

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique**  
**Université Saad Dahlab Blida 1**  
**Faculté de Technologie**  
Département des Energies Renouvelables



**Mémoire Pour L'obtention du Master**  
**En Energies Renouvelables**  
**Spécialisé En : Conversion Thermique**

## ***Thème***

**Valorisation Energétique des Eaux Usées :  
STEP de la ville de Tissemsilt**

***Réalisée par* : HAMOUCHE Nour El-Imane**

Devant le jury composé de :

M. Merzouk	PV	USDB	Président
S. Chaouchi	MAA	USDB	Examinatrice
M. Khelalfa	MCB	USDB	Examinatrice
Fatma Zohra Ferradji	MCB	USDB	Promotrice

## ملخص:

الغاز الحيوي هو شكل من أشكال الطاقات المتجددة التي تم استغلالها من الأزل وتستخدم كبديل للوقود الأحفوري. هذا الغاز الحيوي هو نتيجة لعملية تحلل المواد العضوية في وسط خالي من الأكسجين. وفي هذا السياق، بدأ من الضروري التفكير في طريقة تسمح لنا بإيجاد طاقات بديلة ونظيفة، ولا سيما الطاقة الحيوية، وعلى وجه الخصوص إنتاج الغاز الحيوي. الهدف من هذا العمل هو تقديم أهمية الطاقة في حياتنا اليومية، وأنواعها المختلفة، وبعد ذلك سنركز على تقييم الطاقة الكامنة لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي. مقارنة مع الطاقة الناتجة من المعادلات الرياضية المقدمة في جزء. أيضا، سوف نناقش النتائج التي تم الحصول عليها من خلال المحاكاة التجريبية لحجم الغاز الحيوي المنتج.

**الكلمات المفتاحية:** الطاقات المتجددة، الطاقة الحيوية، الهضم اللاهوائي، الغاز الحيوي، الميثان، المياه العادمة، الحمأة.

## Résumé :

Le biogaz est l'une des formes d'énergie renouvelable exploitée depuis plusieurs décennies et qui est employé comme produit de remplacement pour les combustibles fossiles. Ce biogaz est le résultat d'un processus de dégradation des matières organiques dans un milieu privé d'oxygène.

Dans ce sens, il y a lieu de penser à un moyen qui nous permet de trouver une énergie alternative et propre, notamment la biomasse, et en particulier la production du biogaz.

Dans ce contexte. L'objectif de ce travail a consisté de présenter l'importance de l'énergie dans notre vie quotidienne, ses différents types et puis par la suite on va se concentrer sur l'évaluation du potentiel énergétique des eaux usées STEP de W. Tissemsilt, on calculera la valorisation énergétique de la STEP pour comparer avec l'énergie produite à partir des équations mathématiques présentées dans la partie simulation numérique. Aussi, on discutera les résultats obtenus par la simulation expérimentale du volume de biogaz produit.

**Mots clés:** Energie Renouvelable, Biomasse, Digestion Anaérobie, Biogaz, Méthane. Eaux Usées. Boues

**Abstract:**

Biogas is one of the forms of renewable energy that has been exploited for several decades and is used as a substitute for fossil fuels. This biogas is the result of a process of degradation of organic matter in an oxygen deprived environment.

In this sense, it is necessary to think of a way that allows us to find an alternative and clean energy, namely biomass, and in particular the production of biogas.

In this context, The objective of this work is to present the importance of energy in our daily life, its different types and then we will focus on the evaluation of the energy potential of wastewater WWTP by W. Tissemsilt, we will calculate the energy recovery of the WWTP to compare with the energy produced from the mathematical equations presented in the numerical simulation part. Also, we will discuss the results obtained by the experimental simulation of the volume of biogas produced.

**Keywords:** Renewable Energy, Biomass, Anaerobic Digestion, Biogas, Methane, Wastewater, sewage sludge.

# REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait jamais pu être réalisé sans l'aide et le soutien de nombreuses personnes à qui je suis reconnaissant pour avoir partagé leur temps, la richesse de leurs expériences et surtout leur patience avec moi.

Tout d'abord, je tiens à remercier du fond du cœur, FZ FERRADJI, ma promotrice, pour toutes les connaissances qu'elle a su me transmettre, pour son aide et sa patience. Je suis ravi d'avoir travaillé en votre compagnie. Vous avez toujours été là pour me soutenir et me conseiller au cours de l'élaboration de ce mémoire.

Je souhaite remercier également, Mme S. Chaouchi et Mme M. Khelalfa pour avoir accepté de participer au jury et Professeur M. Marzouk qui a accepté de le présider.

Je remercie également toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage pratique, particulièrement mon directeur de stage Monsieur Bacha Nassim de m'avoir accueilli dans son équipe et pour toute l'aide qu'elle m'a apportée.

J'adresse en fin mes plus sincères remerciements à Monsieur Igoud Sadek et Monsieur Nouar Tabet qui ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes chers parents, ma mère et mon père pour leur patience, leur amour,  
leur soutien et leurs encouragements.*

*A mes sœurs « Sarah », « Amel », « Souhila » et « Fatima ». Pour l'amour  
qu'elles me réservent*

*A mon frère Mohamed*

*A mes amies, mes camarades et toute ma famille*

*A mon chéri, Karim. Pour tout l'encouragement, le respect et l'amour que tu  
m'as offert. J'espère te combler et te rendre toujours heureux.*

*Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du  
secondaire ou de l'enseignement supérieur.*

# SOMMAIRE

<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	I
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	II
<b>ABRIVIATION</b> .....	IV
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	1
<b>CHAPITRE 01 : VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DE LA BIOMASSE</b> .....	3
<b>1. Introduction</b> .....	3
<b>2. Énergie de biomasse</b> .....	3
<b>3. Modes de conversion de la biomasse</b> .....	4
3.1. Méthanisation (digestion anaérobie) :.....	4
3.1.1. Principe de la méthanisation.....	4
3.1.2. Biochimie et microbiologie de la digestion anaérobie .....	6
3.1.3. Paramètres d'optimisation de la méthanisation .....	7
<b>4. Le biogaz</b> .....	9
4.1. Composition du biogaz .....	10
4.2. Caractéristiques du biogaz .....	11
4.3. Paramètres influençant la production du biogaz .....	11
5. L'équivalence énergétique du biogaz .....	13
6. Utilisations du biogaz.....	14
<b>7. Conclusion</b> .....	15
<b>CHAPITRE 02: PRODUCTION DU BIOGAZ PAR LES SYSTEMES D'EPURATION</b> ....	16
<b>1.Introduction</b> .....	16
<b>2. Eaux usées</b> .....	16
2.1. Les eaux usées domestiques.....	17
2.2. Les eaux usées industrielles .....	17
2.3. Les principales techniques de récupération l'énergie des eaux usées.....	17
2.3.1. Energie hydraulique: turbinage des eaux usées .....	20
2.3.2 Energie thermique.....	21
2.3.3. Pile à combustible microbienne.....	22
2.3.4. Production de biogaz .....	22
<b>3. Valorisation énergétique du biogaz</b> .....	24

3.1. La production de chaleur.....	24
3.2. La production de l'électricité .....	25
3.3. Les piles à combustible:.....	25
3.4. La production de biogaz carburant .....	26
3.5. La production de gaz naturel de ville.....	27
<b>4. Conclusion.....</b>	<b>28</b>
<b>CHAPITRE 03: MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>29</b>
<b>1. Introduction .....</b>	<b>29</b>
<b>2. Description de la STEP .....</b>	<b>30</b>
2.1. Le Prétraitement : Procédé physique: .....	30
2.2. Le traitement primaire : physico-chimique :.....	30
2.3. Le traitement secondaire : Procédés biologiques .....	31
<b>3. Constituants des boues les plus importants : .....</b>	<b>31</b>
<b>4. Les caractéristiques physico-chimiques des boues d'épuration: .....</b>	<b>31</b>
<b>5. Présentation de la station d'épuration de la ville de Tissemsilt : .....</b>	<b>32</b>
5.1. Présentation site d'étude .....	32
5.2. Qualité des eaux usées brutes arrivé à la station de Tissemsilt.....	33
<b>6. Conclusion :.....</b>	<b>36</b>
<b>CHAPITRE N°4 : RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>37</b>
<b>1. Introduction :.....</b>	<b>37</b>
<b>2. Paramètres physico-chimiques d'analyse des eaux usées :.....</b>	<b>37</b>
<b>3. Paramètres physico-chimiques d'analyse des boues .....</b>	<b>42</b>
<b>4. Production du biogaz et Simulation de la production d'énergie.....</b>	<b>45</b>
4.1. Par les effluents.....	45
4.2. Par les boues .....	49
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>51</b>
<b>REFERENCES .....</b>	<b>53</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>60</b>

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1.1</b> : Principales voies de conversion énergétique de la biomasse en différents formes de combustibles.....	4
<b>Figure 1.2</b> :Schéma du principe de la méthanisation.....	6
<b>Figure 1.3</b> : Les principales voies métaboliques de la digestion anaérobie.....	7
<b>Figure 1.4</b> : Pouvoir méthanogène de différents substrats. ....	9
<b>Figure 1.5</b> :Influences des différents facteurs sur la production du gaz de décharge.....	13
<b>Figure 1.6</b> :L'équivalence énergétique du biogaz.....	14
<b>Figure 2.1</b> :Possibilités d'installation de turbinage des eaux usées.....	20
<b>Figure 2.2</b> :Récupération de l'énergie thermique par pompes à chaleur.....	21
<b>Figure 2.3</b> : Digesteur et Gazomètres de la STEP de Baraki (Alger).....	24
<b>Figure 3.1</b> : (a) Exemple de station de traitement des eaux usées urbaines (b) STEP de Tissemsilt .....	30
<b>Figure 4.1</b> : (a) Production de biogaz, (b) Teste l'inflammabilité de biogaz.....	48

# LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1.1:</b> Composition du biogaz.....	10
<b>Tableau 2.1:</b> Les différentes méthodes d'extraction d'énergie des eaux usées .....	18
<b>Tableau 2.2:</b> Qualité finale requise pour le gaz naturel.....	17
<b>Tableau 3.1:</b> Les caractéristiques techniques de l'eau de rejet à l'entrée de la STEP.....	33
<b>Tableau 4.1:</b> Bilan annuel des analyses physico-chimiques année 2020 de STEP de Tissemsilt.....	37
<b>Tableau 4.2:</b> Taux d'abattement des polluants des eaux usées de STEP de Tissemsilt après traitement.....	39
<b>Tableau 4.3:</b> Bilan DCO des effluents de la ville de Tissemsilt.....	40
<b>Tableau 4.4:</b> Comparaison entre les résultats des eaux usées du STEP de Tissemsilt et d'autres STEP dans le monde.....	41
<b>Tableau 4.5</b> Caractéristiques des eaux usées en fonction du rapport (R) DCO/DBO5.....	41
<b>Tableau 4.6:</b> Rapport R calculé pour les eaux usées de la station de la ville de Tissemsilt...	42
<b>Tableau 4.7:</b> Les résultats des paramètres physico-chimiques des boues du STEP de Tissemsilt (année 2020).....	42
<b>Tableau 4.8:</b> Métaux lourds de boue d'épuration de la station de Tissemsilt.....	42
<b>Tableau 4.9:</b> Valeurs limites en éléments traces métalliques proposées par le groupe de travail sur les boues.....	43

## **ABREVIATION :**

**T** : Température (°C)

**PCI** : Pouvoir calorifique inférieur (kWh/m<sup>3</sup>)

**PCS** : Pouvoir calorifique supérieur (kWh/m<sup>3</sup>)

**E** : L'énergie produit (Wh)

**MO** : Matière Organique

**COV** : Composés organiques volatils

**CDS** : Centres de Stockage

**EPA** : Environmental Protection Agency

**PH**: Le potentiel hydrogène

**MES**: Matières en suspension

**DBO5** : La demande biochimique en oxygène pendant cinq jours

**O2** : Dissous : l'oxygène dissous

**PT** : Phosphore total

**NTK** : Azote totale kjeldahl

**DCO** : La demande chimique en oxygène

**OMS** : Organisation mondiale de la santé

**GES** : Les gaz à effet de serre

**MS** : Poids en matière sèches



## INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui, la consommation d'énergie, spécialement celle des combustibles fossiles causée par le développement rapide de l'économie provoque une augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et entraîne des changements climatiques. D'autre part, les réserves de combustibles fossiles sont bientôt finies et, au rythme de consommation actuel, leur épuisement doit être envisagé. Il est donc nécessaire de diminuer la dépendance aux combustibles fossiles et d'explorer les nouvelles énergies renouvelables.

Le développement des énergies renouvelables est un enjeu majeur dans un contexte de consommation énergétique mondiale en hausse (+2,2% en 2017), d'épuisement potentiel des ressources d'énergies fossiles et de limitation des émissions des gaz à effet de serre. À l'horizon 2030, l'Union Européenne a fixé à 27% la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique [1].

Le soutien aux énergies renouvelables devra être au cœur des plans de relance post-Covid-19, avait rappelé en mai 2020, en plein cœur de la première vague de l'épidémie, l'Agence internationale de l'énergie (AIE), qui prévoyait alors un ralentissement, pour la première fois depuis 20 ans, des installations de sites et centrales. L'Agence estimait que le cumul des puissances électriques d'origine renouvelables (éolien, solaire, biomasse ou hydroélectricité) dans le monde devait croître de 6 % en 2020, mais avec une capacité de 167 gigawatts (GW), soit 13 % de moins par rapport au bilan des installations de 2019. Un an plus tard, l'Agence a retrouvé le sourire puisque dans son rapport publié en juin 2021, elle indique que les énergies renouvelables ont connu en 2020 une croissance plus vive depuis deux décennies [2].

Actuellement, on est à la recherche de toutes les sources d'énergie dites 'alternatives' en vue de remplacer les énergies d'origine fossile. Parmi les ressources exploitées pour le développement des énergies renouvelables (éolienne, solaire, hydro-électricité, géothermale, biomasse), On se rabat, logiquement sur la biomasse se présente comme l'une des sources d'énergie les plus prometteuses.

La méthanisation est une filière de conversion biochimique de la biomasse qui consiste à la biodégradation de matières organiques en absence d'air, sous l'action de communautés microbiennes [3], conduisant à la production d'un gaz, « le biogaz » qui est le but de notre travail. La méthanisation nous permet donc de trouver une solution environnementale (dégradation de la pollution) et aussi économique (production du biogaz) qui est un gaz riche en méthane et propre lorsque son utilisation doit être positive comparée à un carburant d'origine fossile vis-à-vis des émissions de gaz à effet de serre ou de la pollution atmosphérique. Ce gaz est utilisé directement pour la cuisson ou transformé en énergie mécanique ou en électricité par le biais d'un moteur thermique conventionnel.

Les résidus provenant de cette transformation constituent un très bon engrais (mais pas dans tous les cas). Les digesteurs sont une technologie active qui a été appliquée dans les fermes agricoles, les décharges publiques et les stations d'épuration des eaux usées : qui est le but de notre étude. Donc, l'objectif de ce travail est la valorisation énergétique et la Simulation de la production d'énergie électrique : des effluents des eaux usées ainsi que les boues de la station d'épuration des eaux usées urbaines de la ville de Tissemsilt, en vue de empêcher les effets néfastes de la pollution et de produire une énergie verte qui est le biogaz.

Ce manuscrit de mémoire est organisé en quatre chapitres:

- ✓ **Le chapitre 1** : consiste en une revue bibliographique des éléments essentiels de façon à mettre en avant l'intérêt que présente la valorisation de la biomasse et les modes de conversion de la biomasse. Parmi les voies de valorisation, la méthanisation et le principe de la méthanisation sont détaillées, et les paramètres d'optimisation de la méthanisation sont aussi abordés. Nous nous intéressons dans la dernière partie de ce chapitre à l'énergie du biogaz, ces compositions, ces caractéristiques, les paramètres influençant la production du biogaz, l'équivalence énergétique du biogaz et les domaines de ces utilisations.
- ✓ **Le chapitre 2** : dédiée à la caractérisation des eaux usées, dans un premier temps, les modes de production d'énergie renouvelable par les stations d'épuration sont étudiées, spécifiquement la production de biogaz, des exemples réelles de valorisation sont mentionner. L'objectif est de mieux

comprendre les nombreuses façons d'assurer la valorisation du contenu énergétique des effluents d'une STEP.

- ✓ **Le chapitre 3** : dans ce chapitre nous parlerons et expliquerons les méthodes utilisées ou mises au point durant ces travaux de mémoire seront présentés.
- ✓ **Le chapitre 4** : Résultats et Discussion. regroupe les étapes et les équations d'estimation pour calculer le volume du biogaz et l'énergie produite des eaux usées et des boues d'épuration. Afin d'étudier le pouvoir énergétique (biogaz) généré par la station d'épuration de la ville de Tissemsilt.

En fin de ce mémoire, nous présentons les conclusions marquantes de ce travail et quelques perspectives concernant la poursuite de la recherche sur la valorisation énergétiques des eaux usées.

**CHAPITRE 01 :**  
**VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DE LA**  
**BIOMASSE**

## **1. Introduction :**

Les énergies renouvelables « **ER** » sont des modes de production d'énergie utilisant des forces ou des ressources dont les stocks sont illimités. En plus, ces sources d'énergie sont peu ou pas polluantes. Les conversions biochimiques de la biomasse sont des processus naturels de décomposition par action des bactéries. Mais elles peuvent être contrôlées de façon à obtenir un combustible facilement exploitable. La méthanisation est une filière de conversion biochimique de la biomasse qui consiste à la biodégradation de matières organiques en absence d'air, sous l'action de communautés microbiennes, conduisant à la production d'un gaz.

La méthanisation nous permet donc de trouver une solution environnementale (dégradation de la pollution) et aussi économique (production du biogaz) qui est un gaz riche en méthane [4].

