



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de SAAD DAHLAB -BLIDA 01-



Faculté de Technologie
Département des Energies Renouvelables

Mémoire du Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master 2

Option : Conversion thermique

Thème

**Etude de la faisabilité d'une unité de
méthanisation dans la station d'épuration
des eaux usées de la wilaya d'AIN DEFLA**

Proposé par : F/Z Ferradji

Présenté par : Bedrani sarah

Soutenu le : 09 /07/2023, devant le jury composé de :

Monsieur D.Lafri	USDB1	MCB	Président
Madame N.khelalfa	USDB1	MCB	Examineur
Monsieur Kaci	USDB1	MCB	Examineur
Madame Fz. Ferradji	USDB1	MCB	Promotrice

Année universitaire 2022-2023

Résumé

ملخص :

من بين مصادر الطاقة المتجددة المختلفة المستخدمة اليوم، تأتي الكتلة الحيوية في شكل منتجات صلبة أو سائلة، مما يوفر بديلاً للوقود الأحفوري. الخيار الواعد هو استغلال الطاقة الموجودة في حمأة محطات معالجة مياه الصرف الصحي، والتي تتكون أساساً من مواد عضوية قابلة للتخمير. يركز هذا المشروع على تجربة الهضم اللاهوائي الحمأة لمحطة المعالجة في ولاية عين الدفلى. تم قياس أحجام الغاز الحيوي المنتج تجريبياً ومقارنتها بالأحجام المحسوبة باستخدام نموذجين رياضيين منفصلين. الهدف هو تحديد ما إذا كان إنتاج الغاز الحيوي يمكن أن يغطي احتياجات الطاقة للمحطة. كشفت نتائجنا عن اختلافات كبيرة بين الأحجام المقاسة والمحسوبة.

الكلمات المفتاحية: الحمأة - الهضم اللاهوائي - الغاز الحيوي - الطاقة المتجددة- محطات معالجة مياه الصرف الصحي

Résumé :

Parmi les diverses sources d'énergie renouvelable utilisées aujourd'hui, la biomasse se présente sous forme de produits solides ou liquides, offrant une alternative aux combustibles fossiles. Une option prometteuse consiste à exploiter l'énergie contenue dans les boues des stations d'épuration des eaux usées, principalement composées de matières organiques fermentescibles.

Ce projet se concentre sur l'expérimentation de la méthanisation des boues de la station d'épuration de la wilaya d'Ain defla . Les volumes de biogaz produits ont été mesurés de manière expérimentale et comparés aux volumes calculés à l'aide de deux modèles mathématiques distincts. L'objectif est de déterminer si la production de biogaz pouvait couvrir les besoins énergétiques de la station. Nos résultats ont mis en lumière des écarts significatifs entre les volumes mesurés et les volumes calculés.

Mots clefs : Boues- Méthanisation- Biogaz- Valorisation – Energie renouvelable. Stations d'épuration des eaux usées.

Résumé

Abstract :

Among the various renewable energy sources in use today, biomass comes in solid or liquid form, offering an alternative to fossil fuels. One promising option is to harness the energy contained in the sludge from wastewater treatment plants, which consists mainly of fermentable organic matter.

This project focuses on experimenting with the methanization of sludge from the Ain defla wilaya wastewater treatment plant. The volumes of biogas produced were measured experimentally and compared with volumes calculated using two separate mathematical models. The aim was to determine whether biogas production could cover the plant's energy needs. Our results revealed significant discrepancies between measured and calculated volumes.

Keywords

Sludge - Methanization - Biogas - Renewable energy- wastewater treatment plant

Remerciements

Remerciements

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 remercie également toutes L'ensemble du personnel de la maintenance de la station d'épuration de la wilaya de

pour leur aide et leur assistance dans l'élaboration du travail

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.

Je souhaite remercier également, Madame N.khelalfa et Monsieur Kaci pour avoir accepté de participer au jury et Monsieur.Lafri qui a accepté de les présider

Dédicace

Dédicace

Avant tout, je remercie *DIEU* de m'avoir donné le courage et la Patience, pour accomplir ce travail

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes tantes et mes chers cousines Nesrine, Imene et Hayete pour leur amour, leurs encouragements permanents, et leur soutien moral

A ma chère amie Malia.B pour sa sincère amitié et pour avoir toujours été présente à mes côtés.

A mes frères Aimen, Abde allah et Hateme

A mes amies et mes camarades

A toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail.

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

Merci à vous tous

Sommaire

Sommaire

	pages
Résumé	
Remerciements	
Dédicaces	
Sommaire	
Listes des figures	
Liste des tableaux	
Abréviations	
Liste des équations	
Introduction générale	1
Chapitre 1 : Synthèse bibliographique	5
1.1. Introduction	5
1.2. Station d'épuration des eaux usées	5
1.2.1. Définition	5
1.2.2. Etapes de traitements des eaux usées	5
1.3. Boues	8
1.3.1. Type des boues	9
1.3.2. Valorisation des boues	10
1.4. Méthanisation ou la digestion anaérobie	12
1.4.1. Etapes de la méthanisation	13
1.4.2. Paramètres de la digestion anaérobie	15
1.4.3. Différents systèmes des digesteurs	17
1.5. Biogaz	18
1.5.1. Les différents modes de valorisation du biogaz	19

Sommaire

1.6. Etat de l'art	20
1.7. Conclusion	23
2. Chapitre 2 : Méthodes et matériels	25
2.1. Introduction	26
2.2. Présentation de la station d'épuration de la wilaya d'AIN DEFLA	26
2.3. Paramètres et méthodes d'analyse des eaux usées	27
2.4. Les caractéristiques des boues	29
2.5. Production de biogaz et simulation de la production d'énergie (thermique et électrique)	30
2.5.1. Production de biogaz	30
2.5.2. production de méthane et d'énergie (thermique et électrique)	31
2.6. Conclusion	34
3. Chapitre 3 : Résultats et discussions	35
3.1. Introduction	36
3.2. Paramètres et méthodes d'analyse des eaux usées	36
3.3. Paramètres physico-chimiques des boues	42
3.4. Production de biogaz et simulation de la production d'énergie (thermique et électrique)	43
3.4.1. Production de biogaz	43
3.4.2. production de méthane et d'énergie (thermique et électrique)	52
4. Conclusion générale et perspectives	58
5. Références	61
6. Annexes	67

Liste des figures

Liste de figures

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

Figure N° 1.1: schéma général de traitement des eaux usées	6
Figure N°1.2 : Etapes de traitements des eaux usées	8
Figure N°1.3: Obtention des boues primaires au niveau du décanteur	9
Figure N°1.4 : Obtention des boues biologiques au niveau de la station d'épuration	10
Figure N° 1.5: les étapes de la méthanisation (dégradation anaérobie des matières organiques)	15
Figure N°1.6 : le fonctionnement d'un digesteur	17
Figure N° 1.7: mode de valorisation de biogaz	19

