamment présents dans les matières fécales rejetées dans les réseaux d'eaux usées et donc inévitablement présents dans les boues brutes. **(OTV, 1997)**

---

**Des micropolluants organiques :** Les substances les plus fréquemment considérées sont HPA (Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques) et les PCB (Polychlorobiphényles) car ils sont particulièrement persistants. Dans cette Catégorie on y trouve d'autres composés tels que les pesticides, les résidus de médicaments, les pH talâtes, les nitrates, etc. (OTV, 1997)

### **I.3. TRAITEMENT DES BOUES D'EPURATION**

Deux éléments sont indispensables à la définition et au choix d'un traitement des boues optimal : l'origine et la composition des boues d'épuration d'un part et, la destination finale des boues (recyclage, valorisation, élimination), de l'autre part. Généralement, le traitement des boues a plusieurs objectifs (KOLLER, 2004) :

- Réduire les volumes et éviter la fermentation (odeurs).
- Limiter au maximum les risques pathogènes.
- Utiliser les boues ainsi traités dans des activités de productions (agriculture).
- Réduire dans certains cas la masse de façon ultime.

#### **I.3.1. Filières de traitement des boues**

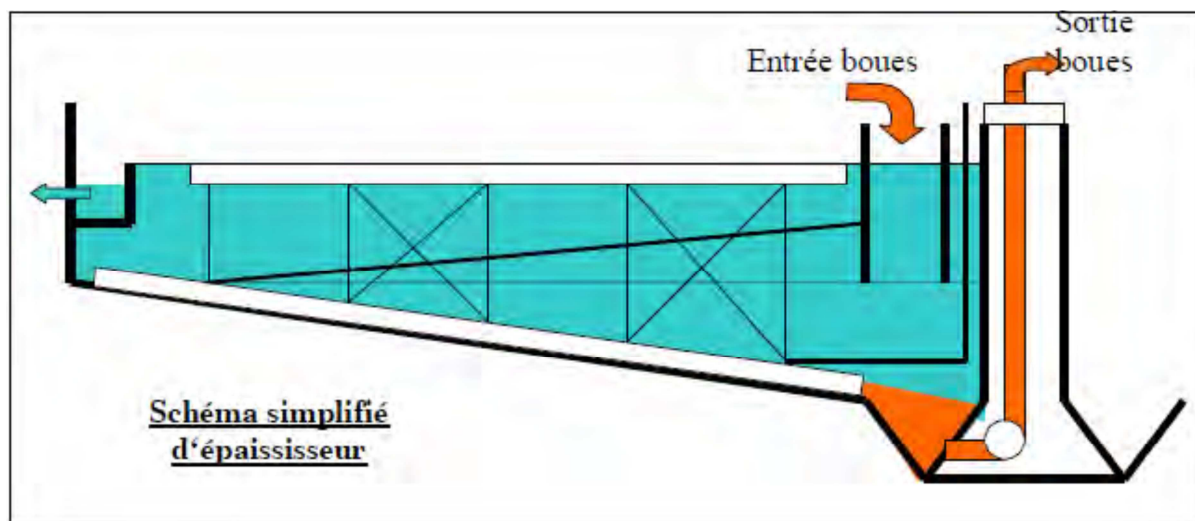
On distingue 5 grandes filières de traitement des boues

##### **1. Epaissement**

L'épaississement est la première étape ayant pour objectif la réduction du volume des boues et l'augmentation de leur concentration avant l'étape de la déshydratation. Diverses méthodes sont utilisées pour épaissir les boues.

##### **1. Epaissement gravitaire**

Cette technique consiste à faire séjourner des boues dans des bassins cylindro-conique (figure 1), appeler aussi statique, dans une simple cuve cylindrique à fond conique (45° à 70° sur l'horizontale), ayant une hauteur de 5 m. (DEGERMANT, 1989).



**Figure 1.** Schéma simplifié d'un épaisseur de boues

## 2. Epaisseur dynamique

Deux opérations sont réalisées successivement :

### 3. Flottation

Le procédé est basé sur une séparation de phases provoquée par une remontée à la surface des boues sous l'effet de la pression de fines bulles d'air. Les principaux inconvénients techniques sont les coûts d'exploitation élevés à cause d'une forte consommation énergétique (entre 60 à 100 kWh/tMS) et de son fonctionnement qui reste délicat (DEGERMANT, 1989). Ce procédé est toutefois réservé aux grandes stations (10 000 à 100 000 EH).

### 4. Egouttage

La boue préalablement floculée par traitement physico-chimique est épandue sur un support filtrant. Ce principe est utilisé par les tables, grilles et tambours d'égouttage. Ce sont des techniques simples et bien efficaces pour épaisir les boues. (DEGERMANT, 1989).

### 5. Stabilisation

Ce processus a pour but de décomposer les matières organiques les plus fermentescibles par dégradation bactérienne, pour ainsi réduire l'évolution des boues et éviter les nuisances. On distingue la stabilisation chimique et biologique. Pour ce dernier cas, les phénomènes peuvent être aérobies ou anaérobies (REJSERK, 2002).

---

### **1. Stabilisation aérobie ou Digestion aérobie :**

La digestion aérobie est une aération prolongées des boues, favorisant ainsi la poursuite du développement des micro- organisme et la dégradation des substrats organiques jusqu'à réalisation d'une auto-réduction sous l'influence de la température. Pour un pH requis de 10 jours, la durée de séjour serait alors de 10 jours à 20°C et de 14 jours à 12°C (**REJSERK, 2002**).

### **2. Stabilisation anaérobie ou Digestion anaérobie :**

la dégradation des matières organiques par fermentation méthanique dans des cuves fermées (digesteurs) qui permet d'atteindre des taux de réduction des matières organiques de 45% à 50%, à un PH de 6.8 et 7.8, et une concentration en acides volatiles dissous inférieure à 1g/l pour une température de 37 °C (ou 55°C) avec brassage. On obtient alors du CH<sub>4</sub>, du CO<sub>2</sub> et de l'H<sub>2</sub>O (**Degrement, 1994**).

### **3. Déshydratation :**

La déshydratation constitue la seconde étape de réduction du volume des boues. Elle s'opère sur des boues épaissies, stabilisées ou non, en vue d'une élimination plus ou moins poussée de leur humidité résiduelle et d'une siccité en moyenne comprise entre 20 et 30 %, selon la nature des boues. La déshydratation présente plusieurs avantages :

4. Elle facilite le stockage et réduit donc le coût du transport de son transport.
5. Elle améliore la stabilisation des boues (temps de séjour augmenté).
6. Elle facilite l'utilisation des boues en agriculture.

Il existe plusieurs techniques de déshydratation mécanique utilisation les procédées de filtration et de centrifugation. On retrouve alors :

#### **1. Filtre-presse :**

Le filtre-presse est une technique de déshydratation qui consiste à exercer mécaniquement une forte pression de l'ordre de 7 à 10 bars sur la boue, qui libère ainsi l'eau interstitielle au travers d'un filtre. On obtient alors un solide dense. Parmi les filtres les plus utilisés, on retrouver :

---

## 2. Filtres à bande :

Compression des boues entre deux bandes de toile. Une fois la toile débarrassée de la boue, il faut la laver pour qu'elle conserve sa porosité. Ce système nécessite l'addition de polymères dont la composition et la quantité doivent être constamment adaptées à la qualité des boues.

## 3. Filtre à plateaux :

Composé de chambres de filtration dans lesquelles la boue est comprimée par des vérins hydrauliques jusqu'à formation d'un gâteau compact.

## 4. Filtre à plateaux membrane :

Il permet tout d'abord d'éviter l'effet négatif du débit de fuite sur les floccs en fin de montée en pression.



**Photo 1. Filtre à vis (Filtre à vis):**  
Les grilles sont équipées d'une vis d'extrusion autour

de laquelle se trouve une grille filtrante (Photo 1). Elles sont autonettoyantes et spécifiques à chaque type de boue.

## 5. Centrifugation :

Il s'agit d'une séparation des phases liquide et solide par une décantation centrifuge des boues. C'est un ensemble constitué de plusieurs éléments coniques ou cylindriques, tournant à grande vitesse autour d'un axe horizontal. La vitesse de rotation peut atteindre 4000 tours/minutes. Une vis racleuse, coaxial au bol, permet l'extraction des boues déshydratées. Ce bol contient une zone de séchage. Cette technique est bien adaptée aux boues difficiles à traiter.

## 6. Séchage :

Le séchage est une opération unitaire de traitement des boues consistant à évaporer son eau libre et liée. Plusieurs techniques de séchage sont envisageables :

Le séchage thermique vient obligatoirement après une étape de déshydratation mécanique.

### 1. Lit de séchage

Le principe du lit de séchage est d'épandre des boues liquides sur une grande surface avec un lit constitué de graviers et de sable. Il se pratique soit à l'air libre soit en bâtiment fermé avec une ventilation mécanique.

#### 1. Séchage solaire :

La profondeur de boue lors du remplissage peut varier de 10cm à 50cm selon la nature des boues. Ce lit de séchage se trouve sous serre, ce qui permet de conserver la chaleur et de maintenir une température de l'air et des boues plus élevée, mais également d'accélérer le séchage par les rayons du soleil (figure 2). La profondeur de boue lors du remplissage peut varier de 10cm à 50cm selon la nature des boues.