## **2. Énergie de biomasse :**

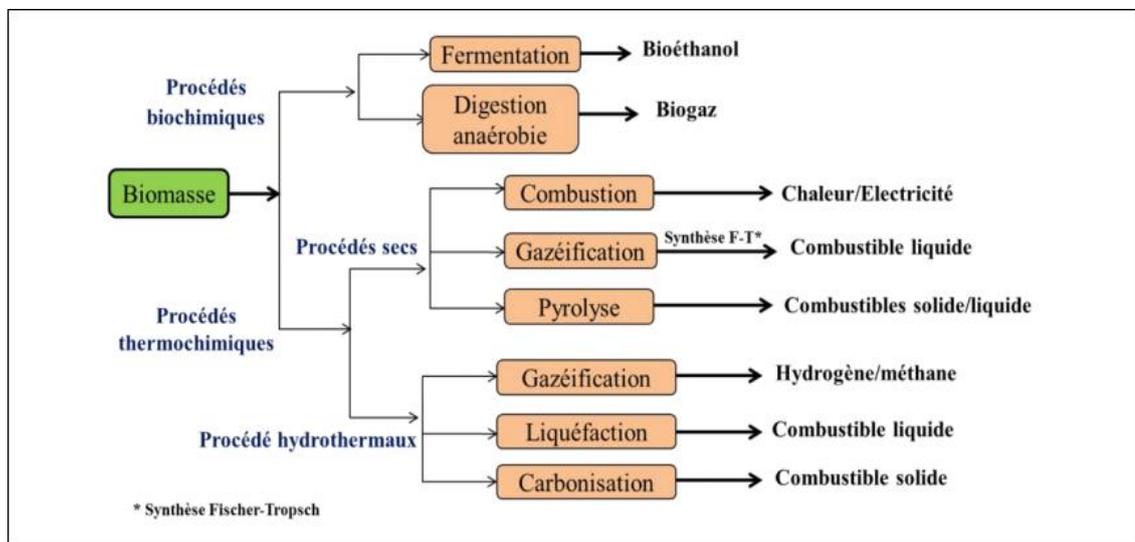
L'énergie biomasse est la forme d'énergie la plus ancienne utilisée par l'homme. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité grâce à la chaleur dégagée par la combustion de ces matières (bois, végétaux, déchets agricoles, ordures ménagères organiques) ou du biogaz issu de la fermentation de ces matières, dans des centrales biomasses.

La biomasse se présente sous forme de produits solides ou liquides pouvant remplacer les combustibles fossiles (gaz naturel, charbon, pétrole...). Elle est constituée par des glucides, des protides, et des lipides que nous pouvons retrouver dans la matière organique disponible dans un écosystème [5]. Le plus important combustible solide produit de manière renouvelable, est le bois, utilisé depuis des millénaires pour le chauffage. Cependant, la fermentation en anaérobiose des déchets ménagers, de purin de vache, d'effluents liquides, eaux usées, dégage un gaz très proche du gaz naturel, qui est le biogaz, (comprenant un taux élevé de méthane :  $\text{CH}_4$ ) [6].

C'est là une autre forme de valorisation de la biomasse et de production d'énergies renouvelables.

### 3. Modes de conversion de la biomasse :

La conversion énergétique de la biomasse s'effectue par des conversions biochimiques et thermochimiques (*figure 1-1*) [7]. Les procédés biochimiques incluent la fermentation et la digestion anaérobie pour produire respectivement le bioéthanol et le biogaz. Les conversions thermochimiques peuvent être classées en deux catégories: (i) procédés secs (combustion, gazéification et pyrolyse), et (ii) procédés hydrothermaux (gazéification, liquéfaction, carbonisation). La combustion génère de l'énergie thermique (chaleur) alors que la gazéification, la pyrolyse et le traitement hydrothermal décomposent la biomasse en combustibles solide, liquide et gazeux.



**Figure 1-1:** Principales voies de conversion énergétique de la biomasse en différents formes de combustibles [7].

Le choix du procédé de conversion énergétique de la biomasse s'effectue en fonction de plusieurs facteurs: la nature de la biomasse, la forme d'énergie souhaitée, les normes environnementales et le contexte économique.

#### 3.1. Méthanisation (digestion anaérobie) :

##### 3.1.1. Principe de la méthanisation:

La méthanisation, autrement appelée digestion anaérobie, est un processus naturel qui a lieu dans tous les milieux stagnants anaérobies. Étant données la raréfaction des ressources naturelles et l'incitation à la production d'énergies vertes, il est apparu

intéressant de s'inspirer de ce phénomène naturel pour produire du méthane vert à partir de déchets [8].

Le principe de la méthanisation est identique à celui qui se déroule naturellement dans la panse des ruminants : en l'absence d'oxygène, des bactéries spécifiques dégradent les matières organiques tout en produisant du biogaz, mélange de plusieurs gaz : 50% à 70% de méthane ( $\text{CH}_4$ ), de 20% à 50% de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) et de quelques gaz traces ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ).

Ce processus sera plus ou moins long selon la température optimale de croissance des bactéries présentes: trois à cinq semaines pour des bactéries mésophiles se développant entre 20 et 30°C ou deux à trois semaines pour des bactéries thermophiles se développant entre 45 et 80 °C [9].

Ce processus est une voie de valorisation des déchets pouvant être de différents types.

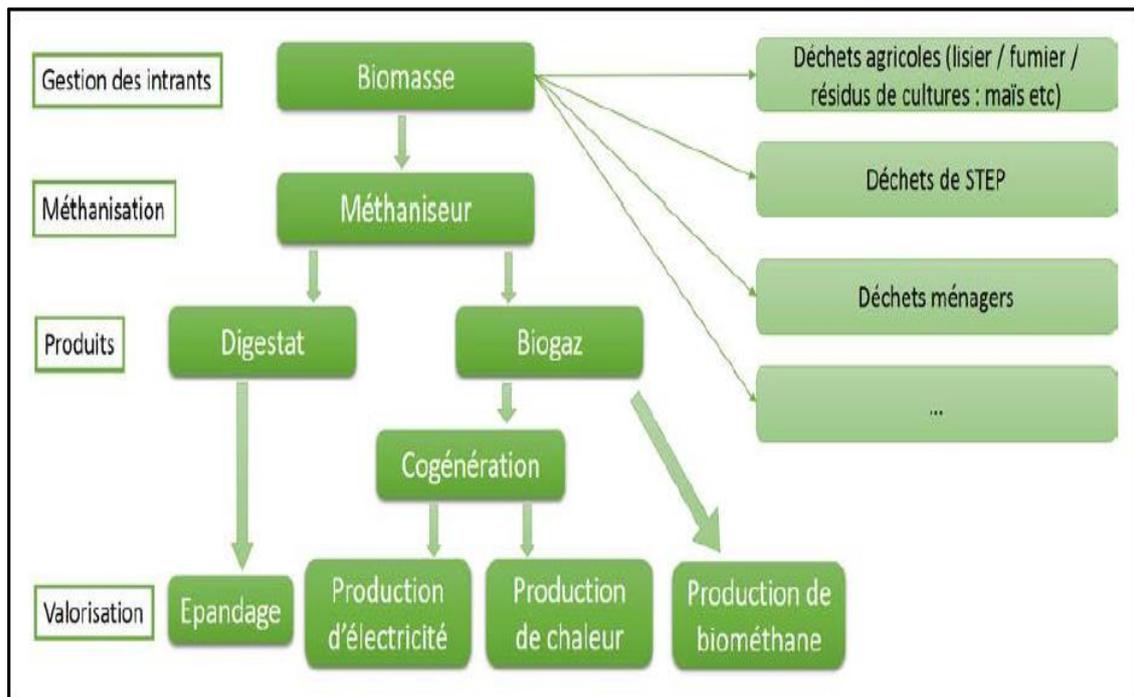
Il peut s'agir:

- de déchets agricoles de type lisier/fumier
- de déchets agro-alimentaires
- de déchets végétaux tels que des résidus de cultures
- de boues de station d'épuration
- de déchets ménagers, etc.

Il conduit d'une part à la production de biogaz, et d'autre part à l'obtention d'un produit liquide riche en matières organiques appelé digestat (*figure 2.1*) [10].

Le biogaz ainsi formé est composé principalement de méthane ( $\text{CH}_4$ ) de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). Il est ensuite utilisé comme combustible, par exemple, sur place en cogénération: il alimente un moteur thermique qui produit de l'énergie électrique par l'entraînement d'un alternateur et de la chaleur, utilisable en chauffage par échange thermique [11].

En parallèle de la production du gaz, le résidu de fermentation (digestat) est traité, essentiellement par séparation mécanique, afin d'extraire la partie liquide de la partie solide. Le digestat peut être valorisé en fertilisant naturel ou mûré en compost. Le digestat liquide est, quant à lui; réutilisé dans le procédé pour fluidifier et réensemencer le méthaniseur ou décanté pour faire de l'engrais liquide [11].

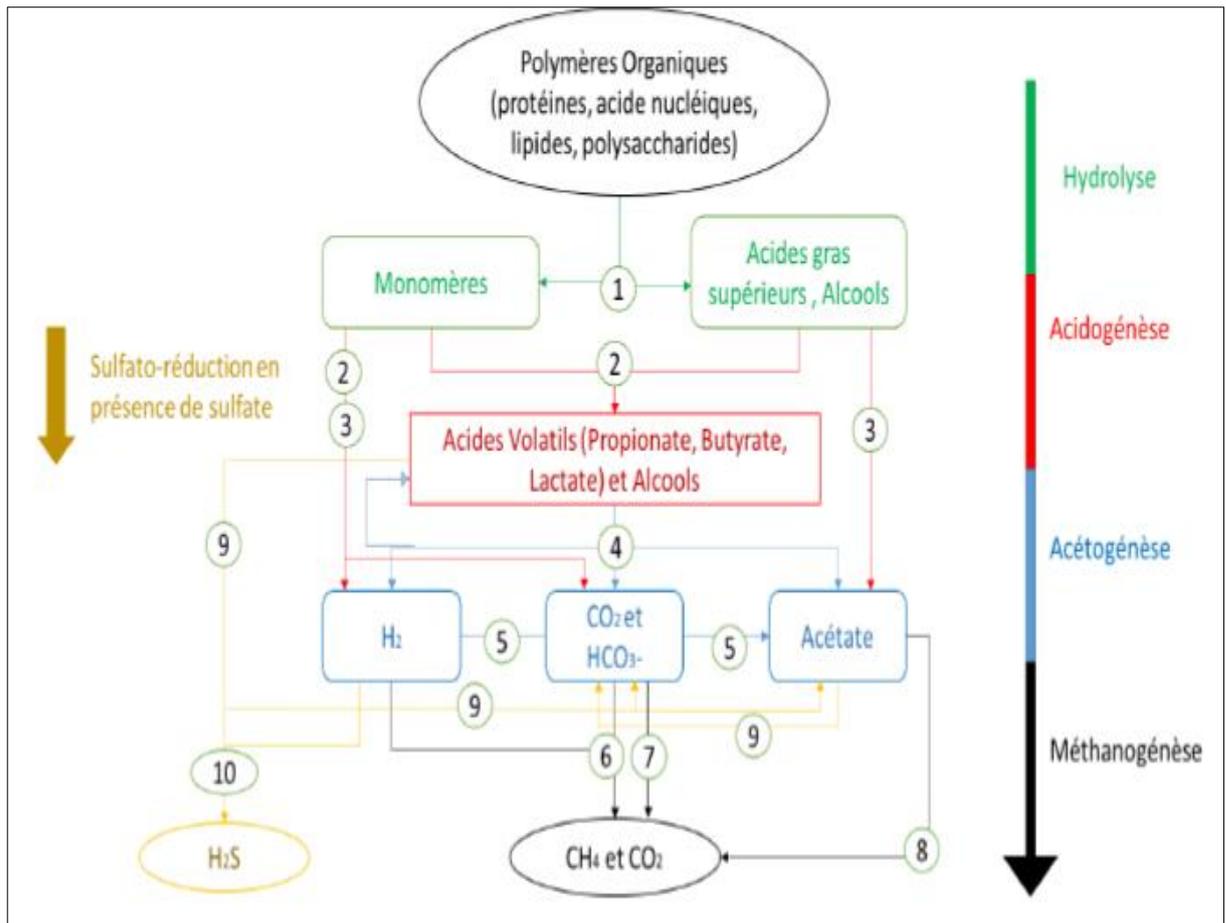


**Figure 1.2** : Schéma du principe de la méthanisation [10].

### 3.1.2. Biochimie et microbiologie de la digestion anaérobie:

La méthanisation se déroule en 4 étapes biochimiques (*Figure 1.3*) [12]:

- Hydrolyse ;
- Acidogénèse ;
- Acétogénèse ;
- Méthanogénèse.



*Figure 1.3* : Les principales voies métaboliques de la digestion anaérobie [12].

### 3.1.3. Paramètres d'optimisation de la méthanisation :

Plusieurs facteurs interagissent entre eux et influencent la vitesse et l'efficacité de la digestion anaérobie. Les principaux paramètres sont :

#### a. La température :

Les bactéries ne se développent que lorsqu'elles sont dans des conditions adéquates de température et par conséquent, la cinétique des réactions. L'élévation de la température engendre une augmentation de l'efficacité de la méthanisation. Par contre, cette croissance de l'efficacité n'est pas linéaire, mais affiche plutôt des zones idéales de température. Le maintien de la température dans une de ces plages est essentiel pour l'efficacité du processus [13].

#### **b. Le pH :**

Les bactéries méthanogènes sont très sensibles aux valeurs de pH du milieu et ont un optimum entre 6,8 et 7,2. La digestion anaérobie se déroule normalement pour des pH compris entre 6 et 8 [10]. Si le pH du milieu est acide, ceci entraîne un arrêt de la fermentation. Par ailleurs si le pH du milieu est basique, ceci entraîne une production des éléments sulfato-réducteurs, inhibiteurs ( $H_2S$ ,  $H_2$ ,...) [14].

#### **c. Le rapport carbone/azote (C/N) :**

Des études indiquent que la proportion désirable du rapport (C/N) se situe entre 20 et 30 ou 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 [15].

#### **d. Le temps de rétention hydraulique:**

Ce temps est fonction de la température, du taux de matière sèche, de la nature et de la composition du substrat : plus la température est élevée, plus la digestion est rapide, plus le substrat est riche en eau et en particules fines, plus la digestion est rapide [16].

#### **e. L'Agitation:**

Une bonne agitation permet d'éviter la production de croûtes et la décantation de particules denses ce qui permet de rompre la couche qui surnage et facilite ainsi l'échappement du biogaz ; elle favorise aussi la dégradation de la matière organique (MO) par les bactéries [17].

#### **f. L'humidité:**

Comme pour toute activité biologique, la présence d'eau est indispensable. L'humidité minimale est de 60 à 70 %, eau liée ou eau libre. Dans tous les cas, l'humidité des déchets doit être suffisante pour que l'hydrolyse, première étape de la méthanisation, puisse se dérouler normalement. Si au contraire l'humidité est insuffisante, l'acidification se fait trop vite au détriment de la méthanisation, de ce fait le substrat organique doit être très dilué : 85 à 90 % d'eau avec 10 à 15 % de matière sèche [18].

### g. Pouvoir méthanogène des substrats:

Les substrats utilisés peuvent provenir de différents types de déchets présentant chacun leur pouvoir méthanogène propre (Figure 4.1) [19]. Les lisiers et fumiers bovins présentent les pouvoirs méthanogènes les plus faibles. Etant cependant présents en grande quantité, beaucoup d'agriculteurs les utilisent en leur ajoutant des co-substrats tels que l'ensilage de maïs ou tout autre déchet méthanisable présent localement afin d'optimiser la production de biogaz.

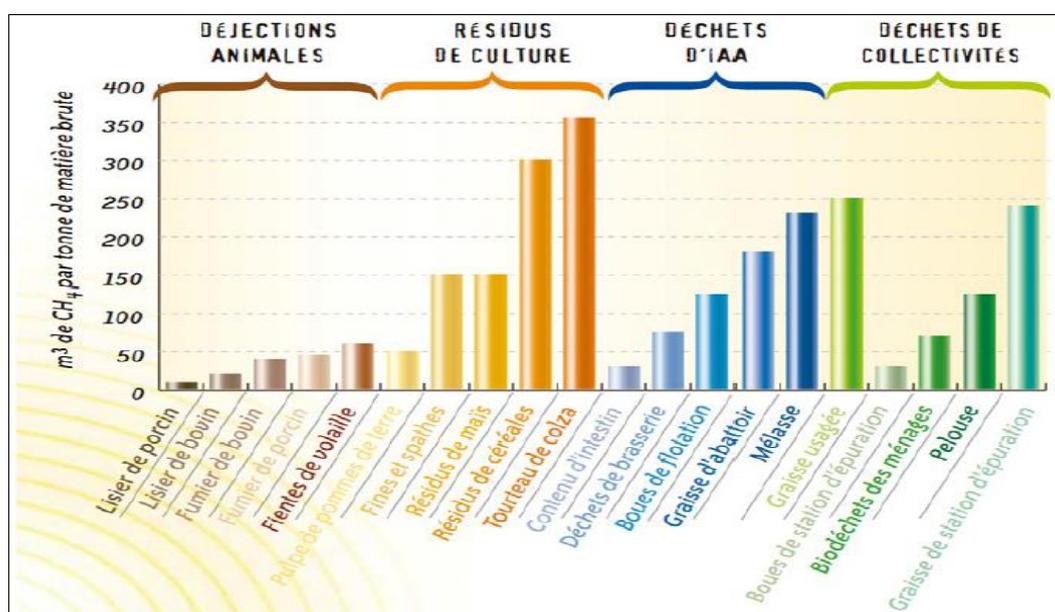


Figure 1.4 : Pouvoir méthanogène de différents substrats [19].

## 4. Biogaz :

Parmi toutes les sources d'énergie renouvelable, le biogaz est loin d'être le mieux connu. C'est quoi le biogaz ? Il se compose de quoi ? Quelles sont ses principales utilisations ?

Le biogaz est une énergie très utilisée dans les pays en voie de développement, mais non encore exploitée en Algérie. La méthode consiste à transformer la matière organique, en méthane par fermentation en anaérobie. Le gaz produit est stocké dans un gazomètre et utilisé selon la demande. Ce gaz est utilisé directement pour la cuisson ou transformé en énergie mécanique ou en électricité par le biais d'un moteur

thermique conventionnel. Les déchets provenant de cette transformation constituent un bon engrais. Les digesteurs sont une technologie active qui a été appliquée dans les fermes agricoles, les décharges publiques, les stations d'épuration des eaux usées, etc. [20].

#### 4.1. Composition du biogaz :

Provenant de la fermentation anaérobie de la matière organique, le gaz de décharge est composé principalement du méthane et du gaz carbonique [21]. Comme montre le tableau ci-dessous [22].

*Tableau 1.1:* Composition du biogaz [22].

Constituants du biogaz	Proportions
<b>Méthane</b>	45-80 %
<b>Dioxyde de carbone</b>	20-55 %
<b>Azote</b>	< 6 %
<b>Eau (fonction de la température)</b>	1-6 %
<b>Hydrogène</b>	<1 %
<b>Ammoniac</b>	< 0,01 %
<b>Hydrogène sulfuré, monoxyde de carbone</b>	Traces

- **Méthane (CH<sub>4</sub>)** : c'est un gaz inodore et incolore, plus léger que l'air. Il est inflammable : entre 5 et 15% de concentration volumique (v/v) dans l'air le mélange gazeux est explosif.

Le pouvoir calorifique inférieur volumique (**PCI**) du méthane = 35,88 MJ/m<sup>3</sup>, PCI massique = 50,04 MJ/ kg [23].

- **Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)** : c'est un gaz inodore et incolore, plus lourd que l'air. Il n'est ni inflammable ni toxique. En revanche, il diminue la teneur en oxygène ce qui peut provoquer l'asphyxie [24].