Chapitre 2 : Méthodes et matériels

Figure N°2.1: Schéma synoptique de la STEP de AIN DEFLA.	27
Figure N°2.2 : broyage des boues	32
Figure N°2.3 : boues séchées	32
Figure N°2.4 : boues activée	32
Figure N°2.5 : présentation expérimental d'un digesteur : (a): digesteur avant la méthanisation (b): digesteur après la méthanisation	33

Chapitre 3 : Résultats et discussions

Figure N°3.1: Variation des nutriments en fonction des années variation des eaux usées brutes et traitées de STEP de W. AIN DEFLA.	38
Figure N°3.2: Résultats d'analyse MES, DCO, DBO5, Température, Conductivité et salinité et la teneur en oxygène dissous des eaux usées brutes et traitées de STEP de W. AIN DEFLA.	40

Liste des figures

Figure N°3.3: Variation V CH ₄ produit en fonction des mois selon le Modèle mathématique I.	44
Figure N°3.4: Variation d'énergie de CH ₄ produite en fonction des mois selon le Modèle mathématique I.	45
Figure N°3.5: Analyse comparative de la production moyenne d'énergie et de la quantité de boues générées sur une période de 3 ans selon le modèle I	46
Figure N°3.6: variation de V CH ₄ produit en fonction des mois selon le modèle II	47
Figure N°3.7: Variation d'énergie de CH ₄ produite en fonction des mois selon le Modèle mathématique II.	48
Figure N°3.8: Analyse comparative de la production moyenne d'énergie et de la quantité de boues générées sur une période de 3 ans selon le modèle II	49
Figure N°3.9: Variation de VCH ₄ produit en fonction des mois selon les deux modèles.	50
Figure N°3.10 : Moyenne d'énergie produite dans les 3 années selon les deux modelés I et II.	51
Figure N°3.11 : méthode de calcul de volume de biogaz produit	52
Figure N°3.12 : Teste l'inflammabilité de biogaz.	53

Annexes

Figure N°6.1: Appareille de mesure de DBO ₅ [50]	68
Figure N°6.2: facture de consommation électrique de la step de la wilaya d'AIN DEFLA pour le mois de mars 2023	73

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

Tableau N°1.1 : Composition en espèces majeures des biogaz issus d'ISDND, de STEP et d'installations agricoles	18
--	----

Chapitre 3 : Résultats et discussions

Tableau N°3.1 : Paramètres physico-chimiques d'analyse des eaux usées	37
---	----

Tableau N°3.2 : Les résultats des paramètres physico-chimiques des boues du STEP de W. AIN DEFLA.	42
---	----

Tableau N°3.3 : Les résultats des mesures des paramètres physico-chimiques des boues utilisées lors de l'expérience	55
---	----

Tableau N°3.4 : Etude comparative entre l'E _{Théorique} , l'E _{Expérimentale} et l'E _{Réel}	57
--	----

Annexes

Tableau N°6.1 : paramètres physiques des boues sèches de ka step d'AIN DEFLA	71
--	----

Abréviations

Abréviations

Abréviation	Définition	Unité
ANN	réseau neuronal artificiel	
AGV	Acide gras volatile	
C	Carbone	
CH ₄	Méthane	
C ₂ H ₄ O ₂	Acide acétique	
CO ₂	Dioxyde de carbone	
DBO5	Demande Biologique en Oxygène à 5 jours	mg/l
DCO	Demande chimique en Oxygène	mg/l
E	Energie	KWh
EE	Energie électrique	KWh
Eq/Hab.	Equivalent Habitant	
ET	Energie thermique	KWh
FeCl ₃	Le chlorure de fer	
GNV	gaz naturel pour véhicule	
H ₂	Hydrogène	
H ₂ S	sulfure d'hydrogène	
H ₂ O	Eau	
ISDND	installations de stockage de déchets non dangereux	
J	Jour	
MES	Matières en Suspension	g/l
MO	Matières organiques	Tonne
MS	Matières sèches	g/l
N	Azote	

Abréviations

NH ₃	Ammoniac	
NH ₄ ⁺	Ammonium	mg/l
NO ₃ ⁻	Nitrates	mg/l
NTk	Azote total de Kjeldahl	mg/l
O ₂	Oxygène	
OMS	Organisation Mondial de Santé	
P	Phosphore	
PCI	Pouvoir calorifique inferieure	KWh
pH	Le potentiel hydrogène	
PO ₄ ³⁻	Phosphate	mg/l
PT	phosphore total	mg/l
Step	Station d'épuration des eaux usées	
T	Température	°C
V	Volume	m ³
η _e	Rendement électrique	%
η _T	Rendement thermique	%

Liste des équations

Liste des équations

Chapitr2 : Méthodes et matériels

EqN°2.1 : $F_0 = 0,6 * MS$	30
EqN°2.2 : $F_{gaz} = 138 * (T_0)^{0,5} F_0$	30
EqN°2.3 : $V_{CH_4} = 0,65 * V_{biogaz} = 0,65 * F_{gaz}$	30
EqN°2.4 : $PCI_{biogaz} = PCI_{CH_4} * \% V_{CH_4}$	30
EqN°2.5 : $PCI_{biogaz} = PCI_{CH_4} * 0,65 = 6,46 \text{ kWh/m}^3$	31
EqN°2.6 : $E_{biogaz} = PCI_{biogaz} * Volume_{biogaz} = PCI_{biogaz} * F_{gaz}$ $PCI_{biogaz} * Volume_{biogaz} = PCI_{biogaz} * F_{gaz}$	31
EqN°2.7 : $E_{CH_4} = PCI_{CH_4} * V_{CH_4}$	31
EqN°2.8 : $V_{CH_4} = X \text{ MO(Boues)} * 250 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / 1 \text{ Tonne MO}$	31
EqN°2.9 : $E_{CH_4} = PCI_{CH_4} * V_{CH_4} = PCI_{CH_4} * 0,65 * V_{biogaz}$	33

Chapitre 3 : Résultats et discussions

Eq N°3.1 : $EE = V_{CH_4} * PCI_{CH_4} * \eta_e$	57
Eq N°3.2 : $ET = V_{CH_4} * PCI_{CH_4} * \eta_T$	57
Eq N°3.3 : $E_{totale} = EE + ET$	57

Introduction générale

Introduction générale :

La gestion efficace des déchets organiques est devenue une préoccupation majeure dans le contexte actuel de développement durable et de transition énergétique. Parmi les déchets organiques produits, les boues issues des stations d'épuration des eaux usées représentent un défi spécifique en raison de leur composition complexe et de leur volume considérable. Cependant, ces boues offrent également un potentiel important en termes de valorisation énergétique et de réduction de l'empreinte environnementale [1].