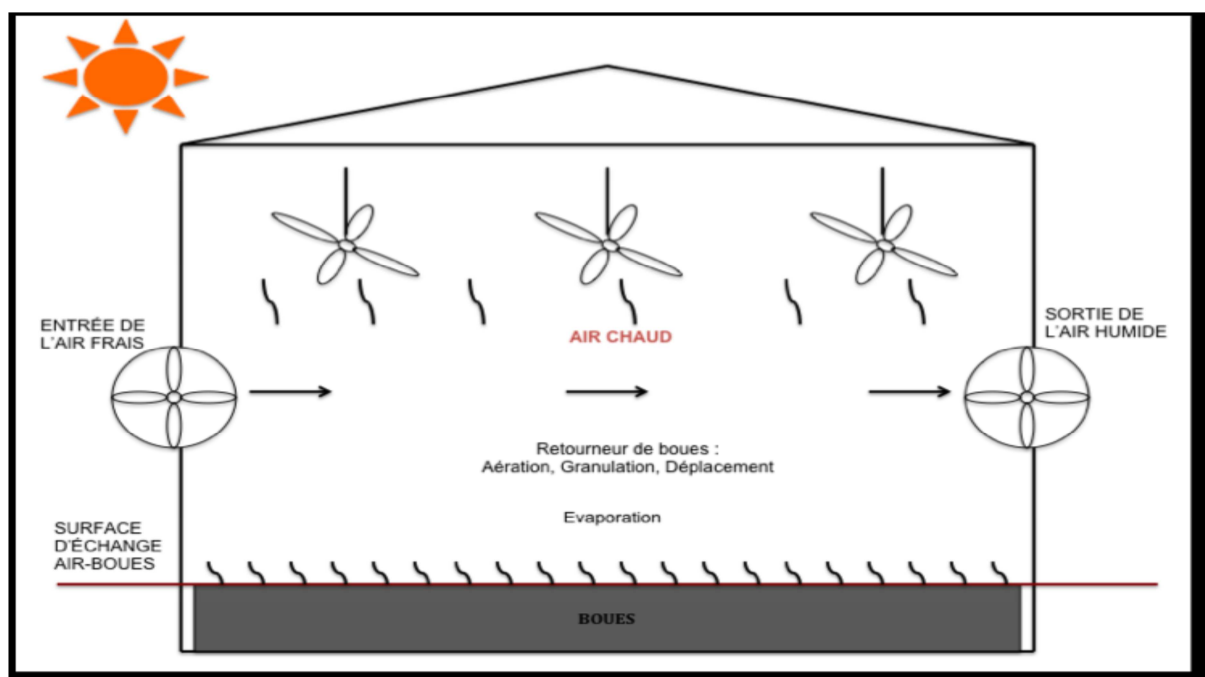
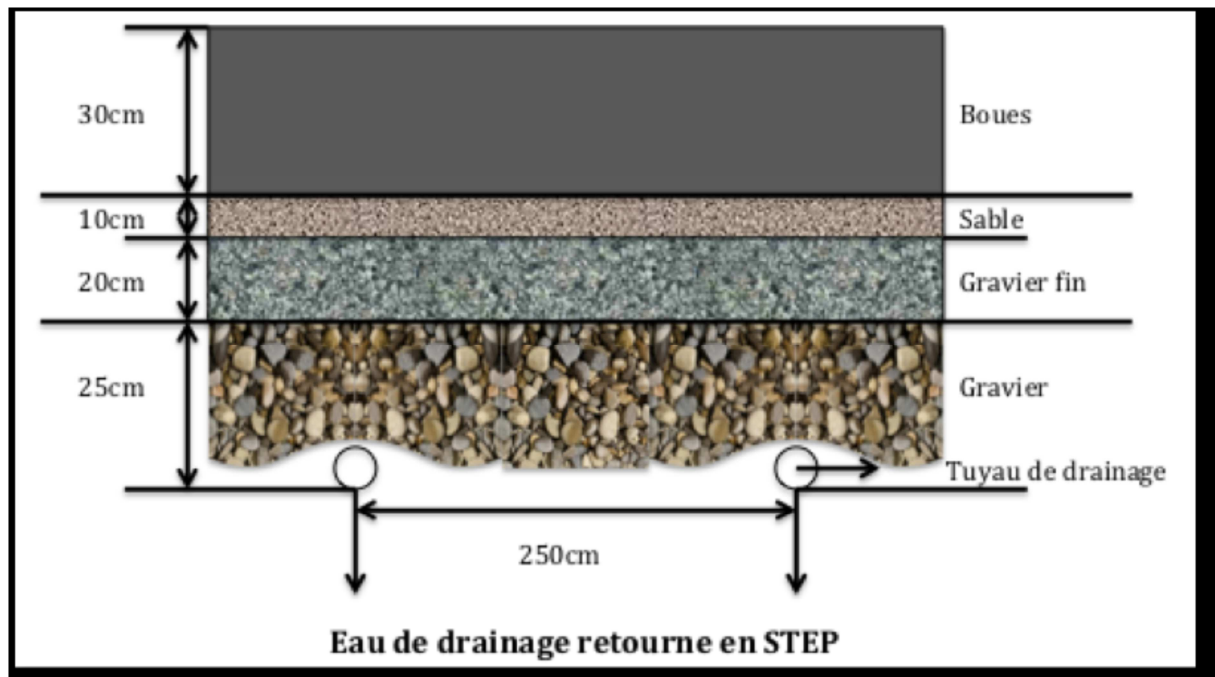


Figure 2. Lit de séchage naturel ou solaire.

Afin de diminuer le temps de séjour des boues et d'augmenter la siccité, des ventilateurs sont souvent installés dans des serres. De plus, le dimensionnement du lit doit prendre en compte les caractéristiques du climat, du bilan hydrique et la siccité des boues en entrée.

## 2. Lit de sable

Le procédé consiste à épandre les boues (d'environ 30cm d'épaisseur) sur un lit de sable étalé sur des couches de granulométrie plus importante, comportant un réseau de drainage pour permettre l'évacuation par percolation de l'eau non retenue par la boue (figure 3). L'évaporation se charge, quant à elle, de l'eau retenue par la boue augmentant la siccité de celle-ci jusqu'à des proportions de 60% lorsque les conditions d'évaporation sont favorable.



**Figure 3.** Lit de sable équipé d'un système de drainage

## 3. Lagune de séchage

Le principe de cette technique est quasiment le même pour le séchage sur lit de sable en absence de percolation. Par contre, la profondeur de boue est 3 à 4 fois plus importante (0,7-1,4 m) et le temps de séjour est d'environ 1 à 3 ans avant curage.

## 4. Lit planté des macrophytes

Les plantes les plus souvent choisies sont les roseaux en raison de leur fort indice foliaire à croissance rapide (photo 2) ; ce qui favorise l'évapotranspiration de l'eau des boues. Les boues à traiter sont prélevées directement du bassin d'aération et déposées sur le bassin planté

---

de roseaux. Celui-ci est constitué d'une granulométrie croissante de la surface vers le fond du lit drainé.



**Photo 2.***Lit de séchage planté de roseaux*

## **2. Séchage thermique**

Deux principales méthodes sont préconisées pour ce type de séchage :

### **3. Séchage direct**

Les boues sont au contact d'une source chaude et l'air est injecté directement pour permettre leur combustion. Les sècheurs directs ne peuvent généralement pas produire des boues de siccité supérieure à 70 % à cause de risques d'inflammation ou d'explosion.

### **4. Séchage indirect**

C'est un séchage presque total des boues. Celles-ci sont chauffées par un fluide circulant dans des tuyaux parfaitement isolés. Les sècheurs indirects peuvent former, sans aucun danger, des boues de siccité supérieure à 90 % à 95 %.

---

## **5. L'incinération**

Cette méthode est utilisée dans les grandes agglomérations urbaines. Elle assure une destruction de la matière organique des déchets à haute Température (+ de 500 °C), produisant des fumées et des matières minérales résiduelles, appelées cendres. Dans l'objectif d'une valorisation énergétique de ces déchets, la chaleur produite est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même ou pour le chauffage urbain ou industriel. Les résidus de l'incinération sont utilisables en travaux publics. **(DEGREMENT, 1989)**. L'incinération ne peut, toute fois pas, être pratiqué que sur des boues ayant déjà subi un premier stade de déshydratation.

### **I.4. Valorisation des boues**

#### **I.4.1. Valorisation Agronomique**

La valorisation des boues en agriculture se fait par épandage direct des boues ou après traitement spéciale et production de compost **(REJSERK, 2002)**.

##### **1. Epandage :**

L'épandage des boues a pour but d'augmenter le rendement des cultures. Ces boues ont la capacité de restituer au sol des éléments structurants et fertilisants utilisés par les cultures et ainsi améliorer les propriétés physico-chimiques des sols.

Les boues épandues peuvent être liquides, pâteuses, solides, sèches, selon le degré de la siccité qui présente le pourcentage massique de matière sèche dans la boue **(REJSERK, 2002)**.

##### **2. Compostage :**

Le compostage est un processus de décomposition et de transformation de matières organiques présentes dans les boues sous l'action de populations microbiennes diversifiées évoluant en milieu aérobie.

---

Grâce à ses caractéristiques chimiques, le compost peut assurer en même temps la fertilité et l'équilibre physico-chimique du sol. Il combat efficacement l'érosion et le lessivage des éléments fertilisants en reconstituant la structure des sols grâce à sa composition riche en humus, qui lui confère à la fois la fonction d'amendement organique et d'engrais minéral (REJSERK, 2002).

#### **I.4.2. Valorisation Energétique**

La valorisation énergétique regroupe différentes technologies permettant de convertir la fraction organique des boues en énergie.

##### **1. Méthanisation**

La méthanisation ou digestion anaérobie est un processus de minéralisation de la matière organique par une microflore spécialisée. C'est un moyen efficace d'abattement de charge de la matière organique biodégradable. La digestion anaérobie conduit à la formation d'un biogaz riche en méthane et dioxyde de carbone, utilisé comme énergie pour la production de l'électricité ou la chaleur, et d'un résidu liquide, le digestat. Cette transformation bioénergétique sera détaillée dans le chapitre II.

##### **2. Pyrolyse :**

La pyrolyse (ou thermolyse) est une dissociation thermique de la matière organique et de la matière minérale en l'absence d'oxygène (moins de 2 %) et sous l'action de la chaleur (400 à 800°C). Il s'agit donc d'un traitement thermique sans combustion et endothermique. Selon les conditions de la réaction (température, pression partielle en oxygène, pression totale), la fraction organique se décompose en gaz, huiles et résidus solides carbonés. Les faibles températures favorisent la production d'huile par rapport au gaz. Ces produits seront récupérés en sortie du procédé dans le but d'être valorisés en énergie thermique ou en énergie électrique.

---

## **Conclusion**

L'épuration des eaux usées abouti, in fine, a la production de sous-produits de diverses natures tels que, les sables, les déchets graisseux et les boues. Celles-ci demeurent un sous-produit bien particulier de par sa composition mais aussi de sa valeur économique et commerciale dans divers secteurs. Son utilisation reste, cependant, conditionnée aux types de traitements spécifiques appliqués, choisis le plus souvent en fonction des objectifs de valorisations des produits résultants.

Si l'utilisation de ces boues dans le secteur de l'agriculture reste assez généralisée dans le monde, celle de son utilisation en tant que matière génératrice de d'énergie demeure peu utilisée et parfois méconnue, en particulier dans les pays en développement dont les secteurs concernés souffrent d'un manque technicité dans ce domaine. Nous verrons dans le chapitre II de ce document le principe de la bioconversion des boues et les possibilités de valorisation des biogaz résultant de cette transformation naturelle.