#### 4.2. Caractéristiques du biogaz :

Le biogaz est un gaz combustible, composé principalement de méthane et de gaz carbonique, qui provient de la décomposition des matières organiques selon un processus de fermentation anaérobie. Il existe plusieurs sources possibles de biogaz :

- les boues des stations d'épuration (STEP). Le biogaz provient des matières organiques contenues dans les eaux usées. C'est un gaz riche en méthane, en hydrogène sulfuré mais aussi en composés organiques volatils (COV) et en métaux lourds, provenant du recueil des eaux polluées par le lessivage des routes par la pluie
- les biogaz des unités spécifiques de méthanisation liée au compostage. Normalement, il n'y a pas de biogaz en cas de compostage, puisque ce dernier nécessite, au contraire de la méthanisation, un traitement avec un apport d'air. Mais il existe aujourd'hui des procédés mixtes qui permettent de produire à la fois de l'engrais organique et du biogaz ;
- le biogaz des Centres de Stockage (CDS). Les décharges produisent spontanément du biogaz car des déchets fermentescibles y sont déposés, mais ce gaz est très aléatoire dans sa composition en raison des irrégularités des apports de déchets en quantité et en qualité. Le biogaz peut être produit à des rythmes différents, pendant plusieurs (dizaines) d'années.

#### 4.3. Paramètres influençant la production du biogaz :

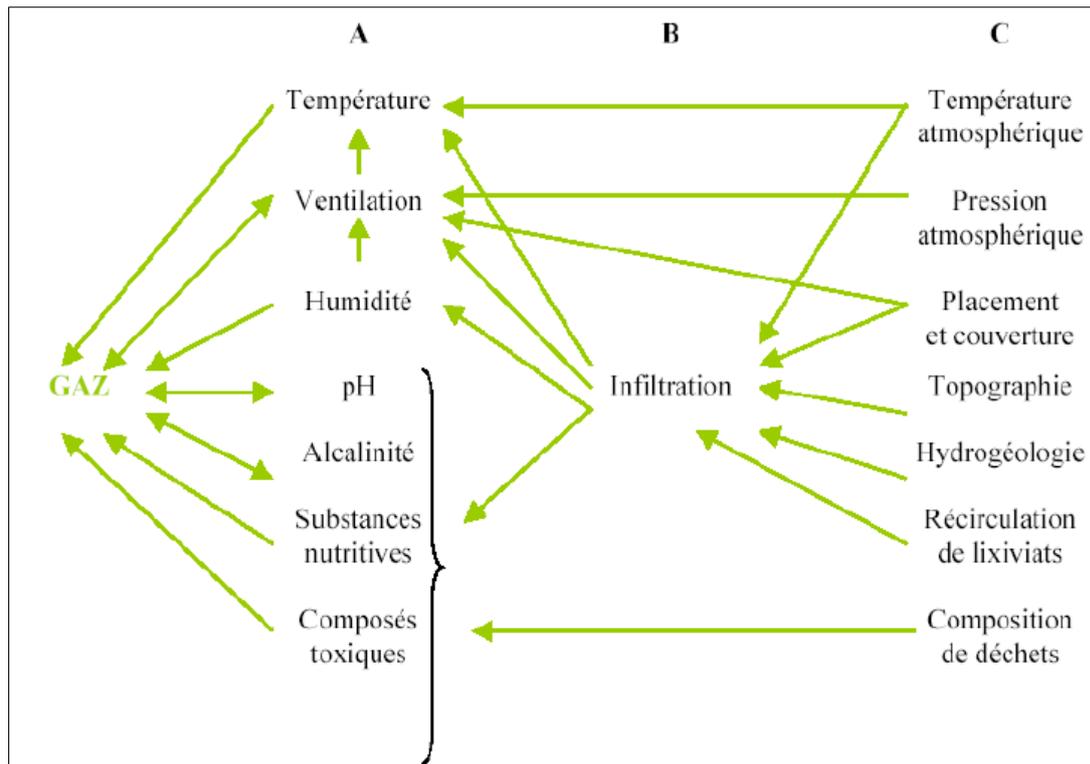
Il y a beaucoup de facteurs qui influent sur la production du biogaz. Selon l'EPA (Environmental Protection Agency) la production du méthane dans une décharge dépend de cinq facteurs principaux [25]

- Quantité de matière organique** : La quantité de matière organique, telle que les déchets de papier, alimentaires et de jardin, disponibles pour des micro-organismes qui produisent le méthane, est le facteur le plus significatif pour la génération du méthane dans une décharge. La capacité de production du méthane dans une décharge est directement proportionnelle à la quantité des déchets organiques. La génération du méthane augmente puis se stabilise

pendant que la décharge continue à recevoir les déchets et diminue graduellement après que la décharge cesse de recevoir des ordures. Cependant, les décharges peuvent continuer à produire du méthane pendant de nombreuses années après la fermeture.

- b. Substances nutritives :** Les bactéries qui produisent du méthane ont besoin de l'azote, du phosphore, du soufre, du potassium, du sodium et du calcium pour la croissance des cellules. Ces substances nutritives proviennent principalement des déchets.
- c. Niveau d'humidité :** Les bactéries ont également besoin d'eau pour la croissance des cellules et pour les réactions métaboliques. Les décharges peuvent recevoir de l'eau de différentes provenances : de la précipitation, des déchets, de l'infiltration d'eau de surface, de l'infiltration d'eau souterraine et de l'eau produite par décomposition ainsi que par la recirculation des lixiviats.
- d. La température :** Les températures élevées (en général dans la masse des déchets : 30-40°C) dans une décharge facilitent la croissance des bactéries qui produisent le méthane. La température des déchets dans une décharge dépend de la profondeur de la décharge, du nombre de couches couvrant la décharge, et du climat (près de la surface).
- e. Le pH :** Le méthane est produit dans un milieu neutre (près de pH 7). Le pH de la plupart des décharges est entre 6,8 et 7,2. Au-dessus du pH 8, la production du méthane est très faible.

Farquhar et Rovers (1973) ont développé une représentation schématique des facteurs qui influent sur la production des gaz dans des décharges. Ceci est décrit sur la (*Figure 5.1*), et illustre comment des facteurs divers peuvent interagir en affectant finalement l'émission des gaz des déchets décomposés [26].



**Fig.1.5** : Influences des différents facteurs sur la production du gaz de décharge [26].

Par exemple, avec les facteurs du groupe A, qui concernent l'environnement microbien immédiat, les auteurs expliquent que la diminution de la température réduirait la production du  $\text{CH}_4$ . Ceci mènerait à l'accumulation des acides organiques qui diminuerait l'alcalinité et le pH. Ces conditions réduiraient la production du  $\text{CH}_4$ . Le facteur du groupe B : l'infiltration, influe sur la plupart des facteurs dans le groupe A. Plusieurs facteurs du groupe C peuvent être influencés par la préparation et le fonctionnement de la décharge, et aussi ils peuvent interagir avec les facteurs d'autres groupes. Par exemple : des échanges entre l'air et les gaz présents dans des déchets seront influencés par la pression atmosphérique, le cheminement des gaz et de l'eau dans la décharge sera influencé par la disposition et la porosité des déchets et par des matériaux et des procédures utilisées pour couvrir des déchets.

### **5. L'équivalence énergétique du biogaz [27]:**

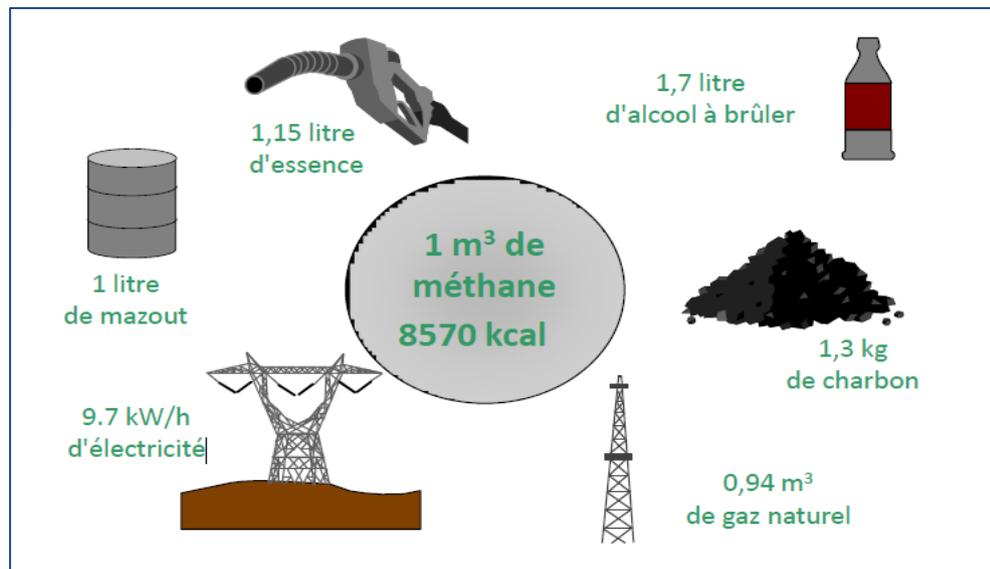
Un mètre cube de biogaz brut, avec une composition moyenne, offre environ 5500 Kcal et représente l'équivalent énergétique de :

- 0,4 litre de gaz butane

- 0,6 litre de mazout
- 2 kg de charbon
- 5 kg de bois de chauffe

Après épuration (élimination en grande partie du  $\text{CO}_2$  et du gaz corrosif  $\text{H}_2\text{S}$ ), l'équivalence énergétique atteint les 8400 Kcal ce qui représente l'équivalent:

- 1,1 litre d'essence
- 1 litre de mazout
- 0,93 litre de gaz butane



*Figure.1.6 : L'équivalence énergétique du biogaz [27]*

## 6. Utilisations du biogaz :

Le biogaz est convertible en toutes les formes d'énergie exploitables (chaleur, électricité, et carburant). Aussi, il peut être utilisé à l'état brut, sans être préalablement épuré.

C'est à partir de cela que sur le plan financier surtout, le biogaz devient avantageux et compétitif par rapport au reste des énergies.

Emmagasiné à basse pression et à une faible distance de distribution, le biogaz alimente ainsi les appareillages classiques qui ne nécessitent pas une pression d'alimentation élevée.

Les avantages qu'offre la filière du biogaz font que la Division Biomasse -énergie, du centre de développement des énergies renouvelables s'y intéresse [27].

## **7. Conclusion**

Les techniques anaérobies sont largement utilisées pour le traitement des rejets où la pollution est essentiellement organique et facilement biodégradable, mais le biogaz produit est faiblement valorisé. L'accroissement du nombre d'unités de méthanisation constitue un enjeu majeur du point de vue environnemental (remplacement des carburants fossiles), politique (sécurité des approvisionnements en énergie). Pour les agriculteurs, les digesteurs à la ferme peuvent offrir un revenu complémentaire grâce à la valorisation du biogaz et du digestat.

Dans le cadre de « développement durable », Il est nécessaire de faire une étude de la potentielle biomasse disponible en Algérie et faire la lumière sur les avantages de la biométhanisation surtout dans un système d'épuration d'eaux usées (produire plus de biogaz et minimiser les boues en sortie de station d'épuration).

# **CHAPITRE 02 :**

**PRODUCION DU BIOGAZ PAR LES SYSTEMES  
D'EPURATION**

## **1. Introduction :**

Les meilleures techniques disponibles devraient être identifiées et utilisées pour associer l'utilisation rationnelle des ressources en eau naturelles à d'autres sources d'approvisionnement non conventionnelles, notamment le traitement des eaux usées.

Le traitement des eaux résiduaires urbaines ou industrielles requiert de l'énergie, les effluents constituent une source potentielle d'énergie théoriquement supérieure aux besoins de la station, qu'il est possible de valoriser de diverses manières. Ce chapitre expose les modes de production d'énergie renouvelable par les stations d'épuration (STEP).

Les principales technologies de récupération énergétique valorisent l'énergie contenue dans les boues d'épuration : il s'agit de la digestion des boues ou des effluents accompagnée de différentes façons de valoriser le biogaz produit (sous forme de chaleur, d'électricité, de combustible ou de carburant), et de l'incinération des boues avec valorisation de la chaleur des fumées. Une optimisation de ces technologies (notamment au niveau des prétraitements de la boue) pourrait conduire à une quasi-autonomie énergétique des stations.

D'autres techniques valorisant directement le potentiel des effluents existent ou sont en cours de développement : les pompes à chaleur, les piles à combustible et la pile biocellulaire, et les turbines hydrauliques [29].

Il faut noter que c'est là, une autre forme de production d'énergies totalement absente en Algérie.

## **2. Eaux usées :**

L'eau est altérée par l'activité humaine qu'elle soit domestique, industrielle, artisanale, agricole... En effet, après usage, l'eau est dite « polluée » et se doit d'être traitée avant de rejoindre le milieu naturel. Sans cela, elle pourrait causer de graves dommages car la capacité naturelle d'épuration des cours d'eau a pour effet de consommer l'oxygène de la rivière. Ce qui n'est pas sans conséquences sur la flore et la faune aquatiques. Lorsque l'importance du rejet excède la capacité d'autoépuration de la rivière, la détérioration de l'environnement peut être durable et les zones privées d'oxygène par la pollution entraînent la mort de la faune et de la flore ou créent des barrières infranchissables empêchant notamment la migration des poissons. La présence excessive de phosphates favorise le phénomène d'eutrophisation, soit la

prolifération d'algues nuisible à la faune aquatique, pouvant rendre la baignade dangereuse et perturber la production d'eau potable [30].

On distingue les eaux usées domestiques et industrielles :

### **2.1. Les eaux usées domestiques :**

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau et sont, essentiellement, porteuses de pollution organique :

- Eaux ménagères (salles de bains et cuisines) sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques.
- Eaux-vannes (rejets des toilettes) chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux [30].

### **2.2. Les eaux usées industrielles :**

Très différentes des eaux usées domestiques, leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre.

En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques et des hydrocarbures...

Certaines de ces eaux usées font l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte [30].

Les eaux usées industrielles ne sont mêlées aux eaux domestiques qu'une fois exemptes de tous dangers pour les réseaux de collecte et pour le bon fonctionnement des usines de dépollution [30].

### **2.3. Les principales techniques de récupération l'énergie des eaux usées:**

Sans être exhaustive, le tableau qui suit (*tableau2.1*) [30] présente un aperçu des procédés permettant de valoriser le contenu des eaux usées.

On y distingue les procédés utilisant les caractéristiques physiques des eaux usées (chaleur, écoulement), les procédés chimiques basés sur la valorisation du contenu des eaux (en particulier les nutriments) ainsi que les procédés bio électrochimiques.

**Tableau 2.1** : Les différentes méthodes d'extraction d'énergie des eaux usées [31].

<b>Energie / Produit récupéré(e)</b>	<b>Exemple de processus d'extraction</b>	<b>Principe de fonctionnement</b>	<b>Valorisation</b>	<b>Exemple d'utilisation</b>
<b>Energie hydraulique</b>	Turbinage des eaux usées	Mise en place de turbines dans les flux d'eaux usées (limité par la localisation des stations)	Production de l'électricité	Utilisation en amont en aval d'une station d'épuration. En Suisse ; la ville de Saint-Gall transporte via une conduite de pression ses eaux usées vers une station d'épuration qui les turbines 190m plus bas, produisant de l'électricité.
<b>Energie thermique</b>	Principe de pompe à chaleur	Les calories des eaux usées sont captées par un fluide frigorigène qui transmet la chaleur vers un circuit d'eau.	Conversion en électricité et en chaleur, notamment dans le cadre des réseaux de chaleur	Les besoins en chauffages, eau chaude et refroidissement de 280 logements de l'éco-quartier de la commune de Roquebrune (Alpes Maritimes) sont couverts par un réseau de chaleur qui utilise les eaux de la nouvelle STEP
	Combustion	Les boues d'épuration sont déshydratées puis séchées avant incinération. On considère qu'1 m <sup>3</sup> d'eau traitée génère environ 400g de boues.	-Chaleur (chauffage du site) -Combustible (granulé) pour l'industrie	Les cimenteries ou papeteries utilisent la combustion des boues d'épuration dans leur processus de fabrication, en lieu en place ou en complément d'énergies fossiles

<b>Energie chimique</b>	Digesteur anaérobie de bio-solides (bioréacteur)	Des micro-organismes sont placés dans un digesteur pour dégrader chimiquement biologiquement les effluents et boues industrielles, produit ainsi de biogaz.	-Raffinage du biogaz pour obtenir une qualité gazoduc pour incorporation au réseau -Production de l'électricité et de in situ	La station de traitement Aquapole en Grenoble-Alpes Métropoles s'est dotée depuis fin 2016 d'une unité d'épuration du biogaz et d'injection du biométhane. Objectifs : réduire les quantités de boues grâce à la méthanisation et utiliser le biogaz combustible d'appoint
<b>Nutriments (azote, phosphore, magnésium, fer...Etc.)</b>	Bioréacteur	Raffinage du phosphore, obtenu par précipitation	Engrais, sous forme de granulés	Usine de traitement de la ville d'Aarhus (Danemark)-84 000 équivalents habitants
	Photo-bioréacteur	Conversion des nutriments en micro-algues	Biocarburant, bio-huile, bioplastique...Etc.	Stade expérimental (développement en laboratoire)
	Pile à combustible microbienne	Oxydation des molécules carbonées présentes chez les bactériques, sous l'action du dioxygène de l'air	Production de l'électricité	Stade expérimental
<b>Métaux précieux (or, platine...Etc.)</b>	Extraction bio-électrochimique Filtration	Electrolyse filtration par membrane	-Réincorporation dans les processus de production -Valorisation commerciale	Industriels du traitement de surface, de la chimie fine. Intérêt dès lors que le coût lié processus d'extraction utilisé reste inférieur à la valorisation des métaux récupérées

### 2.3.1. Energie hydraulique: turbinage des eaux usées :

Récupérer l'énergie hydraulique des eaux usées permettent de produire de l'électricité alors de réduire la facture énergétique et de favoriser une indépendance énergétique des STEP.

Il existe plusieurs possibilités de production hydroélectrique sur les réseaux d'eaux usées (fig. 2.1) [32]:

- Turbiner les eaux usées avant qu'elles ne soient traitées à la station d'épuration ;
- Turbiner les eaux usées traitées avant leur rejet dans un milieu naturel.

Dans le cadre de la transition énergétique, la production d'hydroélectricité sur la base des eaux utilisé offre ainsi un potentiel intéressant, non seulement économique, mais également en termes de communication avec la population en mis en place une production locale, pratiquement sans impact sur l'environnement.