Dans le cadre de ce mémoire de fin d'étude, nous nous concentrons sur la valorisation des boues de la station d'épuration de la wilaya d'AIN DEFLA. Cette station, située dans la région d'AIN DEFLA en Algérie, traite les eaux usées de la région et génère des quantités significatives de boues chaque année. La gestion efficace de ces boues est essentielle pour assurer la protection de l'environnement et la durabilité des ressources.

La méthanisation émerge comme une solution prometteuse pour la valorisation des boues de la STEP d'W. AIN DEFLA. La méthanisation est un processus biologique qui permet la dégradation contrôlée des matières organiques en absence d'oxygène, conduisant à la production de biogaz riche en méthane. Ce biogaz peut ensuite être utilisé comme source d'énergie renouvelable, tant pour la production de chaleur que d'électricité [1].

L'objectif de ce mémoire de fin d'étude est d'étudier et d'évaluer la valorisation des boues de la STEP par la méthanisation. Nous cherchons à analyser l'efficacité et la faisabilité de cette approche dans le contexte spécifique de la station d'épuration considérée, ainsi que ses impacts potentiels sur la gestion des déchets et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

La méthodologie de recherche comprendra une collecte de données sur la composition des boues de la station d'épuration de la W.AIN DEFLA, les paramètres de méthanisation, les performances énergétiques, ainsi que des études de cas et des analyses comparatives. Des outils d'évaluation seront utilisés pour estimer le potentiel de production de biogaz, évaluer l'efficacité du processus de méthanisation.

Introduction générale

Nous soulignons également l'importance de répondre aux besoins énergétiques internes de la station d'épuration. Les stations d'épuration nécessitent une quantité significative d'électricité pour alimenter les équipements et les systèmes de traitement, ainsi que de la chaleur pour divers processus. La valorisation du biogaz peut contribuer à la satisfaction de ces besoins énergétiques, en offrant une solution plus durable et économiquement viable.

Les résultats de cette étude spécifique à la station contribueront à une meilleure compréhension des avantages et des contraintes liés à la valorisation des boues par la méthanisation dans ce contexte précis. Ils serviront de base pour formuler des recommandations pratiques et des perspectives d'amélioration pour la mise en œuvre de cette approche dans d'autres stations d'épuration similaires.

En conclusion, la valorisation des boues de la STEP de W.AIN DEFLA par la méthanisation offre une opportunité prometteuse de réduire l'impact environnemental des déchets organiques tout en générant une source d'énergie renouvelable. Ce mémoire de fin d'étude se propose d'explorer cette approche innovante dans le contexte spécifique de la station et d'évaluer son efficacité, sa faisabilité et son potentiel de mise en œuvre à plus grande échelle.

Ce manuscrit de mémoire est organisé en trois chapitres :

Chapitre1 : Le premier chapitre de ce mémoire traite les stations d'épuration des eaux usées (STEP) et des méthodes de traitement des eaux usées. On y aborde également les différents types de boues générées dans le processus de traitement et les méthodes de valorisation de ces boues. Dans cette partie, nous explorons plus spécifiquement la méthanisation, qui est une méthode de valorisation des boues largement utilisée. Nous détaillons les étapes du processus de méthanisation, qui implique la conversion des matières organiques en biogaz. Nous examinons également les différentes méthodes de valorisation du biogaz, En complément nous effectuons une revue de l'état de l'art afin de mettre en évidence les avancées récentes les meilleures pratiques

Chapitre2 : Le deuxième chapitre de ce mémoire constitue ainsi une présentation complète de la station d'épuration, des analyses des boues et des eaux traitées, du

Introduction générale

protocole expérimental mis en place pour la méthanisation des boues et des modèles mathématiques utilisés pour évaluer les performances du processus.

Chapitre3 : Dans le chapitre "Résultats et Discussion", nous regroupons les différentes étapes et les équations utilisées pour estimer le volume du biogaz et l'énergie produite à partir des boues d'épuration. En tenant compte des besoins énergétiques de la station.

CHAPTER 1

Synthèse bibliographique

Chapitre1 Synthèse bibliographique

1.1. Introduction :

La méthanisation est considérée comme une forme d'énergie renouvelable en raison de son processus de production basé sur la dégradation des matières organiques, qui sont des ressources naturelles renouvelables. Elle utilise des déchets organiques tels que les boues des stations d'épuration, les résidus agricoles. L'utilisation de la méthode de la méthanisation des boues est devenue une approche populaire et efficace pour le traitement des boues issues des stations d'épuration des eaux usées. La méthanisation est un processus biologique naturel qui permet la dégradation des matières organiques présentes dans les boues, tout en produisant du biogaz riche en méthane. Cette approche offre de nombreux avantages, notamment la gestion durable des déchets, la production d'énergie renouvelable et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

1.2. STATION D'EPURATION DES EAUX USEE

1.2.1Définition :

Station d'épuration ou de traitement des eaux usées (ou eaux polluées) (STEP), c'est une installation destinée à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et les eaux pluviales avant le rejet dans le milieu naturel [1].

1.2.2Etapas de traitements des eaux usées:

La station d'assainissement des eaux usées est généralement constituée d'une série d'installations, chacune accomplissant une fonction déterminée dans le procédé. De façon générale, comme le montre le schéma général de traitement des eaux usées (Figure N° 1.1)