## **Chapitre II**

### **Digestion anaérobie**

## INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous nous intéressons à la méthode d'élimination de la matière organique de l'eau par conversion biochimique. Méthode considérée comme étant l'un des procédés les plus efficaces et les plus respectueuses de l'environnement : Il s'agit du procédé de digestion en conditions anaérobiques, appelé aussi méthanisation, qui permet de réduire la charge polluante de la matière organique dans l'eau, tout en produisant du biogaz utilisable dans différentes application domestique.

### II.1. HISTORIQUE

La digestion en conditions anaérobique est une réaction présente, probablement, bien avant l'apparition massive de l'oxygène sur terre ; c'est l'un des plus anciens processus métaboliques ayant été adoptée par l'Homme au fil de l'évolution des civilisations. Des études historiques indiquent l'utilisation du biogaz par les Assyriens au dixième siècle avant J.C. (Lusk, 1998). La redécouverte de la méthanisation remonte au dix-huitième siècle, en 1776précisément, lorsqu'Alessandro Volta, un physicien italien, remarque la présence d'un gaz émis par les vases en putréfaction d'un marais (le lac Maggiore au nord de l'Italie). En étudiant ce gaz, le physicien en question a pu mettre en évidence sa combustibilité et l'appela ainsi « gaz des marais ». En 1787, Antoine Lavoisier lui préféra le terme de « gaz hydrogène carboné » avant que le terme de méthane ne fut proposé en 1865 et confirmé en 1892 par un congrès international de nomenclature chimique.

Dès le début du dix-neuvième siècle, ce phénomène de méthanisation a fait l'objet de nombreuses études. (ADLER, 2009).Il a, néanmoins, reculé rapidement et presque oubliée durant les années cinquante et soixante avec l'arrivée des sources énergétiques fossiles moins coûteuses et facilement disponibles. La méthanisation a toutefois gardé sa place et son intérêt comme une technique efficace pour le traitement et la stabilisation des boues urbaines, surtout en Allemagne.

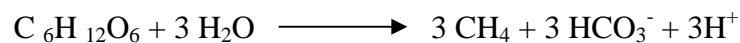
Ce n'est qu'à partir des dernières années du vingtième siècle que la méthanisation est adoptée et préconisée comme étant l'une des techniques les plus efficaces pour le traitement des charges polluantes des eaux. (MOLETTA, 2009).

## II.2. PROCESSUS DE LA DIGESTION ANAEROBIQUE

### II.2.1. Définition

La digestion anaérobie, connue sous le terme de « méthanisation », est un processus biologique ayant l'un des plus importants pouvoirs de dégradation de la matière organique. Cette fermentation se réalise spontanément à l'état naturel, dès lors qu'il y a présence de matière organique dans un milieu anaérobie et dans des conditions favorables au développement bactérien. Ainsi on peut retrouver ce processus fermentaire dans les marais, les rizières, le sol ou encore dans l'intestin des mammifères.

Cette fermentation se traduit par une libération d'énergie utilisée par la bactérie pour sa survie en milieu anaérobie. Ce phénomène correspond d'un point de vue chimique à la réduction des molécules organiques partiellement oxydées. La réaction totale peut s'écrire ainsi:



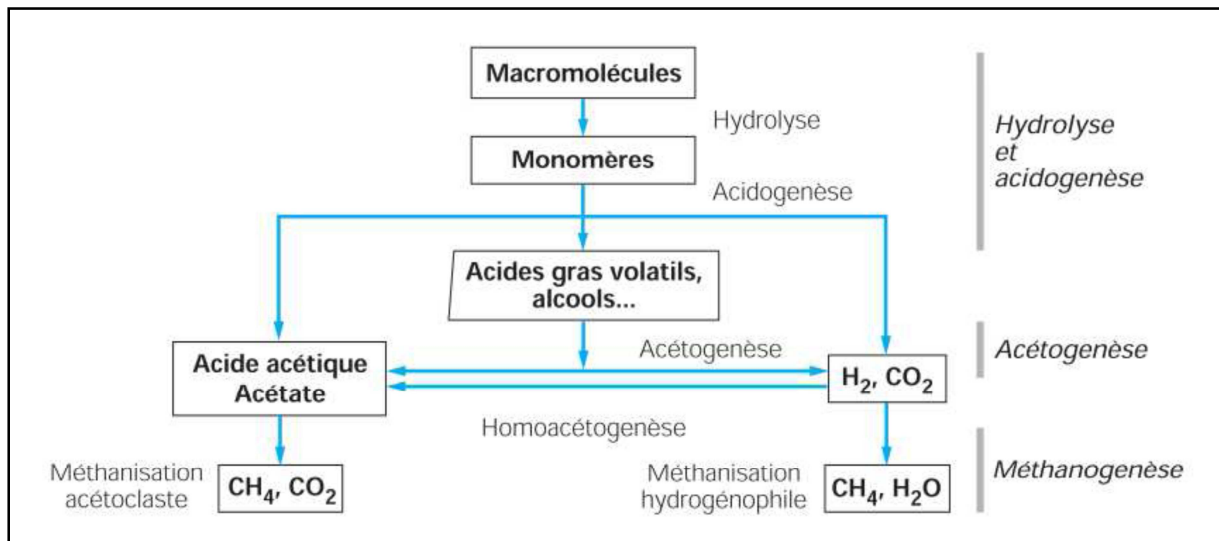
La dégradation de cette matière organique conduit principalement à la production de dioxyde de carbone et de méthane. Ce dernier qui possède une importante valeur énergétique participe également à l'effet de serre. A noter que 50 % des émissions de méthane dans l'atmosphère sont de sources anthropiques. (MOLLETTA, 2011).

Les boues épaissies introduites dans le digesteur pendant 3 à 4 semaines (enceintes fermées, privées d'oxygène et maintenues à une température de 37° ou 55°C) sont constamment brassées pour maintenir des conditions favorables au développement des substrats organiques. Durant ce séjour plusieurs populations bactériennes vont se développer et transformer des substrats complexes à longues chaînes carboniques en molécules à un seul carbone : Méthane (CH<sub>4</sub>) et le CO<sub>2</sub> (K.DEBAL, 2000).

### II.2.2. Etapes du processus de la digestion anaérobie

La méthanisation est un procédé naturel de transformation de la matière organique en énergie, en l'absence de l'oxygène (conditions anaérobiques), mettant en jeu plusieurs étapes biochimiques à l'échelle macroscopique dans le digesteur. Le biogaz ainsi produit est un gaz combustible composé d'un mélange de méthane (CH<sub>4</sub>) et de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), résultant de l'action de différents groupes bactériens. Le résidu de la digestion (digestat)

obtenu est, quant à lui, un produit beaucoup plus table, désodorisé et débarrassé de la plupart de ces germes pathogènes. Les différentes étapes du processus de méthanisation décrit dans la figure 4 sont au nombre de quatre (MOLLETTA, 2011)



**Figure 4 :** Schéma récapitulatif des réactions biochimiques de la digestion anaérobie (R.MOLLETTA, 2008)

### a. Hydrolyse

Cette étape d'hydrolyse correspond à la dégradation des macromolécules organiques (protéines, lipides, polysaccharides...) en monomères (acide aminé, acide gras, oses...), soit en fragment de la matière organiques solubles. Ce sont les bactéries dites hydrolytiques qui vont permettre de casser des structures organiques complexes en libérant des enzymes (protéases, lipases, cellulases...). Ces bactéries, évoluant sous un pH acide (4.5 à 6.3) ont un temps de division assez rapide (quelques heures) et sont bien tolérantes à la présence d'oxygène. Elle reste, cependant, sensible à la présence de lignine.

L'étape de l'hydrolyse est déterminante pour la suite de la fermentation car, seules les molécules simples seront bio-disponibles pour la suite du traitement.

### b. Acidogènes

Les monomères (les molécules simples produites lors de l'hydrolyse) sont fermentés principalement en acide gras volatil (AGV), en alcools, en H<sub>2</sub> et en CO<sub>2</sub>. Les bactéries responsables de cette étape et qui sont nombreuses sont appelées bactéries fermentaires. Ces bactéries, évoluant sous un pH acide (4.5 à 6.3) ont un temps de division assez rapide

(quelques heures) et sont sensibles à la présence d'oxygène. Elles restent, cependant, sensibles aux  $H_2S$ ,  $NH_3$ , sels et antibiotiques.

### c. Acétogénèse

Dans cette étape une grande partie des acides gras volatils (AGV) et des alcools sont assimilés par les bactéries acétogènes autotrophes pour former de l'acide acétique ( $CH_3COOH$ ). L'autre partie est convertie en hydrogène et dioxyde de carbone. Ces bactéries, évoluant sous un pH neutre (6.8 à 7.5), ont un temps de division lent (1 à 4 jours). Elle reste, cependant, sensible au  $H_2$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$ , sels et antibiotiques et variation de températures.

### d. Méthanogènes

Elle représente la dernière étape de la méthanisation où les bactéries méthanogènes interviennent pour élaborer le méthane à partir de l'hydrogène, du gaz carbonique et des acétates, suivants les deux réactions suivantes :

- à 70% par les bactéries méthanogènes acétoclastes où le méthane est produit à partir l'acétate
- Environ 30% par les bactéries méthanogènes hydrogénophiles où le méthane est produit à partir du dioxyde de carbone et de l'hydrogène.

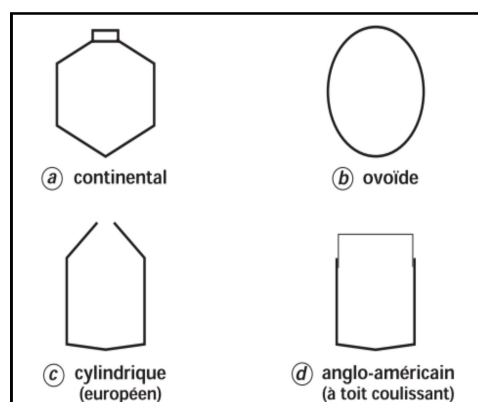
Ces bactéries ont un temps de division très long (5 à 15 jours) et évoluent dans une gamme de valeurs de pH neutre allant de 6.8 à 7.5. Elles restent, cependant, sensibles à la présence d'oxygène, de Cu et des sels et aux variations de pH et de températures.