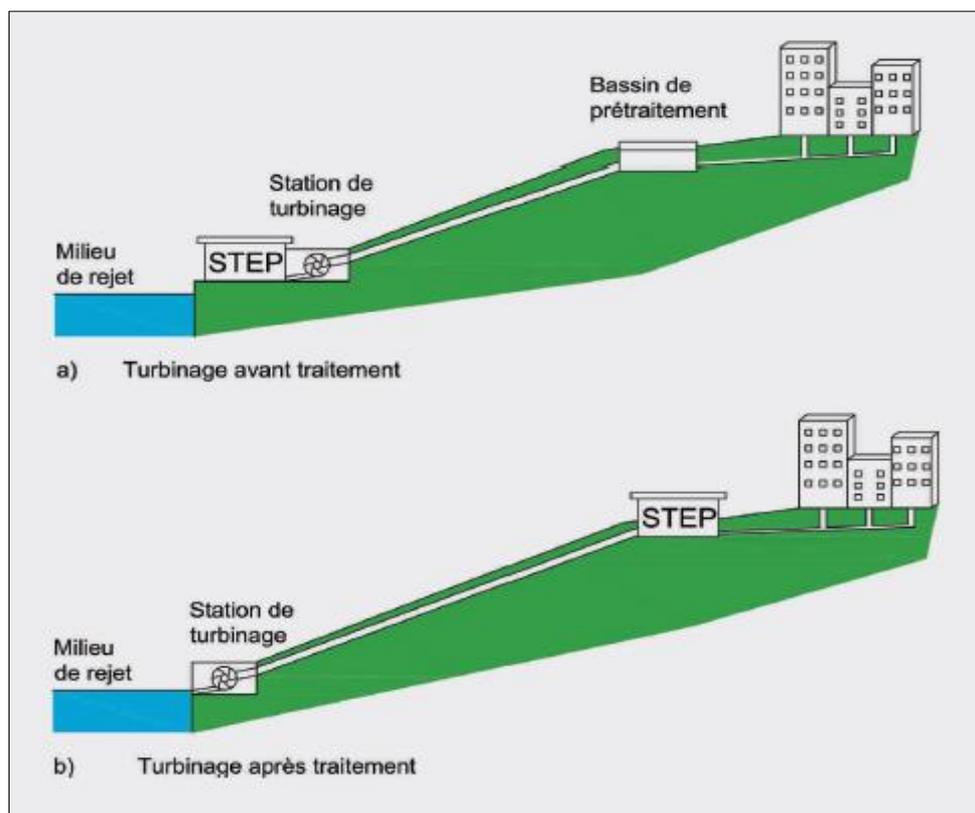


Figure 2.1 : Possibilités d'installation de turbinage des eaux usées [32].

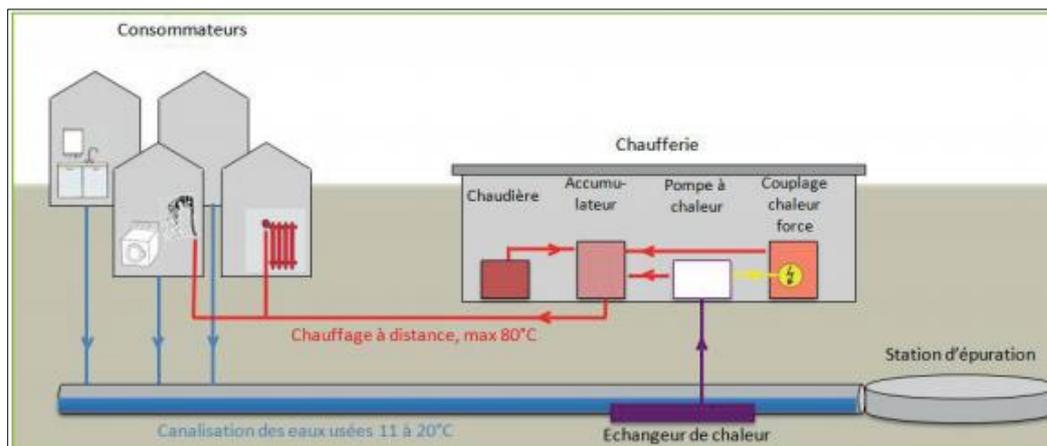
**Exemple : la station d'épuration de Bruxelles (construite par OTV et exploitée par Veolia Eau) :**

Les clarificateurs situés en fin de filière de traitement sont situés 17 mètres plus haut que le niveau au rejet. Une turbine de puissance nominale 643 kW est installée sur l'eau traitée pour exploiter cette chute (17 mètres et 558 000 m<sup>3</sup>/j).

Elle fournit 8 % de l'énergie nécessaire à la station. L'énergie produite évite l'émission de 1 600 tonnes de CO<sub>2</sub> par an [33].

**2.3.2. Energie thermique :**

Le procédé utilisé a été développé, depuis les années 2000, en Suisse. Il est actuellement très utilisé en Allemagne et en Autriche. La récupération de l'énergie thermique (chaleur ou froid) des eaux usées utilise des échangeurs thermiques (*figure2.2*) [34] installés sous la canalisation du réseau d'assainissement.



**Figure2.2** : Récupération de l'énergie thermique par pompes à chaleur. [34]

L'énergie récupérée est transférée vers une pompe à chaleur réversible eau/eau pour le chauffage des habitations, en hiver, et leur rafraîchissement, en été. La température des eaux usées, maintenue annuellement entre 10 et 20°C, permet le refroidissement, à basse température, du condenseur. A température élevée, les eaux usées assurent le chauffage de l'évaporateur [35].

**Exemple :** La station d'épuration de Chalon-sur-Saône : Suez Eau France (anciennement la Lyonnaise des eaux est une entreprise spécialisée dans la distribution d'eau et les services d'assainissement) a équipé la station de Chalon-sur-Saône d'une pompe à chaleur utilisée pour chauffer (ou refroidir) un bâtiment de  $250m^2$  [36]. Le principe retenu est le suivant :

- récupération de calories ou frigories sur les effluents traités (environ  $12^{\circ}C$ ) juste avant remise au milieu naturel ;
- filtration d'éventuelles matières en suspension avant la circulation sur l'échangeur de la pompe à chaleur ;
- passage de l'effluent sur l'échangeur de la pompe à chaleur ;
- régulation du chauffage ou de la climatisation par la pompe à chaleur ;
- émission par ventilo-convecteurs.

### **2.3.3. Pile à combustible microbienne :**

C'est un procédé, futuriste, qui demeure au stade de la recherche malgré que sa découverte est centenaire, attribuée à M.C. Potter, en 1910. Vers les années 60, ce fût la découverte des piles enzymatiques.

Depuis une dizaine d'années, un regain d'intérêt s'est manifesté pour cette technologie dont les applications visent la production de l'électricité, de l'hydrogène et l'épuration des eaux usées utilisées comme ressource renouvelable. Le procédé, encore au niveau expérimental, est prometteur pour la production de la « bio-électricité » particulièrement dans le secteur de l'épuration qui pourrait être énergétiquement autonome. Egalement au niveau spatial d'où l'intérêt de la NASA qui s'est traduit par l'initiation d'un projet intitulé «Geobacter project». Les premières applications du procédé sont réalisées en Angleterre à travers un robot « Eco Bot III » qui se déplace sur des rails utilisant des piles à combustibles alimentées par des eaux usées. Ce déplacement induit bien entendu l'épuration de l'eau usée utilisée. Un second projet, en Queensland, en Australie, prévoit l'équipement d'une brasserie avec une pile de 2 kW [37].

### **2.3.4. Production de biogaz :**

La matière organique des effluents est transformée en boue au cours du traitement. La matière sèche des boues possède un pouvoir calorifique significatif, cependant l'eau associée

réduit fortement le PCI des boues déshydratées. La valorisation de l'énergie d'oxydation de la matière organique peut être obtenue après une forte augmentation de la siccité du produit. Mais si le séchage des boues est assuré par voie thermique, le système dans sa globalité est fortement consommateur d'énergie.

La digestion apparaît alors comme un procédé très performant pour valoriser la fraction biodégradable de la matière organique. Elle consiste en effet en une biotransformation de la matière organique en gaz, constitué à 65% de méthane (en moyenne). Le PCI de ce gaz est de l'ordre de 6 kWh/Nm<sup>3</sup>. Le biogaz peut être valorisé sous forme de chaleur par combustion dans une chaudière, sous forme d'électricité par le biais d'un moteur ou d'une turbine. Classiquement la production d'électricité est accompagnée d'une récupération de l'énergie thermique de combustion : on parle alors de cogénération [38].

La digestion des boues de stations d'épuration est une technologie bien connue et très utilisée en Europe, notamment en Europe de l'Est (surtout en Allemagne), mais cette technologie a été moins utilisée en France.

En Algérie, la méthanisation des boues résiduaires remonte à 1987, à la station d'épuration de Baraki (Alger). L'installation se compose de quatre digesteurs d'une capacité journalière de 3 600m<sup>3</sup>. Le biogaz produit est utilisé uniquement pour le chauffage des digesteurs, l'excédent est brûlé en torchère [39] (*figure2.3*) [40], La station a été mise en service en 1989, son lieu de rejet est l'oued El-Harrach d'une capacité de 750 10<sup>3</sup> Eq/ha et qui se trouve être à l'arrêt en ce moment [41].

En 2008, une seconde application a été mise en service dans la station d'épuration du groupement urbain d'Oran équipée par quatre digesteurs .Cependant, aucune valorisation énergétique n'a été prévue [42].



**Figure2.3** : Digesteur et Gazomètres de la STEP de Baraki (Alger) [40].

### **3. Valorisation énergétique du biogaz :**

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 après avoir épurer pour obtenir du biométhane dont les caractéristiques sont proches du 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.

#### **3.1.La production de chaleur :**

Le biogaz produit lors de la digestion de boues, peut être valorisé en chaudière sous forme d'eau chaude ou de vapeur, avec un rendement supérieur à 90 %. Si l'on tient compte du rendement des échangeurs nécessaires à l'aval de la chaudière, on obtient des rendements globaux supérieurs à 80 % [43].

En général, une partie du biogaz est utilisée pour réchauffer le digesteur, 10 à 30% de la production sur un digesteur mésophile. Les 55% des stations déclarent également utiliser le biogaz pour le chauffage des locaux, et l'excédent est brûlé sur une torchère pour éviter les émissions de gaz à effet de serre. Globalement, 63% du biogaz est valorisé le reste étant brûlé en torchère [44].

### **3.2. La production de l'électricité :**

Cette voie nécessite des investissements plus lourds, mais les groupes électrogènes peuvent aussi fournir de la chaleur (cogénération: dont les rendements 70 à 90% sont bien meilleurs qu'une simple production d'électricité 30 à 35 %) ce qui permet d'améliorer nettement la rentabilité de l'opération. L'efficacité maximale en électricité des groupes électrogènes fonctionnant au biogaz atteint actuellement 40%. Il existe différents procédés qui permettent de mettre en œuvre cette cogénération. Les moteurs à gaz, les turbines à vapeur ou encore les piles à combustible.

Cette voie de valorisation implique généralement une épuration du biogaz plus poussée. Notamment pour éliminer l'hydrogène sulfuré qui est à l'origine de phénomène de corrosion et diminue fortement la durée de vie des installations [45].

### **3.3. Les piles à combustible:**

Les piles à combustibles sont des convertisseurs électrochimiques qui produisent de l'électricité et de la chaleur par oxydation d'hydrogène et réduction d'oxygène (principe inverse de l'électrolyse). L'hydrogène est généré à partir du méthane contenu dans le biogaz par « vapores formage ». Le biogaz doit subir en amont un traitement poussé pour éliminer les impuretés soufrées, chlorées, les siloxanes, voire le CO<sub>2</sub> (pile PEMFC). Le potentiel énergétique est assez bien valorisé puisque que des rendements électriques supérieurs à 60% peuvent être atteints. Trois types de piles à combustible représentent un intérêt particulier pour une application biogaz : PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell), SOFC (Solid Oxide Fuel cells), et MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells). L'application de ces technologies pour des valorisations en cogénération est au stade de la recherche développement avec quelques rares offres commerciales. Les principaux objectifs de la recherche-développement sont d'améliorer la fiabilité et la durée de vie des piles et de permettre une mise en œuvre industrielle à moindre coût [46].

#### **Exemple 01 : Valorisation du biogaz par cogénération**

##### **La STEP de Pilsen (République Tchèque, exploitation Veolia Voda) :**

La station d'épuration de Pilsen, en République Tchèque, est l'une des plus grosses possédant une digestion de boues avec deux digesteurs de 6 300 et 6 500 m<sup>3</sup>. Mise en route en 1996, elle traite aujourd'hui les effluents d'environ 430 000 EH. Le biogaz produit lors de

la digestion est valorisé dans trois moteurs de cogénération de 470 kW chacun. La station ayant été dimensionnée pour 380 000 EH, il a été décidé en 2004 de faire passer les digesteurs au régime thermophile (55°C) afin d'augmenter leur capacité de traitement. En effet, le temps de séjour des boues dans un digesteur nécessaire pour obtenir une bonne dégradation des matières organiques est plus faible en régime thermophile (au moins 12 à 15 jours à 55°C) qu'en mésophile (au moins 25 à 40 jours à 35°C), et le rendement de dégradation est de plus amélioré [47].

*La STEP de Pilsen est maintenant autonome en électricité à 74 %.*

### **Exemple 02 : Valorisation du biogaz par la pile à combustible**

- **La station d'épuration de Köln-Rodenkirchen (banlieue de Cologne) :** d'une capacité de 70 000 EH, est semble-t-il la première station à recourir à une pile à combustible pour valoriser le biogaz produit par la méthanisation. Elle utilise une cellule UTCde type PAFC/PC25C pour produire une puissance électrique de 200 kW et 225 kW de chaleur récupérable [48].

- **La station d'épuration municipale d'Ahlen en Allemagne :** utilise aussi du biogaz de digestion anaérobie. Il s'agit d'une station de 130 000 EH, qui utilise une unité dite HotModule de RWE et produit ainsi:250 kWh d'énergie électrique et 180 kW d'énergie sous forme de chaleur récupérable [49].

- **La station d'épuration d'El Estero à Santa Barbara :** utilise deux piles à combustible MTU CFC Solutions d'une capacité totale de 500 kW [50].

- **La plus grande station de l'Oregon à Columbia Boulevard:** une pile ONSI Corporation à l'acide phosphorique produit une puissance électrique de 170kW. Le coût de l'installation serait de l'ordre de 1,3millions de dollars [51].

En dépit de ces premières références, il faut considérer que le procédé reste en phase de développement.

### **3.4. La production de biogaz carburant :**

Les investissements à réaliser sont onéreux liés à la nécessité d'une purification plus poussée, mais peuvent être rapidement (~10 ans) amortis pour les grandes agglomérations. Composition du biogaz nécessite au moins 50% de méthane. Il est nécessaire de le débarrasser, en particulier, de l'eau, du H<sub>2</sub>S et du gaz carbonique [52].

### 3.5. La production de gaz naturel de ville :

L'injection du biogaz dans le réseau demande une épuration (élimination des composés indésirables tels que H<sub>2</sub>S, COV) ainsi qu'un enrichissement du biogaz, c'est-à-dire l'élimination du CO<sub>2</sub>, pour donner du biométhane constitué d'au moins 97% de méthane (PCS > 10,7 KWh/m<sup>3</sup>) dont les caractéristiques sont proches du gaz naturel (*tableau 2.2*) [53]. Le biométhane peut être injecté à haute pression (16-80 bars) dans le réseau de transport du gaz naturel, ou à faible pression (4 bars) dans le réseau de distribution.

Dans ce dernier cas, l'injection peut dépendre de la capacité du réseau à accepter toute la production de biométhane tout au long de l'année [54].

**Tableau 2.2** : Qualité finale requise pour le gaz naturel [53].

<b>Nature de gaz</b>	<b>Concentration requise</b>
Méthane	90% minimum
Eau	15 mg.Nm <sup>-3</sup>
Sulfure d'hydrogène	100 mg.Nm <sup>-3</sup>
Particules	< 40 µm
Huile	70 à 200 ppm
Hydrocarbure liquide	< 1% en moles
CO <sub>2</sub>	3 à 4 % (en moles)

#### **4. Conclusion :**

Il existe de nombreuses façons d'assurer la valorisation du contenu énergétique des effluents d'une STEP; Les principales technologies de récupération énergétique valorisent l'énergie contenue dans les boues d'épuration : il s'agit de la digestion des boues accompagnée de différentes façons de valoriser le biogaz produit (sous forme de chaleur, d'électricité, de combustible ou de carburant).

Certaines stations d'épuration sont déjà autonomes en électricité à plus de 70 %, et complètement autonomes en chaleur grâce à une digestion des boues performante et à la valorisation du biogaz par cogénération

Le biogaz est une énergie renouvelable très utilisée dans les pays en voie de développement, qui présente l'avantage d'être stockable et non dépendante de la climatologie. La valorisation du biogaz provenant des déchets est une technologie mature et elle n'a pas besoin de grandes recherches et développement, mais plutôt d'une optimisation des procédés et de perfectionnements technologique pour faire monter en puissance les installations industrielles, Néanmoins, il ne faut pas négliger des étapes importantes ce constituent, par exemple, la nécessaire purification du biogaz avant certaines utilisations et l'indispensable préparation des déchets quand on les traite par méthanisation

La technologie du biogaz n'est pas encore exploitée en Algérie (Pour ce qui est des systèmes de digestion en anaérobies, seule la station de Baraki à Alger en est dotée. Elle a été mise en service en 1989 et qui se trouve être à l'arrêt en ce moment). Dans le cadre de développement durable, Il est nécessaire de faire une étude de la potentielle biomasse disponible en Algérie et faire la lumière sur les avantages de la biométhanisation dans un système d'épuration d'eaux

# **CHAPITRE 03:**

## **MATERIEL ET METHODES**

## **1. Introduction :**

L'épuration des eaux usées entraîne la formation de sous-produits organiques qui sont les boues d'épuration, d'une part. D'autre part la présence de déchets solides organiques biodégradables tels que les déchets ménagers, qu'il faut éliminer. De plus les quantités de déchets et de boues augmentent d'une manière exponentielle. Cette situation devient de plus en plus difficile à gérer par les méthodes classiques telles que la mise en décharge ou l'incinération. Ceci a poussé les chercheurs à considérer un processus de traitement qui peut réduire les volumes de boues et de déchets et en même temps générer un sous-produit valorisable tel que le composte et le biogaz.

Le réseau d'assainissement en Algérie accuse une sérieuse défaillance, par l'absence d'un cadre institutionnel clair, ainsi que l'absence d'instruments et de normes de gestion et d'exploitation du réseau d'installations.