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

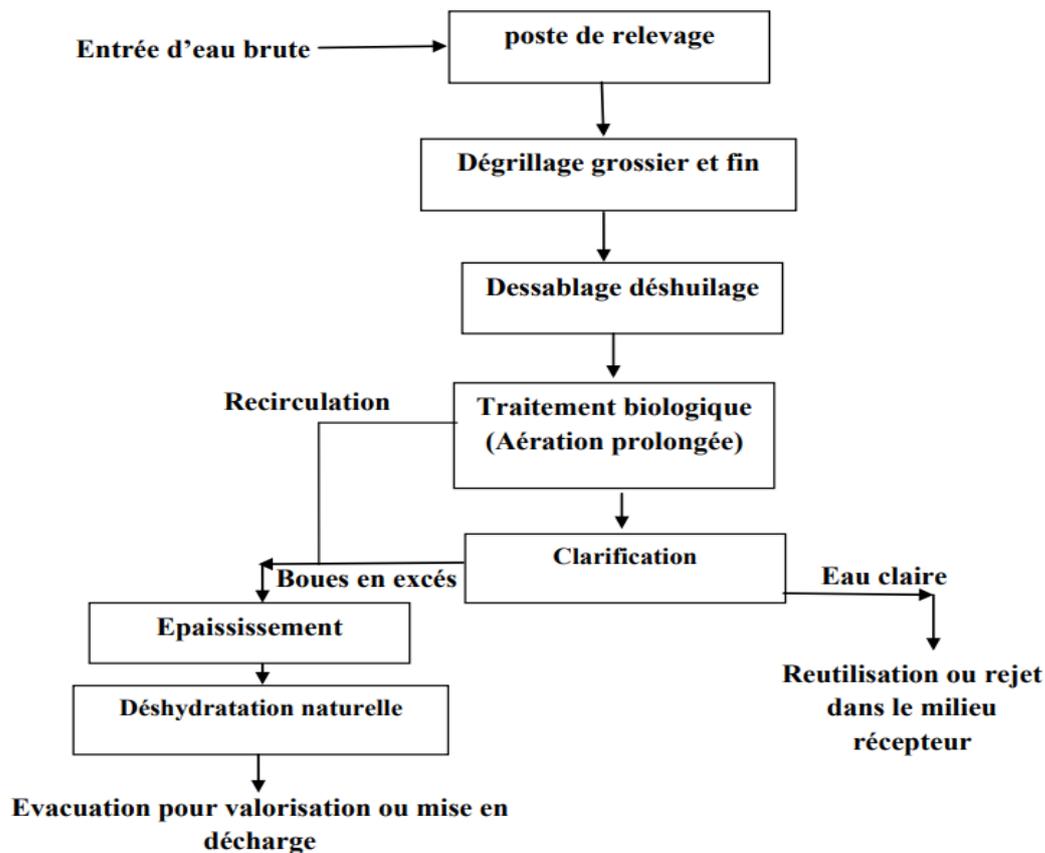


Figure N° 1.1: schéma général de traitement des eaux usées [9]

On trouve plusieurs étapes de traitements des eaux usées sont :

A. Prétraitements: Les prétraitements sont une phase d'épuration grossière. Ce traitement élimine tous les éléments solides volumineux et grossiers (sables, corps gras) qui pourraient d'ailleurs endommager les installations par la suite. Notons que cette étape retire alors environ 35% des éléments polluants [1]. Le prétraitements compose et réalise par le *Dégrillage*.

Le Dégrillage fait passer l'eau à travers des grilles plus ou moins grossières pour récupérer tous les éléments solides plus gros que les espacements des grilles [2].

L'eau qui est issue de ce premier traitement subit ensuite *déshuilage-dégraissage*.

déshuilage-dégraissage. Cette étape permet d'éliminer 90% des particules et objets en suspension. Elle est commune à une très grande majorité des stations d'épuration. Mais il reste alors dans l'eau tout ce qui y est dissous (éléments azotés, phosphatés, composés actifs et des particules fines) [2].

Se rajoutent ensuite les traitements secondaires.

B. Traitements secondaires:

Les traitements secondaires également appelés traitements biologiques visent à dégrader la matière organique biodégradable contenue dans l'eau à traiter. Plusieurs procédés existent à ce stade du traitement biologique. Ce sont les procédés à culture en suspension ou procédés à boues activées [3].

Le procédé consiste à provoquer le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons (boues activées), dans un bassin brassé et aéré (bassin d'aération) et alimenté en eau à épurer. Dans ce bassin, le brassage a pour but d'éviter les dépôts et d'homogénéiser le mélange des flocons bactériens et de l'eau usée (liqueur mixte)

Après un temps de contact suffisant, la liqueur mixte est envoyée dans un clarificateur appelé parfois décanteur secondaire, destiné à séparer l'eau épurée des boues [3].

Ensuite cette eau claire est filtrée, javellisée, et déchargée dans une rivière ou la mer. Une partie des boues sont recyclées dans le bassin d'aération pour y maintenir une concentration suffisante en bactéries épuratrices. L'excédent (boues secondaires en excès) est extrait du système et évacué vers le traitement des boues (Figure N°1.2) [4]

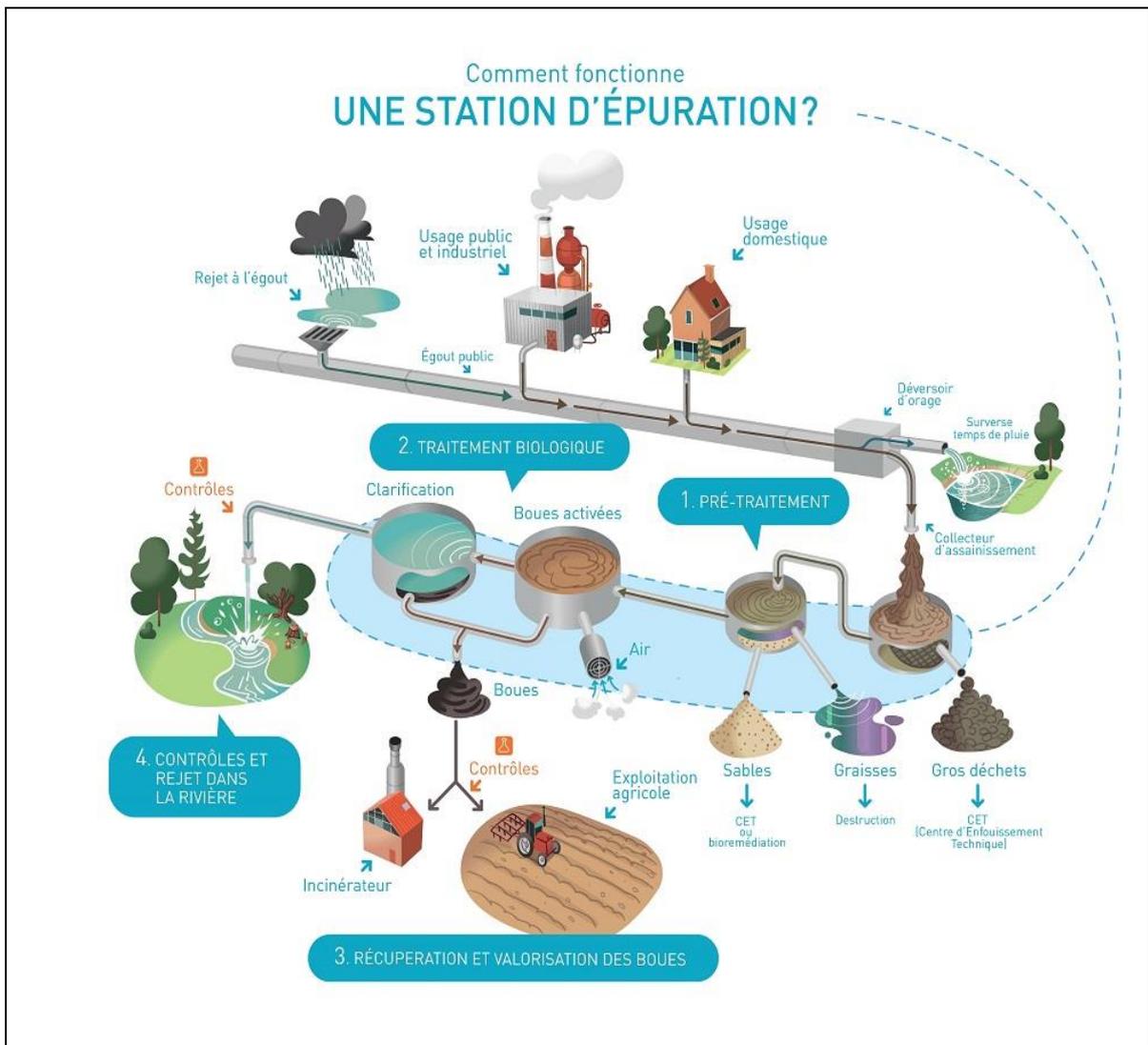


Figure N°1.2: Etapes de traitements des eaux usées [20]