## II.3. MISE EN OEUVRE DE LA METHANISATION EN DIGESTEUR

A l'état naturel, la production de biogaz est observée dans différents milieu tels que les marais, les rizières et même dans le tube digestif humain. La mise en œuvre de la méthanisation en digesteur, cependant, dépend de plusieurs paramètres, parmi lesquels nous retiendrons : le type de digesteur, la température, le pH, les substances inhibitrices, le mixage dans des proportions définies, le rapport C/N, le taux de Charges organiques, etc.

### II.3.1. Types de digesteurs

Le digesteur, encore appelé fermenteur ou bioréacteur - anaérobie est généralement constitué d'une cuve fermée, étanche à l'air et



**Figure 5 :** formes géométriques de digesteurs (R. MOLETTE, 2011)

de préférence isolée thermiquement de l'extérieur, dans laquelle les boues sont conduite vers l'intérieur. Les réactions de fermentation optimisées et contrôlées aboutissent la production du biogaz composé majoritairement de méthane (CH<sub>4</sub>) à 65%, de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) à 35% et d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) (AEAG, 2001).

Bien qu'ils se présentent selon des formes géométriques différentes (figure 5), les digesteurs sont choisis en fonction du type de déchets à traiter et de l'application visée. On distingue alors :

- **Le Digesteur batch ou discontinu :**

Il a l'avantage d'être d'une construction simple. Le mode opératoire consiste à remplir le digesteur avec des substances organiques et laisser digérer. Le temps de rétention étant fonction de la température et d'autres facteurs. A la fin de la digestion, le résidu (digestat) est évacué et le processus peut être reconduit.

- **Digesteur continu**

Le substrat introduit de manière continue est digéré par déplacement mécaniquement ou sous la pression des nouveaux intrants vers la sortie sous forme de digestat. Le fonctionnement en continu est bien adapté aux installations de grande taille. Il existe trois principaux types de digesteurs continus : système à cuve verticale, système à cuve horizontale et système à « cuves multiples ».

- **Le digesteur semi-continu :**

Fonctionne avec une combinaison des propriétés des deux précédents digesteurs afin de tirer profit des avantages des deux extrêmes. (RECORD, 2003).

### II.3.2. Etapes du procédé de digestion

- **Les procédés mono-étapes :**

Toutes les étapes de la digestion ont lieu dans la même enceinte. Ils sont exploitables en continu ou en batch et appliqués principalement sur des substrats allant jusqu'à 40 % de MS. (RECORD, 2003).

- **Les procédés bi-étapes :**

Sont caractérisés par le fait que l'hydrolyse et l'acidification sont nettement séparées de la phase suivante de méthanisation. (RECORD, 2003). Afin d'assurer les conditions indispensables de fermentation du substrat, le digesteur doit satisfaire aux exigences Herméticité vis-à-vis du gaz et assurer dans le temps (B.ABDERAZZAK, 2010):

- la protection contre la lumière
- la stabilité thermique
- la stabilité contre la corrosion
- l'Aptitude à assurer le pompage, le mélange et la circulation du substrat.

#### II.4.PARAMETRES DE LA DIGESTION ANAEROBIQUE

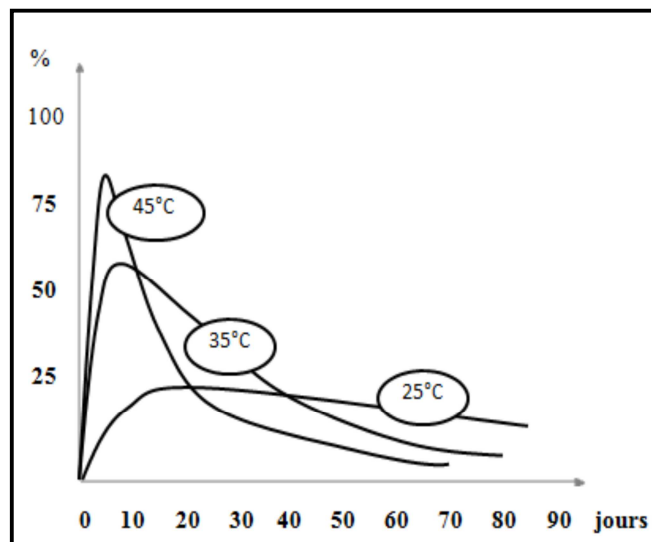
Le processus de digestion anaérobie est fortement influencé par les paramètres physico-chimiques, SOIT la température, le pH, le titre alcalimétrique complet (TAC), la concentration en AGV.

##### II.4.1. Anaérobiose

La méthanisation se réalise en anaérobiose stricte. Outre l'absence d'oxygène, le potentiel d'oxydoréduction doit être compris entre -600MV/ENH et -300 MV/ENH (R.MOLLETTA, 2011).

##### II.4.2. Température

La digestion de la matière organique ne produit pas significativement de la chaleur. Il est nécessaire de chauffer les digesteurs pour maintenir une température compatible avec une bonne activité microbienne. Le rendement optimal de la fermentation méthanique en anaérobie est obtenu pour des valeurs de températures élevées et un temps de séjour court (figure 6). Trois gammes de températures sont ainsi définies pour le



**Figure 6 :** Production de biogaz (rendement) en fonction de la température et du temps de séjour (KHARBOUCHE, 2005)

fonctionnement des méthaniseurs (**B.D LA FARGE, 1997**):

**a. Psychrophile :**

La digestion a lieu à basse température, pour une gamme de valeurs allant de 5°C à 25°C. Il s'agit le plus souvent de méthaniseurs fonctionnant à la température ambiante.

**b. Mésophile :**

La digestion a lieu à moyenne température, pour une gamme de valeurs allant de 25°C à 38°C.

**c. Thermophile :**

La digestion a lieu à haute température supérieures à 45 °C et pouvant aller jusqu'à 70°C. Cette technique est peu utilisée en raison des besoins énergétiques importants qu'il faudra maintenir dans le méthaniseur. (**A. ESSAM, 2011**)

L'intensité de l'activité des micro-organismes dépend de la production du méthane en fonction de la température du milieu (**A. ESSAM, 2011**). La régulation de ces températures est importante car certaines bactéries, en particulier les Méthanogènes, sont sensibles au changement de température. Pour le chauffage des boues, on retrouve le plus souvent un échangeur de chaleur Eau/Boue, alimenté en eau chaude par l'intermédiaire d'une chaudière qui fonctionne généralement avec le biogaz produit. Une alimentation d'appoint est cependant nécessaire pour les phases de mise en route où il n'y a pas de production de biogaz. (**R.MOLLETA, 2011**)

### **II.4.3. Le temps de séjour**

Le temps de séjour est la durée théorique pendant laquelle le volume des boues fraîches séjourne dans le digesteur.

La température doit être gardée constante pour éviter une perturbation de la digestion. En effet, les bactéries méthanogènes sont particulièrement sensibles à toute variation de température, même de l'ordre de 1°C par jour.

La température et le temps de séjour sont deux facteurs fortement liés. En effet, une élévation de la température entraîne une activation des réactions d'acétogenèse de méthanisation et de croissance des bactéries ; il en résulte une diminution du temps de séjour nécessaire à la stabilisation et ainsi une augmentation de la production de gaz (**OTV, 1994**).

#### II.4.4. Potentiel hydrogène pH

Le pH est un paramètre chimique important puisque la communauté bactérienne méthanogène est sensible aux variations de celui-ci. Cette communauté requiert un milieu neutre avec une valeur de pH comprise entre 6,5 et 8,5 pour son fonctionnement optimal. L'accumulation d'acides gras volatils ou d'hydrogène peut produire une acidification dans le méthaniseur et inhiber ainsi la méthanisation. Il est très important de suivre la valeur de pH et de l'ajuster si nécessaire en injectant de la lessive de soude (Hydroxyde de Sodium) sous forme liquide pour baisser l'acidité du milieu dans le digesteur. (A.ESSAM ,2011)

#### II.4.5. Alcalinité

Il est important de s'assurer que le taux d'alcalinité (TAC) est **compris entre 1000mgCaCO3/L et 6000 mgCaCO3/L**. En effet les hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) responsable de l'alcalinité du milieu, permettent un fonctionnement plus stable du digesteur. Ils sont notamment responsables du pouvoir tampon du réacteur. Cependant, dans le cas d'un effluent entrant trop chargé en azote (rapport C/N déséquilibré), on peut avoir une accumulation d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) dans le réacteur qui se traduit par une augmentation de pH et une diminution des rendements épuratoires ; On parle alors de dépassement alcalin. (R.MOLLETTA, 2009)

#### II.4.6. Les acides gras volatiles

La concentration en AGV est un indicateur direct du fonctionnement du réacteur. Son suivi permet de prévenir des phénomènes d'acidification et ainsi d'éviter une diminution trop importante des performances épuratoires. Idéalement, la concentration en AVG (exprimée en Quantité d'acide acétique) doit être maintenue autour de **200-300 mg/L d'acide acétique** (pour des températures mésophiles). (R.MOLLETTA, 2009)

#### II.4.7. Humidité

Pour toute activité biologique, la présence d'eau est indispensable. L'humidité minimale doit être de 60 % à 70 % (eau liée ou libre). (B.DLA FARGE, 1995).

### II.4.8. Rapport carbone/azote (C/N)

Le rapport carbone/azote (C/N) est une mesure de la quantité relative de l'azote et du carbone organique présent dans la charge. Si le rapport C/N est très élevé, les déchets utilisés comme substrat auront une carence en azote ; ce qui est pourtant nécessaire pour développer des communautés bactériennes. En conséquence, la production de gaz sera faible. Si le rapport C/N est très faible, l'azote est libéré et s'accumule sous forme d'ammoniac. Ce qui permettra d'accroître la valeur du pH de la matière ; Toutefois, un pH supérieur à 8,5 sera toxique sur les communautés bactériennes méthanogènes. Un rapport C/N de 20-30 est considéré comme optimal pour un digesteur anaérobie. (P.JOHAN, 2013)

### II.4.9. L'agitation

Il faut éviter la production de croutes et de décantation de particules denses. Pour cela, on utilise un agitateur mécanique par circulation du milieu ou par injection de biogaz sous pression.

## II.5. SUBSTRATS METANISABLES ET SUBSTANCES INHIBITRICES

Il existe un nombre important de substrats méthanisables (tableau 1). Chaque substrat possède un potentiel méthanogène différent. Aussi, certains sont reconnus comme étant très favorables à la fermentation anaérobie, car ils présentent des caractéristiques adaptées aux besoins de la flore bactérienne mise en jeu lors de la méthanisation.