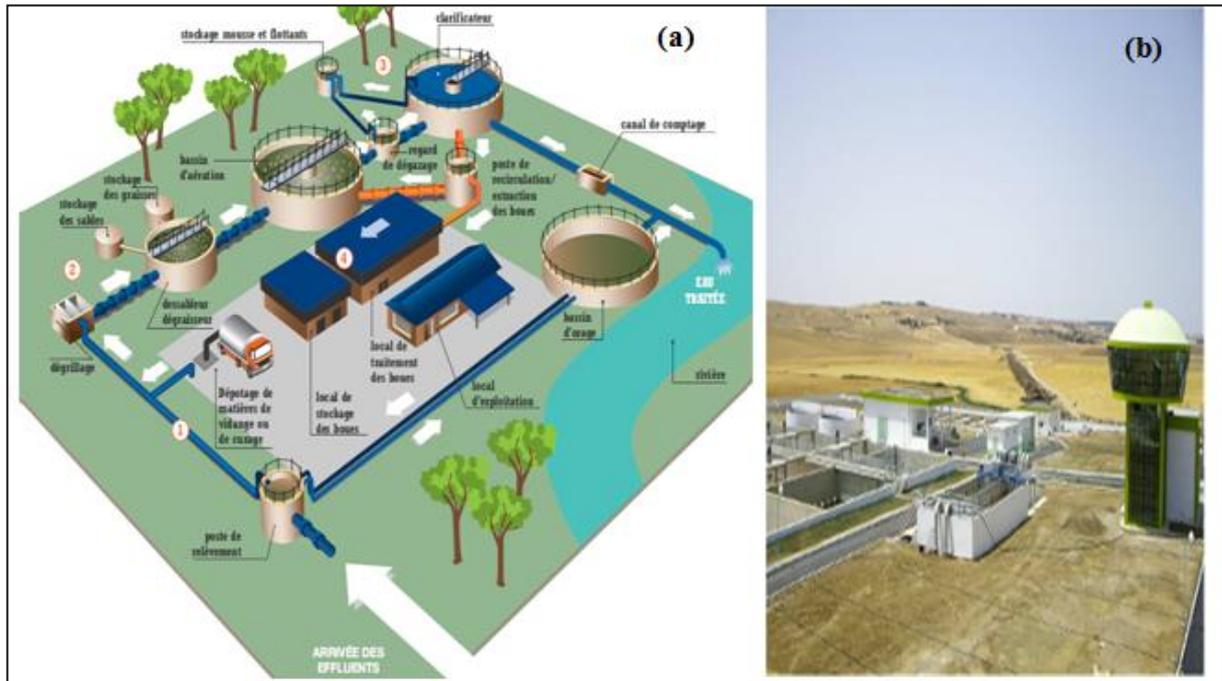
Ajoutant à cela, l'inadéquation de la politique et des mécanismes de financement (le tarif d'assainissement ne couvre que 8 % des coûts d'exploitation du réseau et des installations) en plus d'une absence de normalisation et de contrôle. Cet état des faits a eu de lourdes conséquences sur le secteur de l'assainissement des eaux usées. En 2001, seul 6 % (173.000 m<sup>3</sup>/j) de la demande (2.840.800 m<sup>3</sup>/j) en eaux épurées est satisfaite, d'autre part sur un total de 52 STEP, 05 seulement sont en exploitation soit 10 % et le reste, soit, 28 STEP sont proposées pour la réhabilitation et 19 hors d'usage [55].

Ajoutant à tout cela, une insuffisance sur le plan maîtrise de l'investissement, de l'exploitation et de la gestion du système d'assainissement. Pour ce qui est des systèmes de digestion en anaérobiose (digesteur), seule la station de Baraki à Alger en est dotée. Elle a été mise en service en 1989, son lieu de rejet est l'oued El Harrach d'une capacité de 750 103 Eq/ha et qui se trouve être à l'arrêt en ce moment [56].

Dans ce chapitre, nous allons mettre en exergue les objectifs assignés à cette étude à savoir :

- Les diverses techniques utilisées dans le traitement des eaux usées et la valorisation énergétique de la boue de la station d'épuration des eaux usées de Tissemsilt;
- Les différents types de boues ainsi que leurs filières de traitement
- L'efficacité du processus épuratoire des eaux usées de la STEP de Tissemsilt

La figure suivante montre le procédé principal de la STEP:



**Figure 3.1 :**(a) Exemple de station de traitement des eaux usées urbaines [57]. (b)STEP de Tissemsilt [58].

## 2. Description de la STEP:

Dans le STEP on a :

### 2.1. Le Prétraitement : Procédé physique:

Dans cette partie il y a essentiellement des procédés physiques. Les prétraitements ont pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers, qui sont susceptibles de gêner les traitements ultérieurs et d'endommager les équipements. Il s'agit des déchets volumineux (dégrillage), des sables et gravier (dessablage) et des graisses (dégraissage-déshuilage).

### 2.2. Le traitement primaire : physico-chimique :

Si les prétraitements visent à l'élimination des matières solides, des sables, et des matières minérales qu'on peut récupérer par surnage, le traitement primaire élimine plus de la moitié des matières en suspension (MES). Deux techniques sont utilisées [59]:

- **La coagulation** annule les charges électriques des particules en suspension par l'ajout de réactifs minéraux.
- **La floculation** provoque l'agglomération des particules déchargées par les coagulants. La fraction des floes peut être améliorée par addition de floculant.

### **2.3. Le traitement secondaire : Procédés biologiques :**

C'est le procédé le plus utilisé pour restaurer la qualité de l'eau on le débarrassant de ses principales impuretés, pourvu qu'elles soient biodégradables et ne contiennent pas de toxiques. L'épuration biologique consiste à mettre la matière organique contenue dans les eaux usées au contact à une masse bactérienne active en présence d'oxygène. A l'issue de ce processus, les bactéries constituent les "boues" qui devront être séparées de l'eau épuré [60].

Les filières de traitement des boues d'épuration ont toujours eu pour objectifs, la réduction du volume et la réduction du pouvoir fermentescible à savoir leur stabilisation. Cette dernière (stabilisation) peut être obtenue par une digestion en anaérobie dans des digesteurs, comme nous l'avons déjà vue, il s'agit d'une fermentation méthanique ayant un pouvoir de destruction et élimination de matière organique avec une importante production de biogaz.

*Un kg de matière organique détruite contenue dans les eaux usées conduit à une production de 900 à 1000 litres de gaz [61].*

### **3. Constituants des boues les plus importants :**

- La matière organique
- Les nutriments
- Les pathogènes
- Les métaux
- Les composés organiques traces.

### **4. Les caractéristiques physico-chimiques des boues d'épuration:**

La composition des boues d'épuration varie suivant plusieurs critères.

- **Le taux de matière sèche (ou la siccité) :** Une boue ayant une siccité de 15 % présente de facto un taux d'humidité de 85 %. La matière sèche des boues d'épuration est constituée à la fois de matière organique et de matière minérale.
- **Le taux de matières volatiles sèches (MVS) :** C'est la part de la matière sèche pouvant facilement être biodégradable. Ainsi, plus ce taux de MVS est élevé plus la capacité à produire du biogaz est importante.
- **La consistance des boues :** La consistance des boues dépend de leur taux de matière sèche. On distingue 4 niveaux de consistance [62]:
  - Les boues liquides : elles présentent une siccité de 0 à 10 % ;
  - Les boues pâteuses : elles présentent une siccité de 10 à 25 % ;
  - Les boues solides : elles présentent une siccité de 25 à 85 % ;
  - Les boues sèches : elles présentent une siccité supérieure à 85 %

## **5. Présentation de la station d'épuration de la ville de Tissemsilt :**

### **5.1. Présentation de site d'étude :**

Situé au centre du pays, la wilaya de Tissemsilt s'étend sur une superficie de 3151,37 km<sup>2</sup>. C'est une wilaya à vocation exclusivement agropastorale nichée en plains Haut-Plateaux dans leur partie occidentale.

La wilaya de Tissemsilt est située au Nord de l'équateur entre 30 et 32° de latitudes et 3° de longitude. Le Chef-lieu de la Wilaya est situé à 220 km à l'Ouest de la capitale, Alger., à 220 km d'Alger et à 300 km d'Oran.

Comme notre étude porte sur la station d'épuration de Tissemsilt, il nous a semblé intéressant de la décrire.

Le linéaire du réseau d'assainissement de la wilaya de Tissemsilt est de l'ordre de 700.10 km, avec un taux de raccordement moyen de 93%. Le réseau d'assainissement nécessite des unités de traitement telles que les STEP, les lagunes et les fosses steppiques.

Durant cette étude, nous avons utilisé les eaux usées provenant de la station d'épuration de la ville de Tissemsilt. Localisée dans la commune de Tissemsilt et Oueld Bessem, la station de traitement et d'épuration (STEP) de Tissemsilt est située à 07 Km de la ville de Tissemsilt sur la route d'Alger. Caractérisée par une activité agricole due à la présence de barrage de Bougara, cette station s'étale sur une superficie de 7 Hectare avec une altitude de 850m.

Dotée en équipement de dernière génération, cette structure est destinée en premier lieu à préserver les eaux du barrage de Bougara situé à 8 km au sud de Tissemsilt. Cet ouvrage, qui recevait depuis longtemps les déchets (domestiques et toxiques) des deux communes de Tissemsilt et Ouled Bessem, vient à point nommé pour servir d'appoint aux autres opérations d'aménagement urbain dans la région de Tissemsilt. Selon le directeur de wilaya des ressources en eau, cet acquis permet le traitement de 12 000 m<sup>3</sup>/jour au profit de 85 000 habitants des communes de Tissemsilt et Ouled Bessem, avec comme objectif d'atteindre une capacité quotidienne de traitement de 27 000 m<sup>3</sup> à l'horizon 2025. La station contribue également à protéger le barrage de Bougara, à l'irrigation des terres agricoles environnantes sur une superficie estimée à 1 000 ha, outre la protection du grand bassin Zahrar (wilaya de Chlef) [63] (voir annexe1 Présentation de la station d'épuration de la ville de Tissemsilt)

## 5.2. Qualité des eaux usées brutes arrivé à la station de Tissemsilt :

Les eaux usées se classent en deux catégories, les eaux d'égouts et les eaux industrielles. La station d'épuration traite les eaux usées d'égouts de Tissemsilt. Ces eaux sont acheminées à la station par une conduite à écoulement gravitaire.

**Tableau 3.1** : les caractéristiques techniques de l'eau de rejet à l'entrée de la STEP [64].

Paramètres	Unité	Horizon 2015	Horizon 2025
Procédé d'Oxydation	Procédé par boue activées		
Nombre d'E.H	EQ/H	110 000	150 000
Volume moyen journalier des eaux usées	M <sup>3</sup> /J	15 840	27 000
DBO5 journalière	Kg/j	5940	8100

*Annexe2 présentes la description détaillée des différents organes de la station d'épuration de Tissemsilt.*

Les paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes et traitées sont :

- **MES (matières en suspension):** désignent les matières solides insolubles visibles à l'œil nu présentes en suspension dans un liquide.
- **DBO5 (la demande biochimique en oxygène pendant cinq jours):** est l'un des paramètres de la qualité d'une eau. Cette DBO5 mesure la quantité de la matière organique biodégradable contenue dans une eau.
- **DCO (La demande chimique en oxygène):** est la consommation en dioxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques en minérales de l'eau. C'est l'une des méthodes les plus utilisées pour évaluer la charge globale en polluants organique d'une eau.
- **N-NO<sub>2</sub> (Nitrite):** Azote oxydé
- **N-NO<sub>3</sub> (Nitrate):** Azote oxydé
- **NTK (Azote totale kjeldahl):** l'ensemble des formes réduites de l'azote ou de l'azote contenues dans les eaux (la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal)
- **PT (phosphore total):** les formes chimiques du phosphore dans les eaux usées sont très variées. Ils peuvent être solubles ou bien particuliers, minérales et organiques.
- **O<sub>2</sub> Dissous (l'oxygène dissous):** plus l'eau exposée à l'air libre, plus elle est brassée, et plus elle est sursaturée en oxygène. Par contre, en présence d'un excès de matières organiques servent de nourriture à de nombreux micro-organismes, qui consomment beaucoup d'oxygène pour se développer et dégrader cette pollution. C'est notamment ce qui explique le manque d'oxygène dans l'eau usées, La température influe aussi sur ce paramètre.
- **Conductivité :** la mesure de conductivité est un paramètre reconnu, dont on ne peut plus se passer en analyse moderne des processus, des eaux usées. On utilise des systèmes de mesure fonctionnant en permanence par ex pour surveiller la charge en sels des eaux usées d'impuretés en stations d'épuration, pour contrôler la qualité de l'eau potable et de l'eau ultra-pure ou pour déterminer le taux d'impuretés non spécifiques dans les processus industriels.
- **T :** la température d'eau
- **pH (le potentiel hydrogène):** les valeurs du pH des eaux usées évacuées par ces rejets varient de 7,05 à 8,2, elles sont donc relativement neutres.

*Les méthodes d'analyses des différents paramètres physico-chimiques sont consignées dans l'annexe N°03*

**Calcul du taux d'abattement :**

Le calcul du taux d'abattement d'un paramètre P, exprimé en pourcentage est

Calculé selon la formule suivante :

$$\%P = ((P_i - P_0) / P_i) * \times 100$$

Où :

**p** : est le rendement pour un paramètre donné,

**P<sub>i</sub>** : est le chiffre du paramètre donné à l'entrée,

**P<sub>0</sub>**: est le chiffre du même paramètre à la sortie

## **6. Conclusion :**

L'assainissement des eaux usées est une étape importante et décisive pour préserver la ressource en eau. Sans elle, les rivières se transformeraient en égout.

Par le traitement des eaux usées, deux sous-produits essentiels sont générés: l'eau épurée et la boue. Ces deux éléments peuvent constituer des appoints dans le domaine de l'agriculture tels que l'apport de nouvelles ressources hydrique et l'amendement en fertilisant et en engrais naturels.

Le traitement des eaux usées permet de maintenir la qualité de notre environnement et d'obtenir toute une gamme d'eaux de qualité différente pour les réutilisations agricoles, industrielles et urbaines.

La station d'épuration a une importance primordiale dans l'amélioration de la qualité d'eau, ainsi que dans la protection de l'environnement, caractérisé par une succession d'opérations, de transformation, et de traitement dans un ensemble d'ouvrages, qui visent à obtenir le même résultat que l'épuration naturelle. Sa réalisation impose un choix à la fois : les procédés, et le mode de gestion.

Les filières de traitement des boues d'épuration ont toujours eu pour objectifs, la réduction du volume et la réduction du pouvoir fermentescible à savoir leur stabilisation. Cette dernière peut être obtenue par une digestion en anaérobie dans des digesteurs, il s'agit d'une fermentation méthanique ayant un pouvoir de destruction et élimination de matière organique avec une importante production de biogaz.

La station d'épuration de Tissemsilt dotée en équipement de dernière génération permet d'épurer les eaux usées conformément aux prescriptions sanitaires et techniques applicables à l'utilisation des eaux traitées à des fins d'irrigation des cultures.

# **CHAPITRE N°4 :**

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

## **1. Introduction :**

Nous sommes intéressés dans ce travail à la valorisation des eaux usées par énergie biomasse appelée l'énergie verte. C'est une source énergétique propre sans effet néfaste sur l'environnement naturel.

Dans ce chapitre nous présenterons les différents composants des eaux usées entrant, sortant et sont caractéristiques, ainsi que les caractéristiques des boues après les traitements des eaux usées produites dans le système d'épuration des eaux résiduaires STEP de W. Tissemsilt.

La méthanisation est un type de valorisation basé sur l'activité des microorganismes (les bactéries) dans un milieu sans oxygène. La connaissance de la production d'énergie nette par la méthanisation est importante pour une modélisation fiable, de l'efficacité et le rendement de la production d'énergies à partir de la STEP de Tissemsilt.

Pour valider cette conversion au laboratoire nous avons utilisés les résultats des eaux usées de willaya d'Adrar [65] et on calculera la valorisation énergétique de la STEP de Tissemsilt pour comparer avec l'énergie produite à partir des équations mathématiques présentées dans la partie simulation numérique. Aussi, on discutera les résultats obtenus par la simulation expérimentale du volume de biogaz produit.

## **2. Paramètres physico-chimiques d'analyse des eaux usées :**

Les résultats présentés ci-dessous concernent les quantités d'effluents de la ville de Tissemsilt de l'année 2020, les indicateurs de pollution (DCO, DBO5), les taux d'abattement de ces deux indicateurs de pollution après traitement, ainsi que les mêmes résultats obtenus sur les boues.

Le *tableau 4.1* suivant montre le bilan des résultats annuels des paramètres physico-chimiques d'analyse des eaux usées de STEP de Tissemsilt.

**Tableau 4.1** : Bilan annuel des analyses physico-chimiques année 2020 de STEP de Tissemsilt :

<b>Paramètres</b>	<b>Effluents</b>		<b>Normes de rejet selon l’OMS</b>
<b>MES (mg/l)</b>	eaux usées brutes	369,82	<600
	eaux usées traitées	6,76	30
<b>Température (C°)</b>	eaux usées brutes	16,97	≤30°C
	eaux usées traitées	17,89	
<b>pH</b>	eaux usées brutes	8,19	compris entre 5,5 et 8,5
	eaux usées traitées	7,84	
<b>DBO5 (mg/l)</b>	eaux usées brutes	311,41	<500
	eaux usées traitées	10,57	<30
<b>DCO (mg/l)</b>	eaux usées brutes	555,87	< 1000
	eaux usées traitées	52,40	< 90
<b>N-NO<sub>2</sub> (mg/l)</b>	eaux usées brutes	0,44	<50
	eaux usées traitées	0,096	
<b>N-NO<sub>3</sub> (mg/l)</b>	eaux usées brutes	1,42	
	eaux usées traitées	0,5675	

La présence de matière en suspension (MES) dans les eaux usées est inférieure à la norme (369,82<600 mg/l). Cependant, une présence excessive de matières en suspension peut

entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que l'obturation des systèmes d'irrigation [66].

Les valeurs enregistrées au cours de cette étude indiquent que la valeur du pH des eaux usées est comprise entre 5,5 et 8,5. Même pour la température est inférieure  $\leq 30^{\circ}\text{C}$ , c'est-à-dire dans les normes. D'après *Sevrin Reyssac et al* [67] , un pH alcalin et une température modérée constituent des conditions de milieu idéales pour la prolifération des microorganismes qui établissent un parfait équilibre biologique, permettant la dégradation de la matière organique ce qui conduit à la décontamination de l'eau.

L'azote ammoniacal est oxydé par nitrification en nitrite  $\text{NO}_2^-$  un état intermédiaire, puis ce dernier est rapidement oxydé en nitrate  $\text{NO}_3^-$ . Cette transformation est effectuée en présence d'oxygène par des bactéries autotrophes nitrifiantes en deux étapes, la première étant assurée par des bactéries *Nitrosomonas* et la deuxième par des bactéries *Nitrobacter* [68] Les deux formes d'azotes sont dans les normes.

La DBO5 représente la quantité d'oxygène nécessaire utilisée pour la destruction de la matière organique décomposable par les processus biochimiques. La valeur de DBO5 est élevée à l'entrée de la STEP. Elle est de 311,41 mg /L. Ce résultat montre que les eaux de la ville de Tissemsilt sont fortement chargées par la matière organique. Après épuration la valeur de la DBO5 diminue jusqu'à 10,57 mg /L.