Après la définition et la présentation une station d'épuration des eaux usées on trouve que la STEP est riche en matière organique (Biomasse). Dans ce but on utilise les boues comme source de production d'énergie renouvelable

1.3 Boues :

La grande majorité des méthodes de traitement des eaux usées urbaines ou industrielles, qu'elles soient basées sur des processus biologiques ou physico-chimiques (traitement anaérobie, la neutralisation, la filtration, la désinfection), entraîne l'accumulation de boues, qui sont des résidus secondaires. Les boues se

Chapitre 1 : Synthèse bibliographie

présentent généralement sous forme liquide (contenant en moyenne 95% d'eau) et contiennent une quantité importante de matière organique hautement fermentescible), ainsi que des matières minérales. Ces caractéristiques posent des problèmes quel que soit le devenir des boues, ce qui rend nécessaire la mise en place d'un système de traitement. [5]

1.3.1 Type des boues:

Le traitement des eaux usées génèrent des boues (biomasse), tel qu'on trouve:

Boues primaires:

Sont obtenues au niveau du décanteur primaire, après séparation physique des matières en suspension par décantation. De nature fortement organique, les boues primaires sont très fermentescibles et présentent de forts risques de nuisances olfactives [6]. La figure suivante montre les boues primaires.

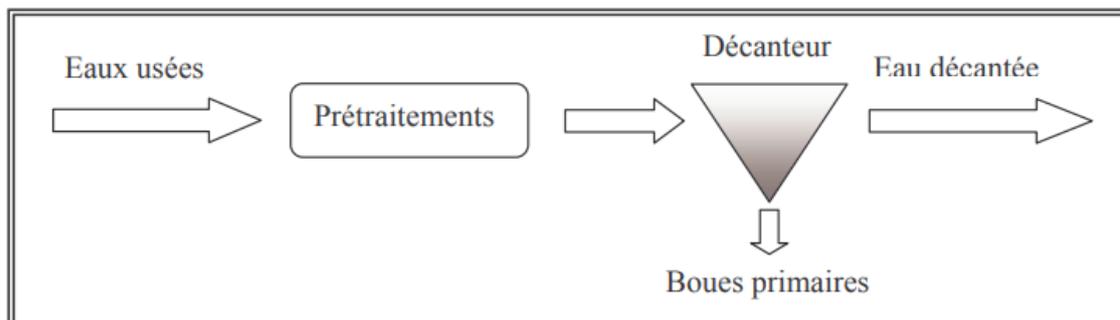


Figure N° 1.3: Obtention des boues primaires au niveau du décanteur [7]

Boues secondaires:

Les boues secondaires (ou boues biologiques), proviennent des traitements biologiques des eaux usées. Elles sont issues des purges en sortie des bassins d'aération et sont également appelées boues activées en excès. Elles sont essentiellement composées de bactéries épuratrices flocculées [6]. La figure suivante donne les boues secondaires.

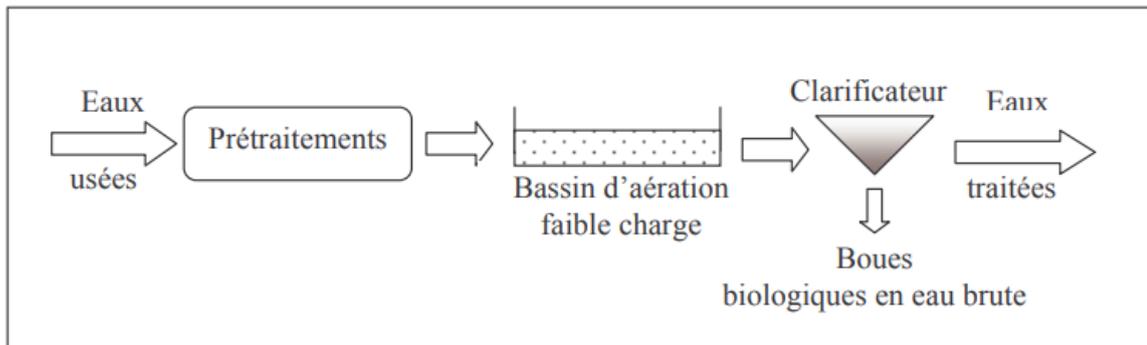


Figure N° 1.4: Obtention des boues biologiques au niveau de la station d'épuration [7]

Boues mixtes:

Le mélange de boues primaires et secondaires conduit à l'obtention des boues mixtes. Leur composition est dépendante de la quantité de boues primaires et secondaires produites. Ces sont très fermentescibles [8].

Boues physico chimiques :

Ces boues sont issues d'un traitement utilisant des flocculant minéraux (sel de fer ou d'aluminium). Le traitement physico-chimique est principalement utilisé sur des boues industrielles ou pour l'élimination du phosphore en complément au traitement biologique. [8]

1.3.2 Valorisation des boues :

Comme les boues se présentent sous forme liquide (95% d'eau en moyenne) avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible ainsi que des matières minérales. Ces caractéristiques sont problématiques quelle que soit la destination des boues et imposent la mise en place d'une filière de traitement. Les procédés de traitement des boues peuvent varier suivant leurs natures et la taille de la station d'épuration.

Méthanisation :

La méthanisation est une fermentation anaérobie ou plus exactement un processus biochimique où la matière organique est dégradée par les microorganismes en absence d'oxygène pour être transformée à la fin en bio méthane. Le gaz produit possède un

Chapitre 1 : Synthèse bibliographie

pouvoir énergétique élevé et peut être utilisé dans de nombreuses applications comme : le chauffage, la cuisson, la production d'électricité, l'éclairage et en tant que biocarburant [12].

Comme la méthanisation c'est l'objectif de notre travail. Donc dans la partie méthanisation on va détailler la méthanisation (1.4 Méthanisation).

Épandage agricole :

Cette méthode consiste à répandre les boues traitées sur le sol dans le but d'aider la croissance des cultures agricoles. Cependant, l'épandage ne s'effectue pas simplement dans le but de se débarrasser des boues ; on doit montrer clairement que leur application sur les sols possède un effet favorable sur les cultures afin de convaincre les utilisateurs potentiels de les accepter.