	Graisses agroalimentaires	Déchets de restauration	Sang	Boues d'épuration biologique			
Potentiel méthanogène (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t MO)				855	500	454	250

**Tableau 1 :** Valeurs indicatives de potentiel méthanogène pour différents substrats utilisés sur des unités de méthanisation (R. MOLETTA, 2010)

On distingue plusieurs types d'inhibiteurs de la digestion. C'est le cas de certains cations sulfures et les éléments-traces (tableau 2).

**Tableau 2 :** Composés organiques et inorganiques pouvant inhiber les micro-organismes de la digestion anaérobie (MOLETTA, 2011)

Substance	Concentration inhibitrice (mg · L <sup>-1</sup> )	
	modérément	fortement
Sodium (Na <sup>+</sup> )	3 500 à 5 500	8 000
Potassium (K <sup>+</sup> )	2 500 à 4 500	12,000
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	2 500 à 4 500	8 000
Magnésium (Mg <sup>+</sup> )	1 000 à 1 500	3 000
N - ammoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	1 500 à 3 000	3 000
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.  
Total : inhibition totale à cette concentration.

## II.6. SOUS-PRODUITS DE LA METHANISATION

### II.6.1. Biogaz

Le biogaz est un mélange composé essentiellement de méthane (CH<sub>4</sub>) et de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Suivant sa provenance, il contient aussi des quantités variables d'eau, d'azote, d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S), d'oxygène, halogénés (chlore et fluor) et des métaux lourds. Ces trois dernières familles d'éléments chimiques sont présentes à l'état de traces. (R. MOLETTA, 2011).

#### a. Composition

Le biogaz brut issu du digesteur est principalement composé de CH<sub>4</sub> et de CO<sub>2</sub> à des proportions allant respectivement de 50 à 80% et de 20 à 40% (tableau 3). D'autres gaz peuvent être présents : H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S (0 à 3% au total). La proportion de ces gaz dépend du type de substrats utilisés (MOLETTA, 2011).

Composés	[ ] moyenne (%)
Méthane	55 à 75
Dioxyde de carbone	25 à 45
Azote	2 à 6
Hydrogène	0.1 à 2
Hydrogène de sulfure	0.01 à 1

**Tableau 3 :** Composition moyenne du biogaz (JEROME GAY)

Le biogaz est généralement récupéré par aspiration dans le ciel du digesteur et stocké dans un gazomètre. Son pouvoir calorifique dépend de sa teneur en méthane, on peut calculer son PCI grâce à la relation : %CH<sub>4</sub> \* 0,994 (kWh /Nm<sup>3</sup>).

- **Méthane (CH<sub>4</sub>) :**

Le taux de CH<sub>4</sub> confère aux gaz de biomasse un pouvoir calorifique. C'est l'un des principaux constituants qui participent dans le dégagement d'énergie lors de combustion. La température d'ignition (mise à feu) du méthane à pression atmosphérique en présence d'une flamme ou étincelle est de 550 °C, Son auto inflammation n'est donc pas spontanée. Il est inodore et incolore. (RENE MOLETTA, 2011).

- **L'oxygène :**

La présence d'oxygène est essentiellement liée au mode opératoire de la production du gaz de biomasse. La présence d'oxygènes révèle un défaut d'étanchéité (introduction d'air) dans le procédé d'extraction du gaz produit. (R. MOLETTA, 2011).

- **Le dioxyde de carbone :**

La présence de CO<sub>2</sub> est inhérente au biogaz. Il ne participe pas au processus de combustion, mais fait accroître l'indice de méthane. (RENE MOLETTA, 2011)

- **L'eau H<sub>2</sub>O :**

A la sortie, le biogaz est saturé de vapeur d'eau et cette quantité d'eau augmente avec la température du gaz. Les problèmes prévisibles sont : la vapeur d'eau réagit avec H<sub>2</sub>S formant ainsi les acides sulfureux (nuisibles pour les vannes et les métaux) et la formation des poches baisse le rendement du moteur due à la compression de l'eau contenue dans le biogaz. (R. MOLETTA, 2011).

#### b. Procèdes de traitement et valorisation

Si le biogaz peut être valorisé en énergie, c'est grâce au méthane qu'il contient. Cependant, la présence d'autres composés peut endommager les équipements de valorisation. Une épuration est donc nécessaire pour une valorisation par cogénération. Pour l'injection dans le réseau de gaz naturel et l'utilisation en biocarburant, le biogaz doit être épuré de telle manière qu'il soit composé très majoritairement de méthane (au moins 97%), comparable au gaz naturel.

Ce traitement consiste à :

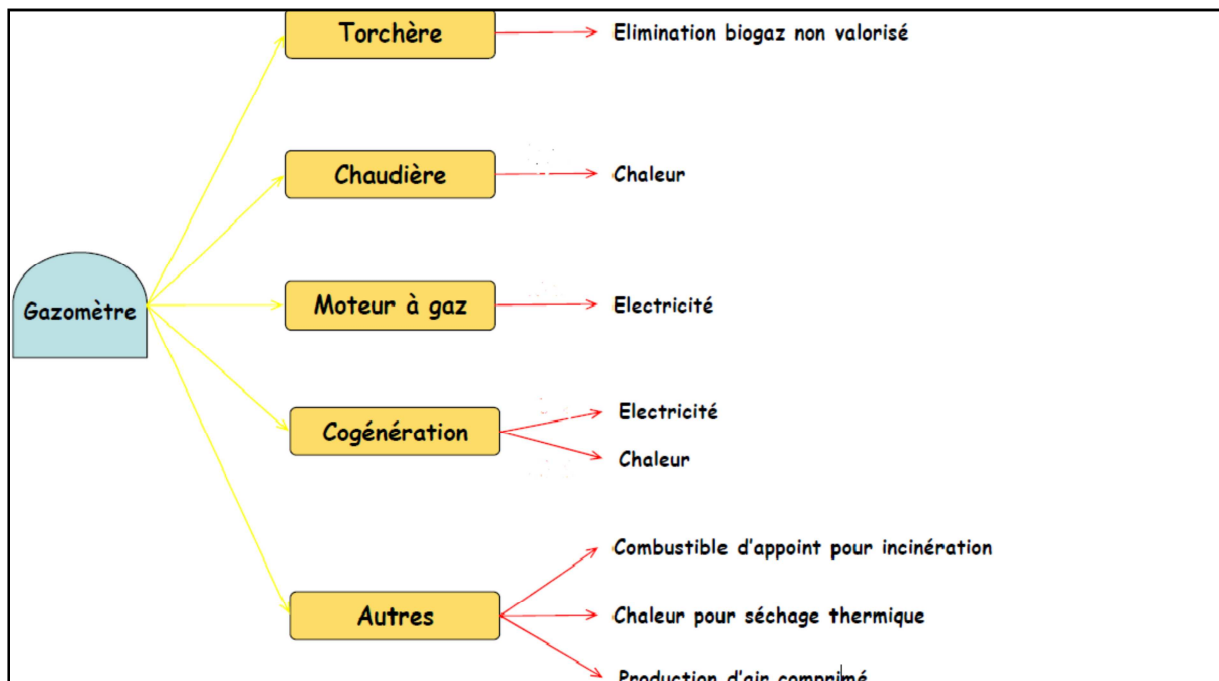
- Une décarbonatation par des procédés utilisés pour séparer le CO<sub>2</sub> tel l'Absorption, l'adsorption et la séparation membranaire
- Une déshydratation par des procédés utilisés pour enlever l'eau, tel que le lavage au glycol, l'adsorption sur des silicates, sur du charbon actif ou encore sur des tamis moléculaires type zéolithes. (R.MOLETTA, 2008)
- Une désulfuration par des procédés utilisés pour enlever le soufre et/ou le H<sub>2</sub>S, tel que l'ajouts de sels minéraux, la désulfuration biologique via des micro-organismes, le lavage aux oxydants chimiques, l'adsorption sur oxydes métalliques ou par charbons actifs
- Une élimination des siloxane (R.MOLETTA, 2008)

### c. Utilisation

Le biogaz est utilisé en tant que combustible ou carburant pour éviter le rejet à l'atmosphère du méthane, gaz participant à l'effet de serre. Il peut servir à la production de la chaleur ou de l'électricité ou les deux à la fois (cogénération). Par ailleurs, il peut aussi être injecté dans les réseaux locaux de gaz naturel. Les quantités de biogaz récupérées lors du traitement des effluents sur les installations anaérobies peuvent être importantes et l'économie énergétique non négligeable. (B.D La FARGE, 1995).

### d. valorisation

Le biogaz peut être valorisé en chaudière ou par cogénération. La chaleur produite peut être utilisée pour le chauffage du digesteur (digestion mésophile à 35°C), mais également pour le chauffage des locaux techniques de la station d'épuration ou pour le conditionnement thermique des boues. Plus rarement, le biogaz peut être valorisé en gaz naturel pour les véhicules. Sinon le biogaz est au minimum brûlé dans une torchère (figure 7).



**Figure 7** : Différentes voies de valorisation du méthane (R.MOLETTA, 2009)

- **Production de chaleur**

Les fours ou chaudières représentent la voie de valorisation la plus simple. En effet, le biogaz est brûlé, en général sans traitement préalable. L'énergie de combustion est récupérée sous

forme de chaleur. La production minimale permettant la valorisation en chaudière dans des conditions économiques acceptables est de 100 Nm<sup>3</sup>/h.

- **Production d'électricité**

La cogénération est la production simultanée d'électricité et de chaleur. La production d'électricité est réalisable à partir de moteur à combustion interne ou moteur à gaz, de turbine à vapeur, de turbine à combustion et plus récemment à partir de piles à combustible. La production de la chaleur est réalisée par récupération de l'énergie thermique dégagée lors de la réaction de combustion du gaz.