La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, à travers la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. L'analyse des résultats obtenus montre que la DCO dans les eaux à l'entrée de la STEP est de 555,87mg /L.

Ce résultat montre que les eaux de la ville de Tissemsilt sont fortement chargées en matière organique biodégradable et non biodégradable (DCO). Donc ne peuvent donc être déversées dans le milieu naturel sans traitement préalable. Cette situation pourrait, en général, avoir des effets néfastes sur la qualité de l'eau à cause de la chute de la teneur en oxygène.

Le **tableau 4.2** montre le taux d'abattement des polluants des eaux usées de STEP de Tissemsilt après traitement.

**Tableau 4.2 :** Taux d'abattement des polluants des eaux usées de STEP de Tissemsilt après traitement.

<b>Paramètres</b>	<b>Année 2020</b>
<b>%MES</b>	96,93
<b>%DBO5</b>	93,18
<b>%DCO</b>	87,04

Les résultats des paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes et traitées (Tableau 4.1) et les taux d'abattement des polluants (charges organiques) (tableau 4.2) sont analysés et comparés aux normes recommandées par l'OMS afin d'évaluer le rendement épuratoire du traitement par boues activées au niveau de la station d'épuration de Tissemsilt, montre l'efficacité de traitement par la station de Tissemsilt.

Le bilan de la DCO (Tableau 4.3) montre qu'il y a une importante quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique des matières organiques des eaux usées. Si sans un traitement adéquat toute cette matière risque d'être dégradée en produisant des gaz non contrôlés notamment les gaz à effet de serre (GES).

**Tableau 4.3 :** Bilan DCO des effluents de la ville de Tissemsilt.

	<b>Quantité produite (effluents) (m<sup>3</sup> .an<sup>-1</sup>)</b>	<b>DCO (mg O<sub>2</sub> .L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Total d'O<sub>2</sub> (kg O<sub>2</sub> .an<sup>-1</sup>)</b>
<b>Effluents 2020</b>	5792490	555,87	3219871,416

A travers ces mesures, il est clair que le traitement des eaux usées à la STEP de Tissemsilt est suffisant pour permettre d'abaisser les concentrations en polluants et d'atténuer donc le risque sanitaire à un niveau très acceptable.

On compare les résultats des eaux usées de la Wilaya de Tissemsilt avec d'autres eaux usées dans le monde qui sont utilisées comme source de la production du biogaz ou

l'énergie électrique, comme montre le tableau suivant, ces stations sont riche en matière organique [69].

**Tableau 4.4 :** Comparaison entre les résultats des eaux usées du STEP de Tissemsilt et d'autres STEP dans le monde

	USA	France	Marocain	Pakistan	Algérie (Tissemsilt)
<b>DBO5 (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	110-400	100-400	45	193-762	311,41
<b>DCO (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	250-1000	300-1000	200	83-103	555,87
<b>MES (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	100-350	150-500	160	76-658	369,82

Le tableau ci-dessous montre le rapport entre la DCO et la DBO5 qui permet de caractériser la nature de l'effluent selon la nature et l'efficacité de traitement biologique.

Selon *Rodier et al* [70], le rapport entre la DCO et la DBO5 permet de caractériser la nature de l'effluent. Il est entre 1,7 et 2,1. Cette valeur inférieure à 3 (*Tableau 4.2*), confère à l'effluent une bonne biodégradabilité et confirme que les eaux usées traitées au niveau de la STEP sont d'origine domestique.

D'autre part, selon *Nikiéma*, la biodégradabilité des effluents est déterminée par le rapport :  $R = DCO/DBO5$  qui donne une valeur permettant la classification des eaux.

Les eaux usées sont caractérisées en fonction du rapport DCO/DBO5 comme le montre le tableau suivant.

**Tableau4.5 :** Caractéristiques des eaux usées en fonction du rapport (R) DCO/DBO5

DCO/DBO5	Types d'eaux usées
$R < 1,66$	Eaux facilement traitables biologiquement (I)
$1,66 < R < 2,55$	Eaux traitables biologiquement (II)
$2,55 < R < 5$	Eaux devant subir un traitement biologique après adaptation (III)
$R > 5$	Eaux toxiques et non traitables (IV)

Le choix I, II ou III définit le type d'eau usée et permet de déterminer le traitement adéquat pour l'effluent donné.

*Le Tableau 4.6* montre que les effluents de *la Wilaya de Tissemsilt* a peut être traitée par la méthode biologique (II) car *les effluents rejoignent de Tissemsilt sont des eaux facilement traitables biologiquement car le rapport est entre 1,66 et 2,55 (1,66 < R < 2,55, DCO/DBO5 =1,78).*

**Tableau 4.6** : Rapport R calculé pour les eaux usées de la station de la ville de Tissemsilt

Année	DCO (mg.L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	R = DCO/DBO	Traitement préconisé
2020	555,87	311,40	1,8	II (Eaux traitables biologiquement)

*Donc, les corrélations entre les différents paramètres physico chimiques donnent une idée sur l'origine des eaux usées étudiées.*

*Les valeurs DCO et DBO5 ainsi que le rapport de DCO/DBO5 montrent que les eaux usées étudiées sont facilement biodégradables et que leur pollution est surtout d'origine organique donc la présence importante de la matière organique (c'est Biomasse) qui on pourra utiliser dans la production d'énergie par voie biochimique (méthanisation).*

### 3. Paramètres physico-chimiques d'analyse des boues

Les résultats présentés ci-dessous concernent les paramètres physico-chimiques ainsi que les compositions minérales des boues d'épuration du STEP de Tissemsilt de l'année 2020 sont présentés dans les tableaux suivants :

**Tableau 4.7** : Les résultats des paramètres physico-chimiques des boues du STEP de Tissemsilt (année 2020).

Année	MVS des boues produites (%)	Siccité moyenne (%)	MS poids en matière sèches (kg)
2020			
Moyenne	57,89	34,03	31760,25

- Une boue ayant une siccité de 15 % présente un facteur d'un taux d'humidité de 85 %. La matière sèche des boues d'épuration est constituée à la fois de matière organique et de matière minérale.
- Le MVS est la part de la matière sèche pouvant facilement être biodégradable. Ainsi, plus ce taux de MVS est élevé plus la capacité à produire du biogaz est importante.

La quantité totale des boues générées par les eaux usées est estimée à **816,3** Tonnes en 2020 (voir annexe N°06). A travers les analyses physico-chimiques des boues des stations de traitement des eaux usées de la ville de Tissemsilt, Il est clair qu'elles peuvent être méthanisées pour produire du biogaz.

La concentration des boues en matières organiques est un paramètre très important dans la conversion méthanogène, la capacité de production du méthane est directement proportionnelle à la quantité des matières organiques, plus la concentration est élevée, plus la capacité à produire du biogaz est importante Mais sans dépassé les limites car la présence de l'eau est nécessaire (milieu humide).

Le tableau suivant montre les compositions (métaux lourds) de boue d'épuration de la station de Tissemsilt (les analyses sont faites sur un échantillon de 1 L de boue séchée frais).

**Tableau 4.8** : Métaux lourds de boue d'épuration de la station de Tissemsilt

<b>Les résultats des essais : Année 2020</b>	
<b>Elément</b>	<b>(mg/Kg)</b>
Nickel	37
Cuivre	73
Cadmium	2,73
Plomb	165
Chrome	<49
Zinc	364
Mercure	1,05 µg/Kg

Ces éléments traces métalliques (cuivre, le zinc, le chrome et le nickel) sont des éléments indésirables (surtout pour la digestion anaérobie) ils peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses, d'autres tels que le cadmium et le plomb ce sont des éléments toxiques potentiels. Aussi, dans les boues, une multitude de polluants organiques peut se trouver en concentrations, en général de l'ordre de quelque micro gramme par kilogramme de matière sèche ( $\mu\text{g}/\text{kg MS}$ ). Du fait de la décantation lors du traitement, ces contaminants chimiques se retrouvent dans les boues à de très grandes concentrations par rapport aux eaux usées.

Un groupe de travail européen a été mis en place pour améliorer la situation actuelle de gestion des boues résiduaires de stations d'épuration. Ce groupe a publié en avril 2000 un document qui devrait être utilisé comme base pour la mise en place d'une norme européenne sur les valeurs limites en éléments traces métalliques et composés organiques acceptables dans les boues pour la valorisation agricole. De nouvelles limites sont proposées pour les métaux lourds. *Le tableau 4.8* résume les valeurs proposées par ce texte et les valeurs en vigueur par la directive 86/278 (4/07/1986) de la CEE relative à la protection de l'environnement et notamment des sols lors de l'utilisation des boues d'épuration

**Tableau 4.9** Valeurs limites en éléments traces métalliques proposées par le groupe de travail sur les boues.

Élément	Valeurs limites (mg/kg MS)	
	Directive 86/278/CEE	Valeurs proposées
Cd	20-40	10
Cr	-	1000
Cu	1000-1750	1000
Hg	16-25	10
Ni	300-400	300
Pb	750-1200	750
Zn	2500-4000	2500

#### 4. Production du biogaz et Simulation de la production d'énergie :

Afin d'étudier le pouvoir énergétique (biogaz) des eaux usées générés par la ville de Tissemsilt et les boues de la station d'épuration de même Wilaya. D'après de recherche bibliographique, nous avons pris des équations pour calculer le volume du biogaz et l'énergie produite de 4.4.1) effluents et 4.4.2) boues d'épuration:

##### 4.4.1 Par les effluents :

a) Calcul sur la base de la DCO totale des eaux usées :

La dégradation de 5 kg de DCO produit 1 m<sup>3</sup> de biogaz, c'est l'équation 1.

$$V_{\text{biogaz}} = \text{DCO}_{\text{total}}/5 \text{ avec DCO en kg et V en m}^3 \dots \text{Eq1 [71].}$$

On note un flux annuel total d'eaux usées est de 5792490 m<sup>3</sup>. Ce qui a donné une DCO totale annuelle de 3219871,416 kg (3219,871416 tonne) pour les eaux usées entrants.

D'après l'Eq1 le  $V_{\text{biogaz}} = 3219871,416/5 = 643974,2833 \text{ m}^3 \dots \dots \text{Eq1}$

D'après plusieurs chercheurs montrent que la DCO c'est le meilleur critère de calculer le V biogaz des eaux usées étant donné la concentration en substrat à dégrader par les microorganismes.

Aussi, il a été rapporté par plusieurs auteurs [72], [73], [38] que le biogaz des eaux usées est de meilleure qualité que toutes les autres sources de biogaz, sa capacité calorifique est de 8 kWh/m<sup>3</sup> de biogaz contre 4,5 pour le biogaz de décharges et 6 kWh /m<sup>3</sup> pour le biogaz des déchets bovins.

On peut écrire l'équation 2 :

$$E_{\text{Biogaz}} (\text{kWh}) = V_{\text{Biogaz}} (\text{m}^3) * PC_{\text{Biogaz}} (\text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}) \dots \dots \text{Eq2}$$

L'énergie produit pendant l'année 2020 des eaux usées de W. Tissemsilt est :

$$E_{\text{Biogaz}} = 643974,2833 * 8 = 5\,151\,794,266 \text{ kWh} = \mathbf{5,151\,79,266 \text{ GWh}}$$

On trouve presque même résultats si on compare Eq2 et Eq3.

$$E = V_{\text{Biogaz}} * \% \text{CH}_4 * PCI_{\text{CH}_4} \dots \dots \dots \text{Eq3}$$

$$E = 643974,2833 * 0,8 * 9,94 = 5\,120\,883,5008016 \text{ kWh} = \mathbf{5,120\,883\,500 \text{ GWh}}$$

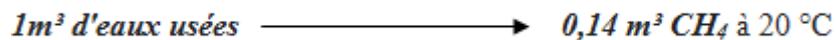
Selon d'autres sources, **200 L de biogaz** peuvent être produits par **1 kg de DCO** dégradé. Les besoins en énergie d'une famille moyenne (3 personnes) pour la préparation des repas, sont de l'ordre de 2 à 4 m<sup>3</sup> par jour, ce qui correspond à la quantité de biogaz produite par au plus 20 m<sup>3</sup> d'eau usée et de DCO au moins égale à 1000 mg. L<sup>-1</sup> [71].

**On a le volume de biogaz des eaux usées générés par la ville de Tissemsilt est de 643974,2833 m<sup>3</sup> (Eq1), les besoins en énergie d'une famille moyenne (3) pour les préparations des repas est de 4m<sup>3</sup>**

$$643974,2833 / 4 = 160993,5708 \approx 160994 \text{ familles}$$

Alors, on peut dire que le volume de biogaz produit par la station d'épuration de la ville de Tissemsilt peut être utilisé par **160994** familles pour la préparation des repas.

D'autre travail qui ont été publiés en **2020** par **Jiayuan et al**, [74], ils ont montré l'équation **Eq4** et l'équation **Eq5** pour calculer le potentiel d'énergie par la conversion anaérobie des eaux usées supposés que:



$$V_{\text{Méthane}} (\text{m}^3) = V_{\text{effluents}} (\text{m}^3) * 0,14 \quad \text{Eq4}$$

$$E_{(\text{MJ})} = V_{\text{Méthane}} (\text{m}^3) * PC_{\text{Méthane}} \left( \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \right) \quad \text{Eq5}$$

avec  $PC_{\text{Méthane}} = 35,9 \text{ MJ/m}^3$

En utilisant l'équation **Eq4** et l'équation **Eq5** pour calculer l'énergie produite par les eaux usées de la station d'épuration de la ville de Tissemsilt, le volume égal **5792490 m<sup>3</sup>** d'eaux usées peuvent potentiellement fournir **810948,6 m<sup>3</sup>** de CH<sub>4</sub>. L'énergie totale pouvant être récupérée sera de : **29113054,74 MJ**.

### Simulation de la production d'électricité

Pour calculer l'énergie électrique qui pourrait être générée par le biogaz produit des eaux usées, l'équation suivante a été utilisée par *Barrag'an-Escandon et al*, en 2020 [75]:

$$E = \frac{35,9 * V * \%CH4 * 0,35}{3,6} \dots\dots\dots \text{Eq6}$$

- Où, **E** est la production d'électricité (kWh/j),
- **PC** est le pouvoir calorifique du méthane (35,9 MJ/m<sup>3</sup>),
- **V** est la production de biogaz (m<sup>3</sup>/Jour),
- **%CH<sub>4</sub>** représente la teneur en méthane du biogaz produit.
- **η** est le rendement électrique (%) de l'élément générateur en transformation énergie thermique en énergie électrique (un paramètre de 35% a été utilisé pour le calcul basé sur les technologies de production d'électricité [75],
- **γ** est le facteur de conversion de MJ en kWh= 3,6

On calcule :

$$E = \frac{35,9 * V * \%CH4 * 0,35}{3,6}$$

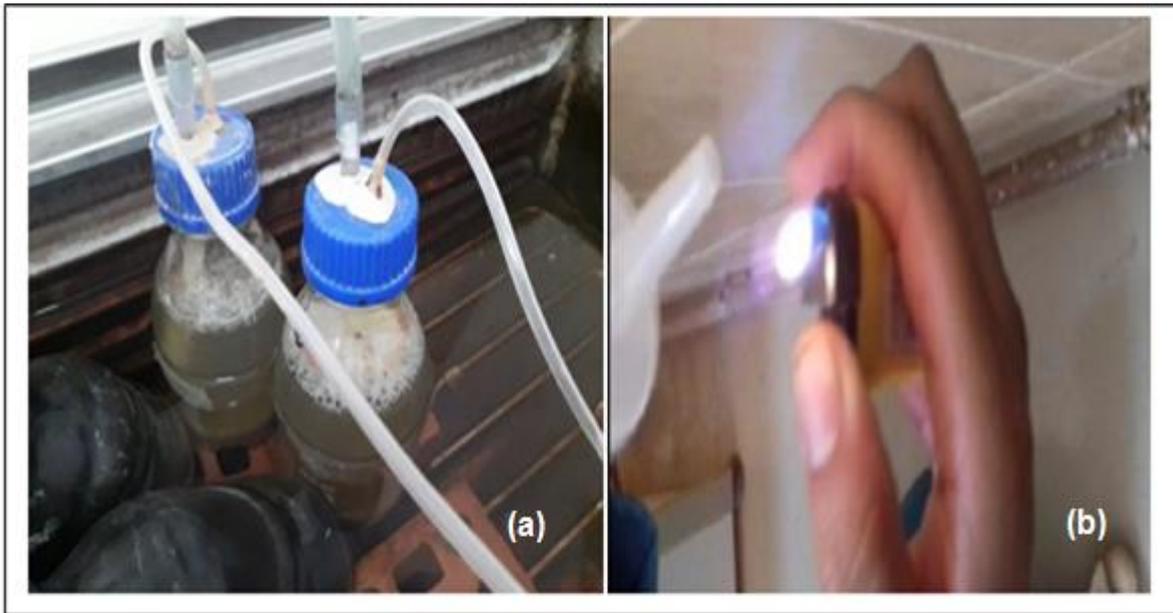
D'après l'**Eq6** on calcule l'énergie électrique de STEP, on trouve :

$$E_{\text{électrique}} = 4926,354255 \text{ kWh/Jour}$$

Sachant que :  $V_{\text{Biogaz}} (\text{m}^3/\text{jour}) = 1764,313104 \%CH4 = 1411,4504832 \text{ m}^3/\text{jour}$

Nous avons comparé nos résultats qui ont calculé théoriquement par les équations précédentes par des résultats expérimentales qui ont fait par *BRAHOUME au URES d'Adrar en 2020* [65].

Tel que, le digesteur utilisé est de capacité d'un 1 litre. Le digesteur est fermé hermétiquement pour assurer l'anaérobiose, puis il est plongé dans un bain marie réglé à 37 °C. Le volume du biogaz formé est mesuré à l'aide de la méthode de liquide déplacé ( $V_{\text{Biogaz}} = 137\text{mL}$ ), comme montre la figure suivante :



**Figure 4.1 :** (a) Production de biogaz, (b) Teste l'inflammabilité de biogaz

Notons toutes fois, que le digesteur utilisé la biomasse (eaux usées) pour la ville d'Adrar (%CH<sub>4</sub> =70, V<sub>Biogaz</sub> =137ml/ 1L eaux usées):

On calcule :

$$\mathbf{E_{\text{électrique expérimentale}} = \frac{35,9 \cdot V \cdot \%CH_4 \cdot 0,35}{3,6} \dots \dots \dots E_{q6}}$$

L'Eq3 montre presque même résultats qui on a trouvé précédentes dans les Eq3 sur les eaux usées de STEP de la ville de Tissemsilt

$$\mathbf{E_{\text{Expérimentale}} = 137 \cdot 10^{-6} \cdot 0,7 \cdot 9,94 = 0,000953246 \text{ kWh pour 1L}}$$

Pour V eaux usées de la ville de Tissemsilt on trouve :

$$\mathbf{552\ 1667,92254 \text{ kWh/an} = 5,521\ 667\ 9225 \text{ GWh/an}}$$

$$\mathbf{(E_{\text{expérimentale}} \approx E_{\text{théorique}} \text{ (Eq2 et Eq3)}) \text{ (} 5\ 521\ 667,92254 \approx 5\ 151\ 794,266 \text{ (Eq2)} \approx 5\ 120\ 883,5008016 \text{ (Eq3) kWh).}$$

**Donc on peut valider les équations précédentes sur les eaux usées de la ville de Tissemsilt dans la production d'énergie.**

#### 4.2. Par les boues :

Face à la problématique croissante posée par les boues et leur devenir, la digestion anaérobie apparaît donc comme une solution de traitement des boues très intéressante à étudier, dans le cadre de l'élaboration d'une filière d'élimination et de valorisation adaptée.