L'épandage des boues peut s'effectuer de plusieurs façons: elles peuvent être déposées directement sur le sol, injectées dans le sol matière organique (carbone et azote) et certains minéraux comme le potassium et le phosphore contenus dans les boues favorisent la croissance des plantes. L'épandage s'effectue en-dehors des périodes de culture, c'est-à-dire au printemps et à l'automne et un délai d'un an est généralement nécessaire afin de rendre la matière organique bio disponible

Incinération :

L'incinération est une oxydation thermique complète des boues sèche (matière organique) qui consiste à brûler dans une chambre (incinérateur) à haute température (plus de 500°C) des boues avec un apport suffisant d'oxygène. Il en résulte de la fumée qui se dégage et de la matière minérale résiduelle restante nommée « cendre » ou « résidu ». Bien que l'incinération reste un investissement coûteux, ce procédé présente de nombreux avantages. Elle permet non seulement d'écartier les boues de la chaîne alimentaire mais aussi de réduire leur volume et de réutiliser aussi bien les vapeurs dégagées que les résidus résultants (énergie thermique) [10].

Thermolyse :

Chapitre 1 : Synthèse bibliographie

Ce procédé correspond à une dégradation des boues séchées en l'absence d'air ($O_2 < 2\%$) et à une température comprise entre 400 et 700°C. A la fin de ce procédé, un gaz combustible et un composé solide (cendres), aussi appelé bio char, sont obtenus. Le gaz récupéré peut être réutilisé comme une source d'énergie, mais il nécessite une structure supplémentaire pour exploiter le potentiel énergétique de ces gaz formés. Le bio char est utilisable pour l'amendement des sols car il améliore les propriétés pédologiques des sols (propriétés chimiques, physiques et biologiques) et permet de retenir l'eau dans les sols [11].

Gazéification :

La gazéification consiste à convertir à forte température (900-1100°C) une énergie contenue dans un matériau solide en un résidu inerte et un gaz calorifique valorisable sous forme de chaleur ou d'électricité, avec des rendements énergétiques et un bilan environnemental favorables. Cependant, cette technique nécessite des boues préalablement séchées à 90%, ce qui grève pour le moment le coût de cette solution alternative. Le procédé de valorisation du gaz obtenu est le méthane, qui consiste à faire réagir du dioxyde de carbone ou du monoxyde de carbone avec de l'hydrogène afin de produire du méthane [11].

1.4 Méthanisation ou digestion anaérobie :

La méthanisation (ou digestion anaérobie) est un processus naturel biologique de dégradation de la matière organique grâce à l'action des micro-organismes dans un milieu chauffé et en absence d'oxygène. Ce processus peut être mis en œuvre au sein de digesteurs à partir de déchets organiques [14], et conduit à la production d'un gaz combustible qui est le biogaz composé essentiellement de méthane (50-80%), de dioxyde de carbone et de molécules d'eau et le résidu final de la digestion (digestat) [14].

Il existe trois types de fermentations liées à la température ambiante :

- **La fermentation psychrophile** (entre 15 et 20°C) : digestion froide et lente (plusieurs semaines) mais ne nécessitant pas de chauffage.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographie

- **La fermentation mésophile** (entre 30 et 35°C) : procédé reposant sur l'activité des entérobactéries (bactéries de l'intestin).
- **La fermentation thermophile** (entre 50 et 60°C) : seules les bactéries thermophiles et les actinomycètes subsistent. Le temps de séjour est court, mais l'exploitation s'avère délicate [22].

1.4.1 Etapes :

La méthanisation est un processus de fermentation anaérobie complexe (voir Figure 1...), mettant en jeu plusieurs étapes biochimiques sont :

- L'hydrolyse de la matière organique.
- L'acidogène, transformation de la matière organique en acide gras.
- L'acétogénèse, formation d'acétate, d'hydrogène et de gaz carbonique à partir des acides gras.
- La méthanogénèse : qui conduit à la formation de méthane à partir des produits de la réaction précédente

▪ **L'Hydrolyse :**

La matière brute traitée dans un digesteur est complexe, elle est composée de macromolécules à haut poids moléculaire (polymère type cellulose, lipide, protéine...), sous cette forme ces composants ne sont pas assimilables par les micro-organismes de la méthanisation. L'hydrolyse consiste en une dégradation de ces macromolécules en monomères tel que du glucose, des acides gras et des bases azotées. Elle est réalisée au moyen d'exo-enzymes secrétées par les micro-organismes fermentaires.

Donc, l'hydrolyse est une étape essentielle à la méthanisation puisqu'elle permet de rendre disponible, la matière organique non solubilisée [17].

▪ **L'acidogénèse :**

Chapitre 1 : Synthèse bibliographie

Les monomères de l'Hydrolyse sont fermentés principalement en acide gras volatile (AGV), en alcools, en H₂ et en CO₂. Les bactéries responsables de cette étape sont nombreuses, on les appelle les bactéries fermentaires. La cinétique de l'acidogénèse peut être élevée relativement aux autres étapes de la méthanisation [15].

- **l'acétogénèse :**

L'acétogénèse (formation d'acétate, d'hydrogène et de gaz carbonique à partir des acides gras), une grande partie des acides gras volatils et des alcools est assimilée par les bactéries acétogènes autotrophes pour former de l'acide acétique. Une autre partie est convertie en hydrogène et dioxyde de carbone [14].

- **la méthanogénèse :**

La méthanogénèse, conduit à la formation de méthane à partir des produits de l'acétogénèse. Deux voies de production du méthane coexistent:

- environ 70% du méthane est produit par les bactéries méthanogènes acétoclastes, selon la réaction : $C_2H_4O_2 \rightarrow CH_4 + CO_2$

- environ 30% du méthane est produit par les bactéries méthanogènes hydrogénophiles à partir du dioxyde de carbone et de l'hydrogène selon la réaction :