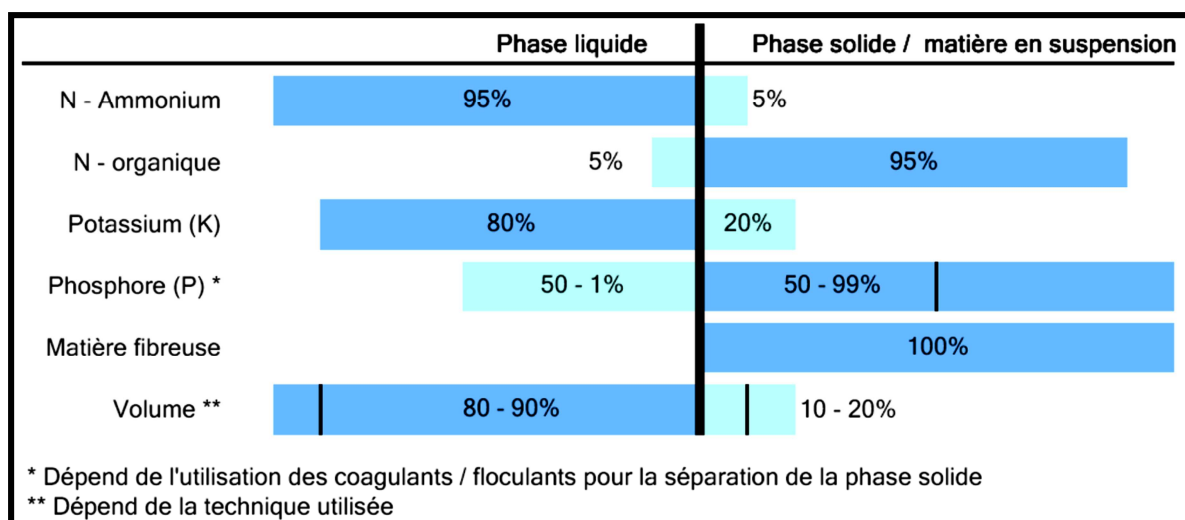
Il existe des modes de valorisation du biogaz qui ne sont pas encore très matures :

- Utilisation du biogaz comme bio carburant pour véhicules.
- Injection du biogaz épuré dans un réseau de distribution de gaz naturel (OTV, 1997)

## II.6.2. Digestat et Hygiénisation

### a. Digestat

Le digestat est un sous-produit de la digestion anaérobie. Il est composé de deux phases (liquide et solide). Après une digestion anaérobie, la boue est stabilisée, la teneur en matière fermentescible des boues est réduite et à tendance de modifier la qualité agronomique des boues. En effet, une grande partie de l'azote dissout est convertie en ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Le phosphore est globalement peu modifié et se trouve majoritairement sous forme d'ortho phosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>).



**Figure 8** : Répartition des éléments entre la phase solide et liquide (ToineBakx ,2010)

Si les boues sont épandues sous forme liquide, l'ammonium et le phosphore demeurent toujours présents. Les boues ont alors une valeur agronomique plus importante que les boues fraîches car les nutriments sont plus rapidement bio disponibles pour les végétaux. En revanche, quand les boues sont déshydratées en sortie de digestion, une grande partie des nutriments (sous forme ionique) est incluse dans la fraction liquide issue de la déshydratation. La teneur en élément fertilisant des boues sera diminuée (Figure 8).

#### **b. Hygiénisation :**

En termes d'hygiénisation, la bio-méthanisation permet de réduire en partie la teneur en germes pathogènes et détruire les graines d'adventices qui peuvent être présentes dans les déjections, les fumiers ou les plantes énergétiques. (R. MOLETTA, 2011)

### **II.7. AVANTAGES DE LA METHANISATION DES BOUES**

Les avantages de la réduction du volume des boues issues du traitement des eaux usées sont multiples. En plus de la réduction des nuisances que peut engendrer l'accumulation de ces déchets et l'atténuation de leurs effets nocifs sur l'environnement à la stabilisation de ces boues et leurs hygiénisation, ce type de transformation naturelle permet de réduire les coûts de traitement et d'exploitation de ces déchets découlant de la filière de traitement des boues. La conversion bioénergétique appliquée ce type de déchet permet aussi la production de biogaz qui peut être utilisé dans différents secteurs de consommation et de production.

### **CONCLUSION**

Les boues issues des STEP représentent une nuisance environnementale à prendre en charge pour la préservation durable de l'environnement. L'atténuation de ses effets peut être prise en charge par le traitement de ces déchets par un procédé de bioconversion « digestion anaérobie », appelée aussi méthanisation, et la valorisation des produits résultant de ce traitement tel que ; le biogaz utilisée comme énergie et le digestat comme fertilisant.

La méthanisation demeure un processus complexe, se déroulant en quatre principales phases : l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et en fin la méthanogénèse. Chacune des phases fait intervenir un groupe de bactéries particulier évoluant dans des conditions bien spécifiques à chacun de ces groupes. Le suivi de la température, du pH et la variation de poids de la matière organique entre le début et la fin du processus de digestion sont autant de paramètres permettant de mettre en évidence le déroulement de ce processus de méthanisation. Ce que

nous avons pu mettre en évidence à travers l'étude que nous avons menée dans le cadre de ce travail et que nous décrivons dans le chapitre III et IV.



**Chapitre III**  
**Matériel et méthode**

## INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous présentons dans un premier temps la station d'épuration de Djelfa et ses différentes composantes (ouvrages) utilisées pour le traitement des boues et dans un second temps, les principaux paramètres conditionnant le processus de la méthanisation et son suivi dans le cadre de ce travail expérimental. Un suivi qui permettra de mettre en évidence la possibilité de la production de biogaz dans la STEP de DJELFA et son caractère rentable dans le cas de l'installation du digesteur. Une expérimentation qui a nécessité la conception d'un mini-digesteur au sein même de la STEP et un suivi durant 04 mois de l'évolution des principaux paramètres conditionnant la digestion anaérobie et production du biogaz, soit la température, le PH et la matière sèche.

### III.1. PRESENTATION ET DESCRIPTION DE LA STEP DE DJELFA

Bien que construite en 1984, la station d'épuration de Djelfa n'a été mise en exploitation que deux années plus tard par les services de l'APC par manque de main d'œuvre spécialisée. Elle a été soumise par la suite aux arrêts puis réhabilitée en 2014 après extension.

#### III.1.1. Emplacement de la STEP de Djelfa :

Installée en aval de la ville de Djelfa, à 3 km au nord de la ville, dans la localité dite de Kaf Haouas, La STEP de Djelfa recueille l'ensemble des rejets des eaux d'assainissement de la ville. Elle est limitée au Nord par l'ancienne route nationale N°1 et oued Mellah au nord, au Sud par une butte, à l'Est par l'abattoir communal et à l'Ouest par un terrain nu. Cet emplacement confère à la station plusieurs avantages. En effet, la STEP est située en aval de la ville de Djelfa, à l'écart de la zone d'extension de la ville et en zone non inondable. Elle est facile d'accès et bien desservie par les lignes électriques à basse et à moyenne tension.

#### III.1.2. Ouvrages de la STEP de Djelfa

La station d'El-Djelfa comprend plusieurs ouvrages. Les travaux de réhabilitation et d'extension ainsi que l'installation des équipements ont été réalisés OTV, Veolia sous la supervision des services de l'ONA. Les effluents liquides de la ville de Djelfa sont rejetés dans un réseau unifié, aboutissent directement à la STEP par gravité à l'aide d'un seul collecteur de diamètre 1500mm, muni à l'aval d'un déversoir d'orage qui sert à limiter le volume de débit d'eau traitée à 4500 m<sup>3</sup>/h. le tableau 4 résume les principales caractéristiques des différents ouvrages de la STEP de Djelfa.

Ouvrages de traitement de la station / Dimensionnements	Diamètre (m)	Hauteur (m)	Volume utile (m <sup>3</sup> )	Surface (m <sup>2</sup> )	Temps de passage (mn)	Débits (m <sup>3</sup> /h)
Dégrilleur -Fin - Grossier	/	/	/	/	/	3400 -1700 -1700
Déshuileur- dessableur	/	/	/	/	/	1700*2
Décanteur existant	30	2.2	1837	702	/	/
Bassin d'aération existant	/	/	4046	/	/	/
Clarificateur existant	30	2.2	1837	706	/	/
Désinfection	8.5	3.7	250	/	15	/
Décanteur nouvelle file	25	2.5	1227	490	/	/
Bassin d'aération N.F	/	/	3208	/	/	/
Clarificateur N.F	36	3.8	3838	1010	/	/
Désinfection N.F	10	3.7	350	/	15	/
Stabilisateur	4.85	37.8	4620	/	/	/
Epaississeur	20	3.7	1444	/	/	/
Déshydratation	/	/	/	/	/	/

**Tableau 4.**Caractéristiques des différents ouvrages de la STEP de Djelfa

### III.2. Méthode et conduite expérimentale

L'installation d'un digesteur dans la STEP de Djelfa n'a pas été prise en compte dans l'étude de faisabilité dédiée à cette station. Il n'a donc pas été simple pour nous d'évaluer les potentialités du processus de la méthanisation appliquée aux boues produite par la dit STEP. Il a été nécessaire pour nous de concevoir un mini-digesteur à base d'accessoires simple, en fonction du peu de moyens dont nous disposions.

### III.2.1 Conception du mini-digesteur

#### III.2.1.1. Accessoires utilisés dans la conception du mini-digesteur

Les accessoires utilisés dans la conception de ce mini-digesteur sont simple et disponible dans le commerce. On retrouve alors :

- Un bidon de 20 L, fermée hermétiquement et destiné à recevoir une certaine quantité de boues produite à la STEP de Djelfa et dans lequel la digestion anaérobie se réalise.
- Une chambre à air de voiture destiné a la récupération du biogaz produit.
- Une bouteille d'eau 5 L destiné à
- brûleur (bec bunzen ou réchaud de camping), destiné à tester l'inflammabilité.
- Un tuyau de gaz, destiné pour le passage du gaz produit
- Un tuyau de plastique, destiné à raccorder le matériel
- raccords (simples et en T) adaptés au tuyau.
- Silicone et colliers métal type serre-joint.

#### III.2.1.2. Montage et conception du mini-digesteur

Le montage du mini-digesteur été réalisé comme suit :

- Branchement du bidon d'une capacité de 20litre à un tuyau en plastique long de 3 m. Le bidon est destiné à recevoir au démarrage de l'expérimentation 10 litres de boues.
- Raccordement de la chambre à air, destinée à stocker le gaz produit par le digesteur, a une sortie réalisée avec un raccord en 'T'au milieu du tuyau en plastique.
- Raccordementd'une bouteille, d'une capacité de 5 litres remplie à demi volume par de l'eau, à l'autre extrémité du tuyau en plastique.