Dans cette partie, nous intéressons à la valorisation énergétique des boues de STEP de la ville de Tissemsilt par la digestion anaérobie. Ces boues constituent un déchet abondant qui n'a connu aucun mode de traitement ou de valorisation depuis le démarrage de cette station d'épuration en 2013.

Un travail qui a été publié en 2005 par *Pierre Herpin et al* [76], Ils ont utilisé l'équation **Eq7** pour calculer la production en méthane (CH<sub>4</sub>) par la conversion anaérobie.

$$P_{CH_4(m^3)} = \text{Quantité de MO} * BO \dots \dots \dots \text{Eq7}$$

Le potentiel de production de gaz (Bo) d'un substrat est le volume total de gaz produit par unité de matière organique traitée pour un temps de rétention infini ; il est fonction de la biodégradabilité du substrat. La constante Bo est de l'ordre de 0,5 m<sup>3</sup>/kg quel que soit la nature du substrat. La teneur en MO est de 472556,07 Kg (MO = 57,89%). La production en méthane est alors telle que :  $P_{CH_4} = 472556,07 * 0,5$

$$P_{CH_4} = 236278,035 \text{ m}^3$$

#### Simulation de la production d'électricité :

Dans un travail qui été publié par Mr Igoud *et al* [77], ont montré l'**Eq8** pour calculer la production d'électricité :

$$E = V_{Méthane} * PCI * EE \dots \dots \dots \text{Eq8}$$

*Avec* : EE : est l'efficacité électrique (%) = fixé à 35% = 0,35

$$\text{On trouve : } E = 236278,035 * 35,9 * 0,35$$

$$E = 822011,283765 \text{ kWh/an} = 0,822011284 \text{ GWh/an}$$

*D'après les résultats de la production de biogaz par les eaux usées et les boues, ainsi que la simulation de la production d'électricité, on peut dire que le STEP de la ville de Tissemsilt est capable de délivrer de l'énergie avec un très bon rendement.*

## CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Le travail présenté dans ce mémoire de Master s'est porté sur la valorisation énergétique des eaux usées, en particulier les eaux usées dans la région de Tissemsilt.

Aujourd'hui, la consommation d'énergie, spécialement celle des combustibles fossiles causée par le développement rapide de l'économie provoque une augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et entraîne des changements climatiques. D'autre part, les réserves de combustibles fossiles sont bientôt finies et, au rythme de consommation actuel, leur épuisement doit être envisagé. Il est donc nécessaire de diminuer la dépendance aux combustibles fossiles et d'explorer les nouvelles énergies renouvelables.

Une utilisation croissante de la digestion anaérobie s'inscrit ainsi dans une politique de développement durable. Les gisements de matière organique pouvant servir à produire du biogaz sont nombreux (effluents industriels et agricoles, déjections animales, déchets ménagers,...), mais ils restent néanmoins sous-exploités.

Depuis le début des années 2000, la station d'épuration n'est plus seulement perçue comme une installation industrielle traitant les eaux résiduaires urbaines afin d'en minimiser leurs impacts sur le milieu naturel, mais aussi comme un moyen de récupérer des ressources : eau, nutriments, énergie. Ce travail de thèse traite de cette dernière ressource, l'énergie. Comment tendre vers la station d'épuration auto-suffisante en énergie électrique : Notre étude est spécifiquement pour la station d'épuration de la ville de Tissemsilt (faible charge).

Les résultats montrés bien que la STEP de Tissemsilt présente un potentiel énergétique fiable pour la production de biogaz par les effluents ( $E = 5, 521\ 667\ GWh/an$ ) et les boues ( $E = 0,82201\ GWh$ ), ce qui pourra faire l'objet d'une station auto-suffisante en énergie électrique.

Néanmoins les résultats de ce modeste travail constituent les bases d'un travail à poursuivre et à améliorer pour une étude beaucoup plus approfondie qui pourra faire l'objet d'une thèse de doctorat

Ainsi, les perspectives futures sont dans un premier temps est vers l'autonomie énergétique des stations d'épuration en Algérie. Les services d'assainissement sont très énergivores, donc plusieurs techniques peuvent être mises en œuvre pour optimiser leur efficacité énergétique et valoriser l'énergie alternative produite par ces réseaux. Les principales technologies de

récupération énergétique valorisent l'énergie contenue dans les effluents et les boues d'épuration : il s'agit de la digestion des boues et des effluents

Pour réaliser cette valorisation, il est nécessaire de disposer d'informations statistiques sur les STEP, afin d'en connaître les caractéristiques de leurs eaux usées et les analyses physico-chimiques de leurs effluents et boues pour passer ensuite à la modélisation.

Nous espérons avoir posé, par ce travail, les jalons utiles dans le domaine de la valorisation énergétiques des eaux usées ce qui donnera une impulsion à la recherche locale dans cet axe, en vue d'une prise de conscience de « l'après pétrole », du respect de l'environnement et du développement durable.

Enfin, comme suite à ce travail, on propose l'implémentation de la technique présentée dans ce mémoire dans le but de vérifier expérimentalement les résultats trouvés. Le complément logique de cette étude sera de déterminer le type de digesteur et faire le Dimensionnement de l'installation.

## REFERENCES

- [1] Arion et al., 2018; BP Statistical Review of world energy. 2018
- [2] PHILIPPE *Rioux*. Ladepeche.fr. Disponible sur : <https://www.ladepeche.fr/2021/05/14/le-monde-dapres-energies-renouvelables-une-croissance-jamais-vue-depuis-20-ans-9545317.php>
- [3] KHERBOUHE *Djamila*, BENYOUCEF *Boumediene*. Valorisation énergétique de la biomasse : production du biogaz à partir de la méthanisation aux sites algériens. JITH 2007, Albi, France. 5p, Aout 2007.
- [4] ADEM. La méthanisation en 10 questions : produire de l'énergie à partir des déchets organiques 2019
- [5] B. *Lagrange*, 'Biométhane, Une Alternative Crédible', Ed. Edisud / Energies Alternatives, Tome 1, 1979.
- [6] YAHIAOUI *Fatiha*. Valorisation énergétique des boues des stations d'épuration dans les zones arides et semi-arides, 2014.
- [7] MISSAOUI *Ayoub*. Etude de la conversion de la biomasse en énergie par un procédé hydrothermal de carbonisation - Caractérisation des produits issus des grignons d'olive. Thèse de doctorat. Université d'Orléans, 2018.
- [8] René *Moletta*, Willy *Verstraete*. La méthanisation dans la problématique énergétique et environnementale.
- [9]. MADUI L. et al « Cogénération : lever les points de blocage». L'Observatoire de l'Environnement ; Septembre 1995, pp 3 à 5.
- [10] LEBRANCHU *Aline*. Étude du procédé de méthanisation en digesteur anaérobie à l'échelle pilote : impact du mélange et du transfert gaz-liquide sur les performances de production de biogaz. Thèse de doctorat. Université de Lorraine, 2017.

- [11] *SOLAGRO*. Techniques de production d'électricité à partir de biogaz et de gaz de synthèse. 2009
- [12] Jean-Romain Bautista *Angeli*. Etude de faisabilité de la micro-méthanisation par co-digestion à l'échelle des quartiers. Ecole nationale supérieure Mines-Télécom Atlantique, 2019.
- [13] Julien Bollon. Thèse de doctorat. Etude des mécanismes physiques et de leur influence sur la cinétique de méthanisation en voie sèche : essais expérimentaux et modélisation, 2012
- [14] NJAMPOU *Philippe*, dimensionnement d'une de biométhanisation. Thèse de master spécialisé en génie électrique, énergétique et énergie renouvelables Ouagadougou, Burkina Faso, 2011.
- [15] AMARENE *Lima J. A.* Biométhanisation des déchets putrescibles municipaux – Technologies disponibles et enjeux pour le Québec, diplôme de maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke, Québec, Canada, 2010.
- [16] A *Amahrouch*. Le biogaz, Centre de développement des énergies Renouvelables (CDER), Royaume du Maroc. 2011
- [17] Audrey *Battimelli et al.* Méthanisation en 3 étapes pour l'amélioration de la production de biogaz : comparaison de procédés physicochimiques et impact du digestat sur les performances du procédé, 2017.
- [18] I. Tou, S. *Igoud* et A. *Touzi*. Production de Biométhane à Partir des Déjections Animales, Rev. Energie Renouvelable: Production et Valorisation – Biomasse, Laboratoire de Biomasse, Centre de Développement des Energies Renouvelables, Bouzaréah, Alger, 2001.
- [19] M. *Pierrevelcin*. La méthanisation à la ferme, un exemple de diversification des activités agricoles, 2008.
- [20] Faustine *Laurent*. Thèse de doctorat. Optimisation fonctionnelle et spatiale de scénarios de méthanisation centralisée selon une approche systémique territoriale couplée à l'analyse du cycle de vie, 2015.
- [21] Rapport de l'académie des technologies. LE BIOGAZ, 2016.

- [22] A Bac, F Boutin, et al. Méthanisation de déchets issus de l'élevage, de l'agriculture et de l'agroalimentaire. INRS, 2013
- [23] Charlotte *Rigaud*. Le journal des énergies renouvelables. Biogaz : ce qu'il faut savoir, 2007
- [24] MATGORZATA *Meres*. Analyse de la composition du biogaz en vue de l'optimisation de sa production et de son exploitation dans des centres de stockage des déchets ménagers. Sciences de l'environnement. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne; Université Jagiellone Cracovie, 2005.
- [25] EPA, U.S. methane emission 1999 – 2000: inventories, projections, and opportunities for reductions, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, 1999, pp. (2-1)-(2-16).
- [26] G.J. *Farquhar*, F.A. *Rovers*. Gas production during refuse decomposition, Water, Air and Soil Pollution, 1973, n° 2, pp. 483-495.
- [27] IGOUD Sadek. Bulletin des énergies renouvelables Le biogaz : une solution énergétique viable. Décembre 2012
- [28] CRESSON Romain. BIOTECHNOLOGIES POUR LE TRAITEMENT DE L'EAU ET DES DECHETS6- Narbonne, 10 juin 2011.
- [29] Document, 'L'eau en Région Méditerranéenne', Plan Bleu, 1996.
- [30] Centre d'information sur l'eau. Qu'est-ce que les eaux usées ?. Disponible sur : <https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/quest-ce-que-les-eaux-usees>
- [31] SIAPARTNERS. Disponible sur : <https://www.sia-partners.com/fr/actualites-et-publications/de-nos-experts/pourquoi-et-comment-recuperer-lenergie-des-eaux-usees>
- [32] BOUSQUET Cécile et al. Turbinage des eaux usées, quel potentiel pour la Suisse ? Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH) en collaboration avec le bureau e-dric.ch, 2015.
- [33] AQUIRIS. La station d'épuration de Bruxelles-Nord. Disponible sur : <https://www.aquiris.be/fr/la-station-depuration-de-bruxelles-nord>

- [34] Fiche réalisée dans le cadre du groupe de travail «Filière et Energie», d'Inaporc. Les techniques de récupération d'énergie : Les pompes à chaleur, 2007
- [35] Radio Algérienne. L'irrigation agricole : le nombre des stations d'épuration augmentera à 29 en 2021. Disponible sur :  
<https://www.radioalgerie.dz/news/fr/article/20210322/208940.html>
- [36] Observatoire de l'eau en Saône-et-Loire. Assainissement Collectif : Les chiffres clés 2017 en saône-et-loire, 2018.
- [37] Françoise *Ketep*. Thèse de doctorat. Piles à combustible microbiennes pour la production d'électricité couplée au traitement des eaux de l'industrie papetière, 2012
- [38] M. Bennouna ET S. Kehal. Production de Méthane à Partir des Boues des Stations d'Épuration des Eaux Usées : Potentiel Existant en Algérie. In Production et Valorisation – Biomasse, Centre de Développement des Energies Renouvelables, Bouzaréah, Alger. 2001
- [39] IGOUD Sadek. L'eau, l'énergie et l'environnement (Partie 1) Division: Epuration et valorisation des eaux de rejet, 2015.
- [40] ZEMMOURI *Hassiba*. Recherche et Développement : De l'eau usée vers le biogaz, 2001
- [41] BOUKERROUCHA Aicha Amina. Mémoire de magister. Modélisation des stations d'épuration a boues actives : Cas de la station de Baraki (Alger), 2011.
- [42] SEOR. Stations D'épuration : Step el-Karma et step Cap falcon. Disponible sur :  
<https://www.seor.dz/metiers-de-leau/assainissement/stations-depuration/>
- [43] CEREMA. Développer l'offre de chaleur issue de la méthanisation : Barrières et leviers pour une meilleure valorisation, 2018.
- [44] ADEME. Guide pratique. Chaleur issue de la méthanisation, de réelles opportunités, 2016
- [45] Couturier, C., 2009, Techniques de production d'électricité à partir de biogaz et de gaz de synthèse. Record/ Solagro
- [46] Sylvain *Baudoin*. Thèse de doctorat. Étude d'un système hybride pile à combustible / micro turbine dans un contexte micro réseau rural isolé, 2015.

- [47] La rédaction : Veolia Eau s'étend toujours plus à l'Est. Disponible sur : <https://www.environnement-magazine.fr/eau/article/2010/12/01/15651/veolia-eau-etend-toujours-plus-est>
- [48] S. DE BATZ, H. VAN DEN BOSSCHE La production d'énergie renouvelable par les systèmes d'épuration, quelques exemples
- [49] HESSE G. « Allemagne : l'enjeu énergétique de la cogénération ». L'Observatoire de l'Environnement, 1995, pp 3 à 5.
- [50] K. *Derbal*, 'Digestion Anaérobie des Déchets Solides Mélanges avec les Boues de Station d'Épuration', Thèse de Doctorat, Université Mentouri, Constantine.
- [51]. MATGORZATA *Meres*. Analyse de la composition du biogaz en vue de l'optimisation de sa production et de son exploitation dans des centres de stockage des déchets ménagers, Septembre 2005.
- [52] Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, Méthanisation des boues de stations : Règle de l'art et état des lieux sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse Décembre 2014
- [53] Mathilde Mary. Retour d'expérience sur la valorisation du biogaz Contraintes techniques et réglementaires Montpellier, Janvier 2013.
- [54]. C. *Bliefert* et J.R. *Perraud*. 'Chimie de l'Environnement, Air, Eau, Sols, Déchets', De Boeck & Larcier S.A., 2001.
- [55] Document, 'Projet Office National de l'Assainissement – Fiche de Synthèse du Secteur de l'Assainissement', Ministère des Ressources en Eau, Alger, février 2001.
- [56]. L'institut national de recherche et de sécurité ; Station d'épuration des eaux usées prévention des risques biologiques Avril 2013
- [57]. *Alexandre, O. Boutin, C. Duchène, Ph. Lagrange. C. Lakel, A. Liénard, A. and Orditz, D.*, 1998 Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités. Technique et documentation Lavoisier (FNDAE N22), Paris, France.
- [58] *Direction de Ressources En Eau*. Wilaya de Tissemsilt. STEP de la ville de Tissemsilt (Wilaya de Tissemsilt) : Exploitation, 2013.

- [59] BAKIRI *Zahir*. THEME: Traitement des eaux usées par des procédés biologiques classiques : expérimentation et modélisation, 2007.
- [60] l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture. Les eaux usées une ressource inexploitée, 2017.
- [61] Actes du Colloque International de Technologie, Lomé (Togo), 14-20 janvier 1980.
- [62] RAKOTONDRAMARIANA *Hery Tiana*. Etude théorique du séchage thermique et de la digestion anaérobie des boues des stations d'épuration – Mise au point des dispositifs pilotes de laboratoire pour la caractérisation expérimentale liée au séchage et à la méthanisation des boues. Génie des procédés. Université d'Antananarivo, 2004.
- [63] *Direction de ressources en eau*. Wilaya de Tissemsilt. Station de traitement des eaux usées (wilaya de Tissemsilt) procédé d'épuration biologique, 2013
- [64] *Direction De Ressources En Eau*, Wilaya De Tissemsilt, STEP de la ville de Tissemsilt (WILAYA DE TISSEMSILT) Calcul procès et dimensionnement, 2013.
- [67] Centre d'information sur l'eau. Tout savoir sur les boues d'épuration. Disponible sur : <https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/tout-savoir-boues-epuration/>
- [65] BARHOUM *ELBEKRI*. Étude du potentiel biométhane des eaux usées de la ville d'Adrar. Projet de fin d'étude. Énergies renouvelables. Option : habitat bioclimatique. Université Saad Dahlab, Blida-1- faculté de technologie département des énergies renouvelables 2020
- [66] BELAID *Nebil*. Thèse de doctorat : Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax : salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques. Université de Sfax. Faculté des sciences, 2010.
- [67] SEVRIN-REYSSAC *Josette*, PROULX *Daniel*. Les eaux usées, source de biomasse. In Biofutur, Pages 15-23, March 1995.
- [68] BELKHIRI Farida, Microbiologie. Cours. 2019/2020
- [69] BONNIER Sophie. Etat de la valorisation du biogaz sur site de Station d'épuration en France et en Europe. Synthèse technique. Février 2008

- [70] RODIER *Jeane et al.* L'analyse de l'eau. Technique Et Ingénierie. 2009
- [71] ZONGO Inoussa et al, Bilan des eaux usées de la ville de Ouagadougou : capacité Auto-Epuratoire en vue de la production de biogaz, 2012, 13 (2), pp. 153 – 167. 2012.
- [72] Wauthelet, M.: Traitement anaérobie des boues et valorisation du biogaz, Faculté des Sciences Agronomique de Gembloux, Belgique.
- [73] Moletta, R.: Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires, Collection Sciences et Techniques Agroalimentaires, Paris, 2002.
- [74] Jiayuan *Ji et al*, Important effects of temperature on treating real municipal wastewater by a submerged anaerobic membrane bioreactor: removal efficiency, biogas, and microbial community. *Bio-resource Technology*, 2020.
- [75] *Barrag'an-Escandon et al*, Assessment of Power Generation Using Biogas from Landfills in an Equatorial Tropical Context, 2020.
- [76] *Pierre* HERPIN. Vincent DUBOIS, valorisation de la station d'épuration en biogaz, dans le cadre du BEIERE 2004-2005.
- [77] S. Igoud, F. Souahi, and C.-E. Chitour. Energy, Transportation and Global Warming pp 685-693, Chapitre 50: Sustainable Management of Sewage Sludge Conditioning and Valorization, 2015.