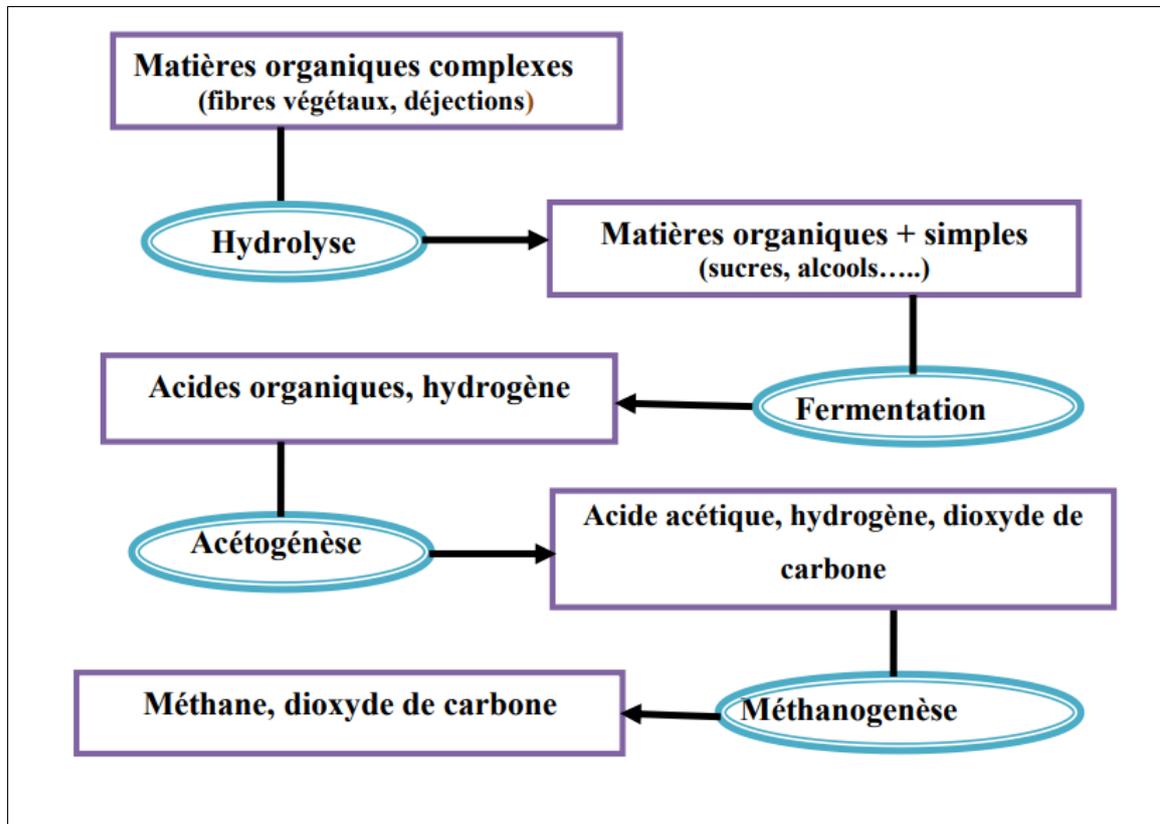


Figure N° 1.5: les étapes de la méthanisation (dégradation anaérobie des matières organiques) [13]

1.4.2 Paramètres de la digestion anaérobie :

Afin d'assurer un fonctionnement optimal de la digestion anaérobie, au niveau de la production du CH_4 et de la croissance des différents micro-organismes, un certain nombre de paramètres doivent être contrôlés. [19]

Le pH :

Ce paramètre est défini en fonction des conditions de survie des groupes bactériens. Chaque groupe a un pH optimum, entre 5,5 et 6 pour les bactéries acidogènes, un pH proche du pH neutre pour les bactéries acétogènes, et un pH compris entre 6 et 8 pour les bactéries méthanogènes. Pour cela, la valeur optimale de pH est environ 7,5 [19].

L'humidité :

Chapitre 1 : Synthèse bibliographie

La présence d'eau est indispensable pour la digestion anaérobie (biomasse humide). 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].

La température

La fermentation anaérobie peut s'effectuer selon trois gammes de températures adaptées à trois types des bactéries différentes :

- Psychrophile : 15-25°C
- Mésophiles : 25-55°C
- Thermophiles : 55-75°C [13].

L'agitation

Une bonne agitation permet de maintenir les matières solides en suspension, d'éviter la formation de mousse et de croûte, d'accroître la surface d'échange, d'assurer le transfert de chaleur et de faciliter le dégagement des bulles de biogaz [13].

Facteurs nutritionnels

Pour la croissance optimale des bactéries, leurs milieux de culture doivent contenir des proportions spécifiques de carbone (C), d'azote (N) et de phosphore (P). Igoud *et al* ont fixé le rapport optimal C/N/P entre 100/5/1 et 100/4/1. Les bactéries ont une consommation de carbone environ 30 fois supérieure à celle de l'azote, ce qui rend un rapport C/N compris entre 25 et 30 optimal. Par conséquent, il est recommandé d'utiliser des sources de matières organiques telles que les déjections animales, les résidus de ferme et les excréments humains, qui présentent un bon rapport C/N, pour favoriser la croissance des bactéries méthanogènes [18].

Les acides gras volatiles (AGV) :

La concentration en AGV est un indicateur direct du fonctionnement du réacteur. Son suivi permet de prévenir des phénomènes d'acidification et ainsi d'éviter une diminution trop importante des performances épuratoires. Idéalement, la concentration en AVG (exprimée en quantité d'acide acétique) doit être autour de 200-300 mg/L d'acide acétique (pour des températures mésophiles) [15].

1.4.3 Différents systèmes des digesteurs :

Le digesteur, encore appelé fermenteur ou bioréacteur anaérobie est généralement constitué d'une cuve fermée, étanche à l'air et de préférence isolée thermiquement de l'extérieur dans laquelle différents microorganismes se côtoient pour dégrader chimiquement et biologiquement les déchets et effluents organiques et produire du biogaz [21].

Le choix du digesteur varie en fonction du type de déchets à traiter (: solide, semi-solide ou liquide, le mode d'alimentation (batch, continu ou semi-continu) et le nombre d'étapes (mono- ou bi-étape selon que la méthanogénèse et l'acidogénèse se déroulent dans le même réacteur ou dans deux cuves séparées). [21]

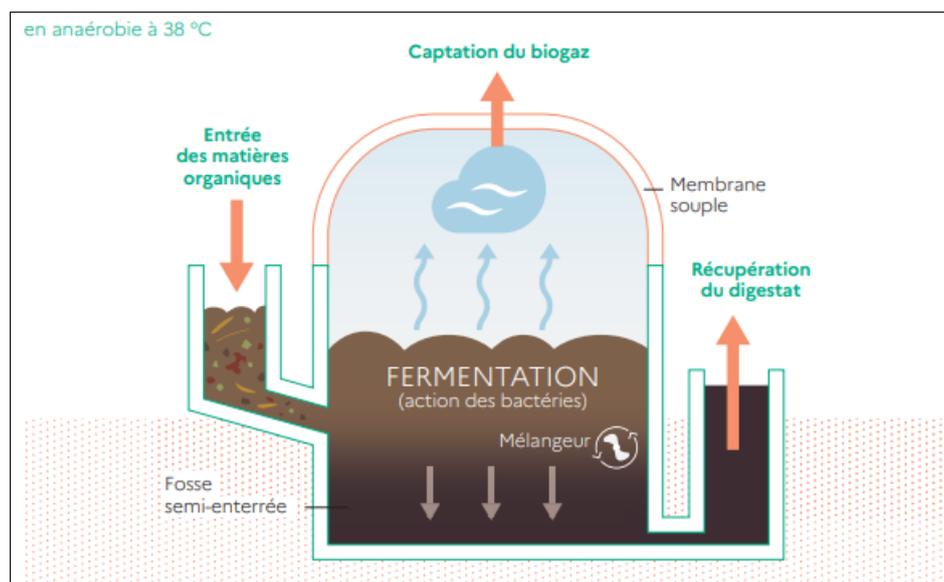


Figure N°1.6 : le fonctionnement d'un digesteur [22]