**Photo 3.**Montage du mini-digesteur destiné à abriter la digestion anaérobie des boues produites par le STEP de Djelfa

### III.2.2. Conduite de l'expérimentation et suivi des paramètres de mesures

#### III.2.2.1. Conduite expérimentale

L'amorçage de la digestion anaérobie a nécessité l'introduction de 10 kg de boues produite par la STEP dans le bidon d'une capacité de 20 litres, censé remplacer le digesteur, auquel a été rajouté 5 litre d'eau. Après le mélange de ces deux compartiments pour assurer une homogénéisation de la matière digestible (boues + eau), puis fermeture hermétique du bidon en question, la digestion se trouve alors aussitôt amorcée et l'expérimentation débutée.

Le suivi temporel des paramètres de mesures est réalisé à une fréquence hebdomadaire (une fois par semaine) et porte sur trois principaux paramètres permettant de caractériser la digestion anaérobie du mélange utilisé, à savoir la température, le pH et l'évolution de la matière sèche du substrat.

#### III.2.2.2. Suivi des paramètres

- **Température et pH:**

La température et le pH jouent un rôle de premier ordre dans un processus de méthanisation. Ils sont directement responsables du bon déroulement de la méthanisation. Leurs suivis temporel permet une meilleure appréciation des conditions de développement des microorganismes dont l'activité se trouve inhibée pour des valeurs de pH proche de l'acidité mais aussi pour des valeurs de températures assez faible. La mesure de ces deux paramètres, pH et température, est réalisée par un appareil de mesure *Multi paramètre pH mètre* (photo 4) qui donne la valeur de ces deux paramètres à la fois. La précision de ce dispositif signalée par son constructeur est de 0.1 unité de pH.



**Photo 4.** *Multi paramètre pH mètre utilisé pour la mesure de la température et du pH du substrat*

Avant l'utilisation du pH mètre, un étalonnage est d'abord réalisé à l'aide de deux solutions tampons de valeur de pH=4 pour la première et pH=7 pour la seconde. Lors de la mesure sur

le substrat traité, l'électrode de pH mètre est plongée dans un échantillon de ce substrat pour y lire la valeur de pH et de la température à la fois.

- **Matière sèche et test d'inflammabilité**

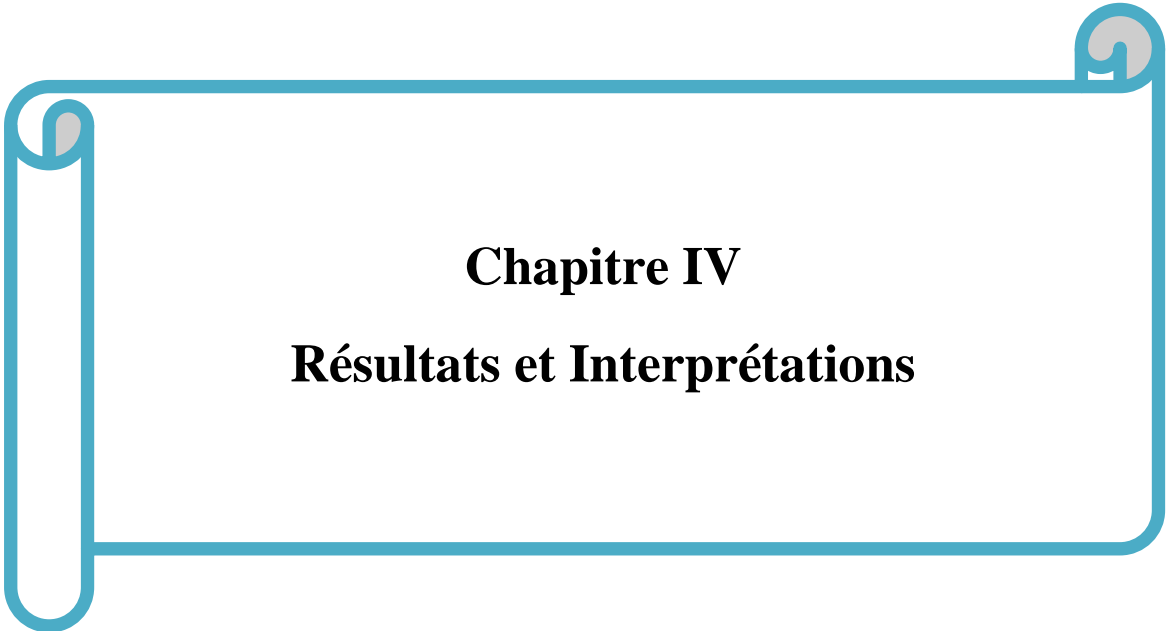
Le suivi temporel de l'évolution de la matière sèche est un bon indicateur du bon déroulement du processus de la méthanisation. La réalisation de sa mesure nécessite l'utilisation d'une étuve, et d'une balance à précision. Deux mesures au total ont été réalisées à cet effet :

- La première mesure a eu lieu sur le substrat de boue juste avant son placement dans le digesteur (bidon réservé à cet effet), et donc au moment de lancement de l'expérimentation. L'échantillon ainsi prélevé est alors pesé avant d'être placé dans l'étuve à une température de 105 C, pendant 48 heures.
- La seconde mesure a eu lieu sur le substrat de boue ayant subi la digestion anaérobie, et donc après l'arrêt de l'expérimentation. L'échantillon ainsi prélevé est lui aussi pesé avant d'être placé dans l'étuve à une température de 105 C, pendant 48 heures.



**Photo 5.** *Autoclave utilisé pour la dessiccation des échantillons étudiés*

Pour le teste de l'inflammabilité du biogaz produit et récupéré dans la chambre à air, celui-ci est mis en contact d'une étincelle afin de vérifier son inflammabilité à travers la production d'une flamme.



**Chapitre IV**  
**Résultats et Interprétations**

Au cours de la réalisation de notre essai à la STEP de Djelfa, il a été possible pour nous de suivre quatre paramètres indicateurs du bon fonctionnement de la digestion anaérobie sur les boues produite dans cette STEP. Nous présenterons dans un premier temps les résultats obtenus et dans un second temps leur interprétation.

## IV.1.RESULTATS

### IV.1.1. Evolution de la température

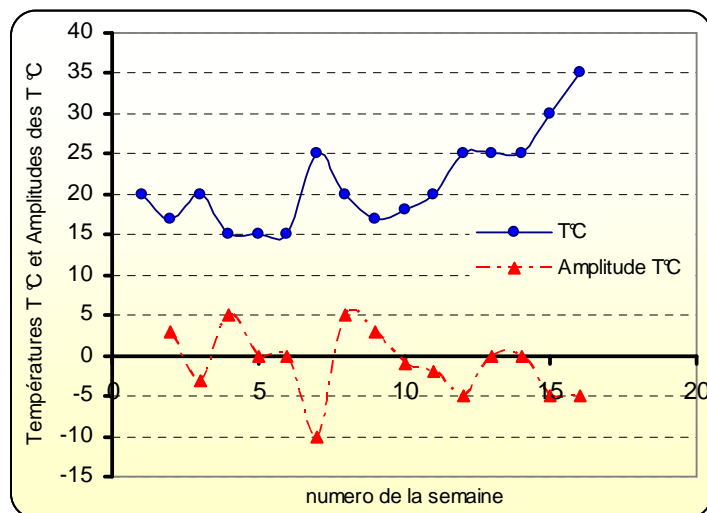
La température est un paramètre indicateur du bon fonctionnement de la digestion anaérobie. Elle a un effet direct sur les propriétés physico-chimiques de l'ensemble des composés du digesteur.

Le suivi temporel de la température mesurée à l'intérieur du digesteur montre une tendance à la hausse de ces valeurs en fonction de l'évolution de la température de l'air ambiante avec, bien sûr, une forte fluctuation de celles-ci tout au long de la période d'essai (graphe 1). Rappelons à cet effet que le digesteur en question était placé en plein air, mais sous abris ; les différents

processus ayant lieu dans ce digesteur ont donc subi, et de façon directe, l'influence de ces températures ambiantes imposées par les conditions météorologiques.

La plus forte amplitude de températures relevée entre deux températures consécutives a atteint 10°C et a été enregistrée entre la semaine sixième et la septième semaine, alors que celle relevée entre la plus faible et la plus forte température enregistrée sur l'ensemble de la période a, quant à elle, atteint 20°C.

Le suivi temporel des températures montre, aussi, que ces valeurs ayant caractérisées le déroulement des différents processus de digestion anaérobie ont été beaucoup plus fraîches

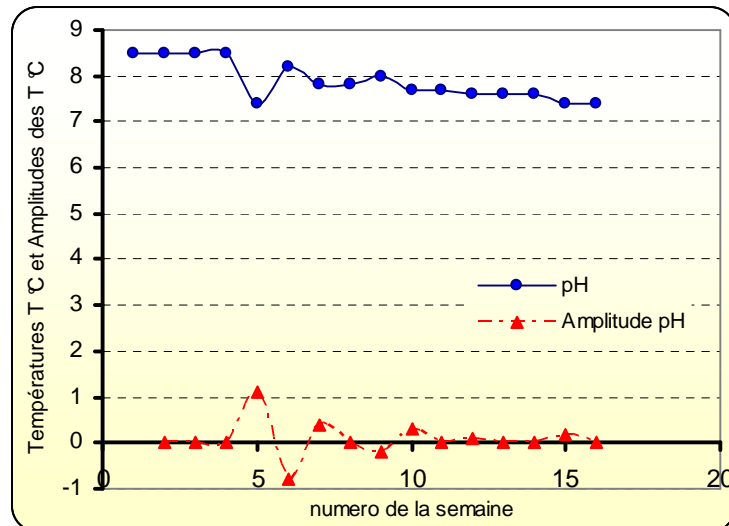


**Graphe 1.** Evolution des températures du digesteur et des amplitudes des températures successives enregistrées tout au long de la période d'essai.

durant le premier tiers de la période d'essai (variant de 15°C à 20°C, avec une moyenne de 17.4°C), légèrement plus élevées durant le second tiers de la période (variant de 15°C à 25°C, avec une moyenne de 19.2°C) et assez élevées durant le dernier tiers de la période (variant de 25°C à 35°C, avec une moyenne 28°C).

#### IV.1.2. Evolution du PH :

Tout comme pour la température, le pH est lui aussi un paramètre indicateur du bon fonctionnement de la digestion anaérobie. Le suivi temporel de pH à l'intérieur du digesteur montre, contrairement à la température, une évolution plutôt décroissante de ses valeurs entre le début et la fin de l'essai avec, toutefois, une fluctuation de celles-ci mais qui reste moins marquée que



**Graph 2.** Evolution des pH à l'intérieur du digesteur et des amplitudes des pH successives enregistrées tout au long de la période d'essai.

pour les températures (graphe 2); fluctuation qui peut atteindre des amplitudes de variations des valeurs consécutives allant de 0.1 pour la plus petite à 1.1 pour la plus forte.