## ANNEXES

### **Annexe 01 :**

#### **Présentation de la station d'épuration de la ville de Tissemsilt [64] :**

<b>Nom de la station</b>	<b>Nord Tissemsilt</b>
Commune de	Tissemsilt
Milieu récepteur	Oued Boukaala vers Barrage Bougarra
Date de mise en service	2013
Date de transfert de la station l'ONA	03/01/2016
Capacité de la station	150000 EQ/H - 27000 m3/j
Type de dispositif d'assainissement de la ville	Unitaire
Système d'épuration	Procédé biologique dit boues activées à faible charge
Alimentation en eaux usée	Gravité et pompage

### **Annexe 02 :**

#### **Description détaillée des différents organes de la station d'épuration de Tissemsilt [78]:**

**Prétraitement :** Conformé par:

### **Entrée et by-pass :**

- Vanne motorisé isolement STEP ;
- Puits d'entrée et fosse à bâtard ;
- Vanne murale d'isolement de la STEP 1000 x 1000mm ;
- Cuillère Bivalve 100 litres.



*Figure3.2* : Cuillère Bivalve au niveau de STEP de Tissemsilt.

### **Dégrillage grossiers :**

- 2 canaux de traitement des eaux ;
- 2 unités dégrillage grossier 40mm ;
- Détecteurs ultrasoniques niveaux ;
- Bande transporteuse pour ramassage solides ;
- Arrêt d'urgence pour arrêt immédiat.

### **Pompage de relevage :**

- 3 + 3 + 1 Pompes centrifuges submersible ;  
Q = 562.50m<sup>3</sup>/h H = 18.50 m ;
- Contrôle des pompes printer rupteurs de niveau ou par sonde ultrasonique ;
- Contrôle des coupes ariette avec soupapes ;
- Contrôle des pressions fluides avec des manomètres ;
- Entretien des équipements avec pont roulante.



*Figure3.3* : Pompes centrifuges au niveau de STEP de Tissemsilt

**Dégrillage fin :**

- 2 unités placées en deux canaux de prétraitement ;
- Grille Automatique pas de 6 mm ;
- Niveaux en amont et en aval.

**Dégrillage BY-PASS**

- 1 unité placée au canal by-pass ;
- Grille Manuelle avec pas de 20 mm ;
- Angle d'installation 60°.

**Dessableur et dégraisseur :**

- Numéro dessableurs: 2 unités ;
- Longitude totale: 14.60 m ;
- Largueur totale: 4.00 m ;
- Largueur zone huiles: 1.50 m ;
- Surface totale: 58.40 m<sup>2</sup> ;
- Charge hydraulique: 28.90 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*h ;
- Pompes Submersible Sables:1+1 unités ;
- Aération : 3+3 Aeroflot ;
- Puissance aération:37.71 W/m<sup>3</sup>.

## **Traitement secondaire : Répartition et Réacteur Biologique**

### **Bassin d'aération :**

- Type : Boues activés ;
- Longueur : 60,0 m ;
- Largeur: 20,0 m ;
- Rayon: 5,0 m ;
- Hauteur utile: 4,0 m ;
- Volume utile unitaire: 19.200 m<sup>3</sup> ;
- Charge Massique: 0,094 kg DBO5/Kg SS/jour ;
- Charge Volumique: 0,33 kg DBO5/m<sup>3</sup>/jour ;
- SSLM: 4000 mg/l ;
- Ages des boues : 13,14 jours ;
- Épuration avec boues activées à faible charge ;
- Aération prolongé : Boues digérés.

### **Agitateur Dénitrification :**

- Longueur : 17,0 m ;
- Largeur:20,0 m ;
- Rayon:5,0 m ;
- Hauteur utile: 4,0 m ;
- Volume utile unitaire: 5.44m<sup>3</sup>.

### **Aération du réacteur biologique :**

- Numéro de turbines:3 / chaque réacteur ;
- Oxygène maximale : 1332.25 kg O<sub>2</sub>/h ;
- Oxygène minimale: 872.44 kg O<sub>2</sub>/h ;
- Besoins puissance max:67.29 kW ;
- Besoins puissance min:44.06 kW ;
- Ratio aération:40.6 W/m<sup>3</sup>.

### **Recirculation interne**

- Numéro de tuyauteries:1/ch. Réacteur ;
- Débit maximale total: 2013,75 m<sup>3</sup>/h ;
- Pourcentage de recirculation:1.79.

### **Décantion**

- N° de Décanteur:2 unités ;
- Diamètre:44 m ;
- Charge hydraulique Q moyen:0,38 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h ;
- Charge hydraulique Q maximum:1,11 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h ;
- Charge solides Q moyen:1,29 kg/m<sup>2</sup>/h ;
- Charge solides Q maximum:3,88 kg/m<sup>2</sup>/h ;
- Concentration Boues Sédimentés:8 kg/m<sup>3</sup>.

### **Recirculation externe**

- Numéro de tuyauteries:2 unités ;
- Débit minimale:1075,61 m<sup>3</sup>/h ;
- Pourcentage de recirculation:72% ;
- Débit maximale:1968,75 m<sup>3</sup>/h ;
- Pourcentage de recirculation:175%.

### **Traitement tertiaire :**

#### **Canal chloration**

- Hauteur utile:2,8 m ;
- Hauteur totale:3,5 m ;
- Largeur:8 m ;
- Longueur:25 m ;
- Temps séjour Q moyen : 29,87 min ;
- Temps séjour Q maximale : 9,96 min.

#### **Dosage d'eau de javel.**

- Tank Stockage NaClO (liquide): 30.000 l;

- Tank Stockage NaClO (solide):2.000+2.000l;
- 2 pompes doseuses (1+1):225,0 l/h ;
- Q unitaire pompe : 45,0 l/h.

### **Ligne de boue :**

#### **Refolement des boues**

- Refoulement boues sédimentés procédant du décanteur vers le réacteur (8Kg/m<sup>3</sup>)
- 3 pompes centrifuges submersibles (2 +1).
- Q = 565 m<sup>3</sup>/h H = 10.0 m c e

#### **Purge de boues**

- Purge de boues sédimentés en excès procédant du décanteur vers l'épaississeur (8Kg/m<sup>3</sup>)
- 2 pompes centrifuges submersibles (1 +1).
- Q = 55.3 m<sup>3</sup>/h H = 6.50 m c e

#### **Epaississement de boues :**

L'épaississement consiste à augmenter le contenu de solides des boues grâce à l'élimination d'une partie de la fraction liquide.

Épaississeur de traction centrale

- 2 Unité ;
- Diamètre:13 m ;
- Charge hydraulique:0,45 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h,
- Concentration de boues épaisses: 2-3%,
- Fonctionnement en continu 24/24 heures (automatique et manuel).

#### **Déshydratation**

Les boues épaisses à l'épaississeur sont pompées au filtre à bande pour la déshydratation.

- Deux pompes hélicoïdales (1+1) ;
- Q unitaire : 6-25 m<sup>3</sup>/h ;
- Hauteur manométrique:20 m ;

- Mesure du débit par un débitmètre électromagnétique.

Un Filtre bande

- Q unitaire : 6-25 m<sup>3</sup>/h
- Une bande transporteuse
- Diamètre : 270 mm

Deux pompes doseuses polymère (1+1)

- Q unitaire : 0.5-1.5 m<sup>3</sup>/h
- Un équipement de préparation de polymère automatique
- Q unitaire : 2000 l/h

### **Annexe 03 :**

**Les méthodes d'analyses les paramètres physico-chimiques :**

#### **1. Mesure de DBO<sub>5</sub> :**

- Pour la réalisation de cette analyse on a consulté la normative européenne, ainsi comme les normes ISO et l'Standard Method.
- La méthode est applicable à toutes les eaux avec un DBO supérieur ou égal à 1mg d'oxygène par litre et non supérieur à 1.000 mg d'oxygène par litre.
- Normative qu'on a suivi : **NF EN 1899-1 (Mai 1998)**

**Indice de classement : T90-103-1**

**ICS 13.060.01**

- **Principe :** La mesure de la DBO<sub>5</sub> se base en la mesure de la pression dans un système fermé où les microorganismes consomment l'oxygène dans l'échantillon et de génèrent des émissions de CO<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> est absorbé avec NaOH et une pression négative est créée et mesurée directement à DBO<sub>5</sub> (mg/l).

Avec des employés volumes d'échantillon on régule la quantité d'oxygène disponible qui peut effectuer une détermination complète différentes concentrations et avec de différents volumes initiaux.

- **Matériaux et réactifs:**

- Equipe DBO systèmes :
  - ✓ Têtes mesureurs (DBO senseurs)
  - ✓ Ampoules de mesures marron
  - ✓ Pince
  - ✓ Carasse de gomme pour les goulots des ampoules
  - ✓ Lentilles de NaOH
  - ✓ Armoire thermostatique de température constante à 20C°
  - ✓ Inhibiteur de la nitrification
- Récipients et pipette
- Eau distillé
- Tablette de calibration pour les contrôles des systèmes OXITOP : D(+) glucose  $C_6H_{12}O_6$  et acide L-glutamique  $C_5H_9NO_4$ .
- **Calculs et résultats** : Cette méthode n'a pas besoin de calcule, parce que le résultat est donné de forme directe



**Les échantillons d'effluent** : photos prises au niveau de laboratoire de station de Tissemsilt

2. **Mesure de DCO** : Pour la réalisation de cette analyse on a consulté la normative européenne, ainsi comme les normes ISO et l'Standard Methods.

La méthode à utiliser suivi la norme européenne :

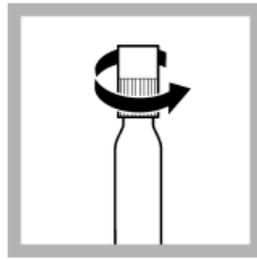
**DIN 38409-H41 ISO6060-1989**

- **Le principe** : Le teste consiste en une oxydation chimique de la matière organique par un oxydant fort (acide) et température élevé et par le dichromate de potasse. Les substances oxydables réagissent avec une solution d'acide sulfurique et de bichromate de potassium en présence de sulfate d'argent en tant que catalyseur. La présence de chlorure est masquée avec le sulfate de mercure. On mesure la diminution de la coloration jaune du  $C^{6+}$ .
- Le résultat obtenu peut être considéré une mesure de demande théorique d'oxygène, voilà donc les unités utilisées pour exprimer les résultats, mg O<sub>2</sub>/L (ppm O<sub>2</sub>). L'oxydation de la matière organique sera plus ou moins complète selon l'origine de l'échantillon.
- **Matériaux/réactifs/Equipements** :
  - kits mesure DCO (exemple) : LCK 314 15-150 ppm/LCK 114 150-1000 ppm
  - Eaux distillé (nettoyage ou dissolution)
  - Digesteur DRB 200
  - Spectrophotomètre DR 3900
  - Gardette support
  - pipette graduée 2ml
  - Aspirateur pipettes 2ml
- **Application** : Eaux résiduelles urbaines avec concentrations de chlorures pas supérieures à 1500mg/l

3. **N-NO<sub>2</sub>** :Procédure :



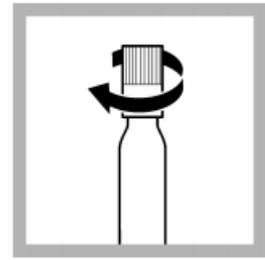
1. Enlevez délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip détachable.



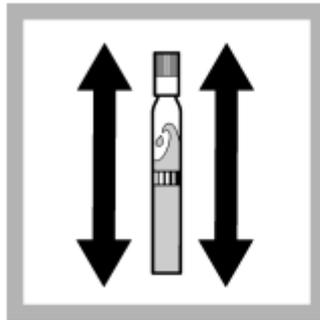
2. Dévissez le DosiCap Zip.



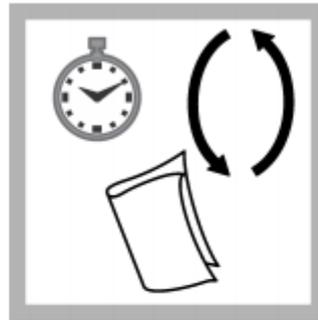
3. Pipetter soigneusement 0.2 mL d'échantillon.



4. Vissez **immédiatement** le DosiCap Zip **en dirigeant les cannelures vers le haut**.



5. Secouer **énergiquement** jusqu'à ce que le lyophilisat se soit **complètement dissous**.



6. Après **10 minutes**, retourner de nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.



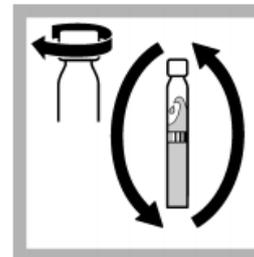
7. Insérer la cuve dans le compartiment pour cuves. DR 1900: Accéder à méthodes LCK/TNTplus. Sélectionner le test, appuyer sur **MESURER**.



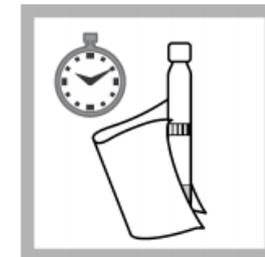
1. Pipetter soigneusement 0.2 mL d'échantillon.



2. Pipetter soigneusement 1.0 mL de la solution A.

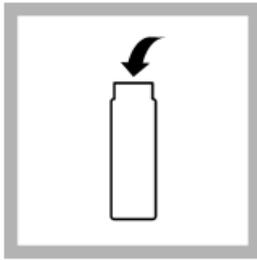


3. Fermer la cuve retourner plusieurs fois jusqu'à ce que le **mélange soit complet**.



4. Après **15 minutes**, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.

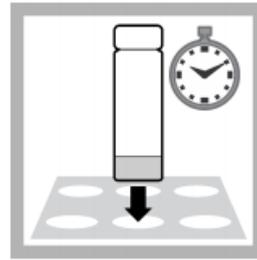
4. **NT**: Procédure :



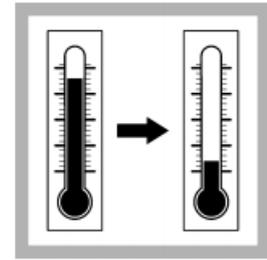
1. Doser à la suite, consécutivement dans une éprouvette de réaction sèche: 0.5 mL d'échantillon, 2.0 mL de solution A, 1 tablette B.



2. Fermer l'éprouvette de réaction immédiatement. Ne pas retourner.



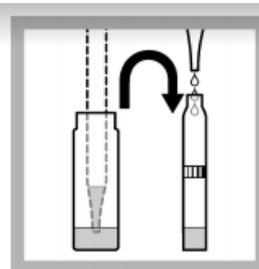
3. Chauffer immédiatement.  
HT 200 S: 15 minutes avec le programme standard HT.  
Thermostat: pour 30 minutes à 120 °C (248 °F).



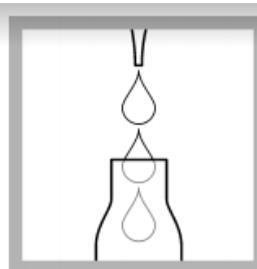
4. Laisser refroidir à température ambiante.



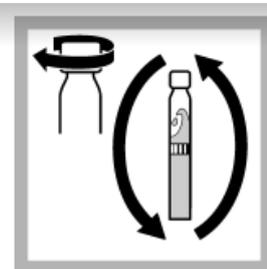
5. Retourner plusieurs fois.



6. Pipetter lentement dans le Test en Cuve: 0.5 mL d'échantillon désagrégé.



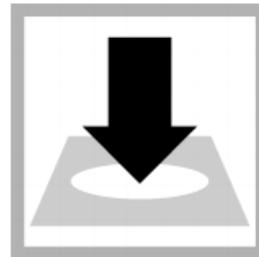
7. Pipetter lentement 0.2 mL de solution D.



8. Fermer immédiatement la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite jusqu'à qu'aucun dépôt ou agrégat ne soit observable.



9. Après 15 minutes, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.



10. Insérer la cuve dans le compartiment pour cuves.  
DR 1900: Accéder à méthodes LCK/TNTplus.  
Sélectionner le test, appuyer sur **MESURER**

5. **Conductivité** : par le Conductimètre
6. **Température et pH** : par le pH mètre
7. **Déterminer de matières sèches dans les boues (MS%)** : On détermine le pourcentage (%) de siccité dans les boues (épaisseur, filtre bande et lit de séchage) pour pouvoir contrôler les Kg de matières que on extraite de la Station.

- 8. Détermination de matières volatiles sèches dans les boues (MVS%) :** On détermine le pourcentage de matière volatile (%) dans les boues (épaisseur) pour pouvoir contrôler le pourcentage de possible biomasse active existant dans la déshydratation mécanique

**Annexe 04 :**

**Analyse mensuelle des paramètres physico-chimiques des eaux usées et du rapport (R) DCO/DBO5 :**

Paramètres	Année 2020											
	Jan	Févr.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
<b>DCO</b>	685,58	439	534,77	1340,83	544,75	655,83	241,45	758,58	389,15	398	371,5	311
<b>DBO5</b>	363	157	227	570	261,9	494,8	497,45	465,45	178,3	180	203	139
<b>R</b>	1,9	2,8	2,4	2,4	2,1	1,3	0,5	1,6	2,2	2,2	1,8	2,2

**Annexe 05 :**

**Les résultats des paramètres physico-chimiques des boues du STEP de Tissemsilt (année 2020) :**

MOIS	MVS des boues produites (%)	Siccité moyenne (%)	MS Poids en matière sèches (kg)
<b>Janvier</b>	42	25,3	30 384
<b>Février</b>	64,27	23,9	20 076
<b>Mars</b>	66,43	32,1	34 668
<b>Avril</b>	58,77	48,35	14 505

<b>Mai</b>	54,53	27,25	85 440
<b>Juin</b>	62,8	35,6	21 360
<b>Juillet</b>	61	40,2	38 582
<b>Août</b>	60	38,1	22 860
<b>Septembre</b>	58,81	35,8	18 616
<b>Octobre</b>	54,91	31,4	18 840
<b>Novembre</b>	56,5	34,2	41 040
<b>Décembre</b>	54,67	36,2	34 752

**Annexe 06 :**

*Tableau 4. : La quantité de boues produites par le STEP de Tissemsilt en Kg :*

<b>Mois</b>	<b>2020</b>
<b>janvier</b>	117000
<b>février</b>	18000
<b>mars</b>	58500
<b>avril</b>	183600
<b>mai</b>	17100
<b>juin</b>	85500
<b>juillet</b>	99000
<b>août</b>	36000
<b>septembre</b>	10800
<b>octobre</b>	36000
<b>novembre</b>	139500
<b>décembre</b>	15300
<b>Production annuelle</b>	816300