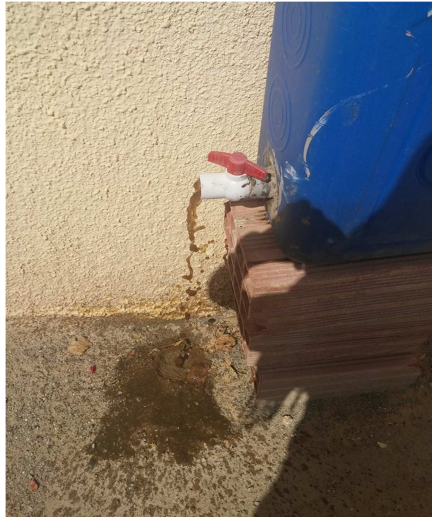
En effet, la plus forte fluctuation a été enregistrée à la cinquième et la sixième semaine : la valeur de pH est ainsi passée de 8.5, valeur maintenue constante durant les quatre premières semaines, à 7.4 durant la cinquième semaine avant de remonter brusquement à 8.2 à la sixième semaine. Fluctuations qui ne peuvent être sans effets marquant sur le déroulement du processus de digestion étudié.

#### IV.1.3. Evolution de la matière sèche et inflammabilité du biogaz

La quantité de matière sèche dans le milieu utilisé pour la digestion (boue) semble assez faible au départ de l'essai (5%), exprimant une forte dilution et donc une hydratation de près de 95%). Sa valeur à la fin de l'essai a atteint 2.2%, exprimant une réduction de l'ordre de 56% avec la production de digestat (photo 3).

Ce paramètre qui donne une idée plutôt général sur la réalisation du processus de la digestion anaérobie mais ne permet, cependant, pas de quantifier le rendement de la dégradation de la matière organique.

S'agissant de la production du biogaz, celle-ci a été bien confirmée par la flamme dégagée suite au teste d'inflammabilité du biogaz ainsi produit.



**Photo06.** *Digestat produit à la fin du processus de digestion anaérobie*

#### IV.2.INTERPRETATION

L'analyse des températures ayant caractérisées la période expérimentale permet d'identifier deux périodes distinctes, représentés chacune par une gamme de températures spécifiques influençant le fonctionnement des méthaniseurs particuliers, responsables du processus de digestion anaérobie tout au long de l'expérimentation :

- (i) Ceux qualifiés de psychrophiles, activant à des températures basses inférieures à 25°C et ayant prévalués durant les 11 premières semaines de l'expérimentation.
- (ii) Ceux qualifiés de mésophile, activant à des températures plus élevées comprises entre 25°C et 35°C et ayant prévalués durant les cinq dernières semaines de l'expérimentation.

Les températures basses ainsi relevées durant les 11 premières semaines expriment, sans aucun doute, une évolution assez ralentie (R.Moletta, 2008), voir même perturbée, du processus de digestion anaérobie, compte tenu des fluctuations importantes de températures qui influent directement et de façon négative sur le fonctionnement des bactéries méthaniques et sur la production du biogaz (kherbouche, 2005).

La stabilisation du pH durant les quatre premières semaines exprime, quant à elle, les bonnes conditions de fonctionnement des bactéries méthaniques et par là la production du biogaz. Cependant, la baisse brusque du pH de 8.5 à 7.4 à la cinquième semaine rend compte de la rupture de ce fonctionnement et donc d'une diminution de la production du biogaz dû (i) soit à une inhibition probable des bactéries accentogènes ou méthanogènes en raison des fluctuations répétées et continues des températures (R.Moletta,2011),comme il a été signalé auparavant (graphe 1) soit (ii) à la nature du substrat qui peut être trop abondant ou trop fermentescible, conduisant de ce fait à une accumulation des AGV dans le milieu (Moletta, R, 2008).

L'auto ajustement du pH de 7.4 à 8.2, ayant eu lieu durant la sixième semaine, dénote de la rupture de ce dysfonctionnement rendant le milieu plus favorable à l'activité des bactéries accentogènes ou méthanogènes et donc à la production du biogaz. Malgré une remontée progressive des températures vers les valeurs plus propice pour l'activité des bactéries accentogènes ou méthanogènes, notamment durant les cinq dernières semaines (graphe 2), cette alternance de bon fonctionnement de ces bactéries et de leurs dysfonctionnement persistera depuis la septième semaine jusqu'à la fin de l'expérimentation, comme le montre le graphe 1, et ce pour les mêmes raisons invoquées précédemment.

En fin, la réduction de la matière sèche entre le début et la fin de l'expérimentation confirme, une fois de plus, la réalisation de ce processus de digestion anaérobie dans le digesteur et la production du digestat (photo 06). Il n'a toutefois pas été possible pour nous de quantifier le taux de dégradation de la matière organique digérée faute de disponibilité de moyens de mesures réservés à ce paramètre. Bien qu'il n'a pas été possible pour nous de quantifier la production du biogaz, faute de disponibilité de moyen de mesure, il a été tout de même possible pour nous de confirmer cette production par le teste d'inflammabilité de ce biogaz ainsi produit ; ce qui appuyant, une fois encore, la confirmation de la réalisation des phases accentogènes ou méthanogène responsables de la production de ce biogaz.

### IV.3. CONCLUSION

Le suivi de l'évolution du processus de la digestion anaérobie, appelée aussi méthanisation, a permis de mettre en évidence la réalisation de ce processus sur les boues produite par la STEP de Djelfa, sous des conditions non contrôlées de températures et de PH.

Il a été montré que les conditions fluctuantes de températures peuvent inhiber, du moins en partie pour ce qui est de notre expérimentation, le processus de production de biogaz à travers

l'inhibition de l'activité des bactéries accentogènes ou méthanogènes. L'expérience en conditions non contrôlées a montré, en revanche, la capacité de certain milieu à s'auto-ajuster par rapport à leur pH et à lever cette inhibition au profit d'une activité intense des bactéries accentogènes ou méthanogènes, assurant ainsi le bon équilibre du milieu.



**Conclusion Générale**

### CONCLUSION GENERALE

Le processus de digestion anaérobie, appelée aussi méthanisation, appliqué aux boues produites par les STEP demeure une étape incontournable dans la chaîne des traitements visant la prise en charge de leurs nuisances, dans un esprit de développement durable.

Le suivi de l'évolution du processus de la digestion anaérobie nous a permis d'approfondir nos connaissances sur la compréhension de ce processus d'une part, et de vérifier son application sur les boues produites par la STEP de Djelfa, sous des conditions non contrôlées des paramètres influençant le processus, comme la température et le PH.

Il a été possible pour nous de montrer par ce travail que si le processus de méthanisation demeure possible sous des conditions non contrôlée de température, son efficacité reste tout de même limitée, voir même inhibée pour une bonne période, en raison des fluctuations de valeurs de températures pouvant intervenir à tout moment durant le processus.

Aussi, l'expérience conduite en conditions non contrôlées de températures et PH a permis de mettre en évidence la capacité de certain milieu à s'auto-ajuster par rapport à leur PH et à lever l'inhibition de l'activité des bactéries accentogènes ou méthanogènes (due à une fluctuation de températures) ou à une production excessive des AGV (due à la nature du substrat qui peut être abondant), au profit d'une activité intense des bactéries accentogènes ou méthanogènes, assurant ainsi le bon équilibre du milieu.

En perspective et afin de mieux évaluer le processus de digestion anaérobie et quantifier ainsi son rendement, nous suggérons une étude beaucoup plus approfondie, prenant en compte le suivi de paramètres tels que le volume et le type de biogaz produit, la production d'AGV, la DCO, DBO<sub>5</sub>, pour ne citer que ceux-là.

## Bibliographie

1. **A.ESSAM, (2011)** : Bilan énergétique et environnementaux de filière biogaz .
2. **ADEME, (2000)** : Procédés de séchage dans l'industrie, Edition Agers
3. **AEAG, (2001)** : La digestion anaérobie des boues urbaines, Etat des lieux, Etat de l'art. Toulouse, Agence de l'eau, p36.
4. **ALDER, (2009)** : Traitement des déchets valorisation, élimination, P284. Paris
5. **DEGREMENT, (1989)** : Mémento technique de l'eau, édition technique et documentation Lavoisier, Paris.
6. **GAID.A,(2008)** : Traitement des boues .
7. **JEROME GAY, (2013)** : « valorisation énergétique des boues »
8. **OTV « ouvrage collective », (1997):** Traiter et valoriser les boues, infinités communication, p 457 .vol 2, France.
9. **PAULES A (2011)** : Le filtre planté de roseaux : le versant vers l'épuration des eaux usées, Edition de BOUNERGUE.
10. **R.MOLETTA, (2010)** : « Méthanisation II», Lavoisier.
11. **R.MOLETTA, (2011)** : « La méthanisation », Lavoisier.
12. **R.MOLETTA, (2009)** : L'eau, sa pollution et son traitement, France
13. **R.MOLETTA, (2008)** : « Méthanisation de la biomasse ». La technique de l'ingénieur. P532
14. **RECORD, (2003)** : Traitement des déchets organiques, Etat de l'art. P259
15. **REJSEK F, (2002)** : Analyse des eaux : aspect réglementaire et technique, Tome I. Edition SCEREN GRDP d'aquitaine, Bordeaux.
16. **TOINE BAKX, (2010)** : « Traitement de l'azote des digestats au moyen d'un réacteur à biofilm sur mobile ».

## **RESUME**

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur l'élimination des boues de la STEP Djelfa par un traitement tertiaire biologique connu sous le nom de méthanisation ou le procédé de « digestion anaérobie »

Le suivi du processus en question a permis de mettre en évidence son déroulement dans des conditions non contrôlées de températures et de pH, mais non sans perturbation de celui en raison de fluctuations des ces deux paramètres. Conditions qui n'ont pas affectées de façon permanente l'activité des bactéries productrices de biogaz dans la mesure où ces dernières ont vite repris leurs activités par un auto-ajustement du milieu, sans intervention extérieure. Cette étude rend compte des possibilités d'une éventuelle introduction de ce processus comme un traitement tertiaire dans les STEP où les températures estivales sont pochant de celles rencontrées dans la gamme des températures mésophiles, comme c'est le cas dans le sud de l'Algérie.