Chapitre 1 : Synthèse bibliographie

1.5 Biogaz :

Le biogaz est un gaz combustible renouvelable issu de la dégradation de la matière organique animale ou végétale par des micro-organismes dans des conditions anaérobies (en l'absence d'oxygène) Ce gaz est principalement composé de méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂)[25] en proportions variables selon les substrats traités, et quelques traces d'azote, d'ammoniac et de sulfure d'hydrogène dont le pouvoir calorifique inférieur (PCI) variera de 5 kWh, pour 50 % de CH₄, à 7,5 kWh pour 75 % de CH₄ présent dans le mélange [26].

La valorisation de ce biogaz en énergie permet d'économiser d'autres sources d'énergie et d'éviter les émissions de méthane dans l'atmosphère, et ainsi de participer à la lutte contre le changement climatique. Différents types de valorisation sont possibles : la production de chaleur, la production d'électricité, la purification du gaz en vue de son utilisation comme carburant pour les véhicules automobiles, la purification du gaz en vue de l'injection dans le réseau de transport ou de distribution de gaz naturel, la production combinée de chaleur et d'électricité par cogénération. Le prétraitement du biogaz brut (via des procédés physiques ou chimiques) permet de diminuer en grande partie sa teneur en vapeur d'eau (par condensation), en H₂S (injection d'un filet d'air ou ajouts FeCl₃,...) et en éléments polluants en trace (H₂S résiduel, NH₃) par adsorption sur filtre à charbon afin :

- de limiter la corrosion chimique
- d'augmenter le pouvoir calorifique du biogaz traité avant valorisation ;
- d'optimiser le rendement énergétique de la valorisation [30].

Tableau N°1.1 : Composition en espèces majeures des biogaz issus d'ISDND, de STEP et d'installations agricoles [25]

		Origine du biogaz		
		ISDND	STEP	Agricole
Composition (% volumique)	CH ₄	25-61	50-75	50-75
	CO ₂	14-55	19-49	19-45
	N ₂	0-49	0-2	< 2
	O ₂	0-8	< 1	< 2
	H ₂ O	4-15	6-16	2-14

▪ 1.5.1 Mode de valorisation biogaz :

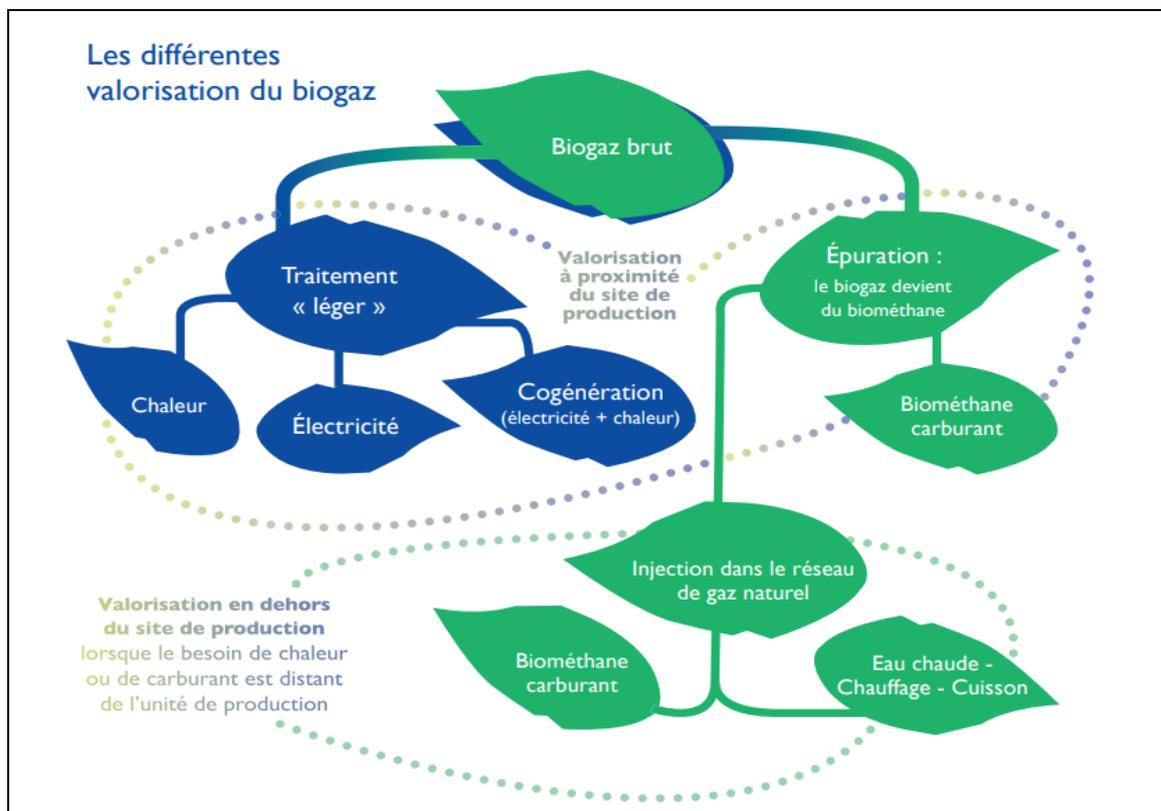


Figure N°1.7: mode de valorisation de biogaz [27]

Par la production de chaleur :

Brûler du biogaz sous chaudière ou en four est la voie de valorisation la plus ancienne, la mieux maîtrisée et la plus courante [33]. La chaleur de combustion du biogaz peut servir à la production d'eau chaude, de vapeur ou être utilisé pour chauffer des fours. C'est un procédé simple, qui ne nécessite pas de gros investissements et qui par conséquent est vite rentabilisé [25]. La teneur en CH₄ du biogaz peut descendre jusqu'à 20% et les contraintes d'épuration sont légères [33].

La valorisation par cogénération :

Il s'agit du moyen de valorisation le plus fréquemment utilisé pour les installations de méthanisation. Cela consiste à produire simultanément de l'électricité et de la chaleur à partir de la combustion du gaz [16]. Pour la cogénération, on peut utiliser soit des moteurs à gaz soit des turbines à gaz, la première solution est le meilleur choix car les moteurs à gaz ont de meilleurs rendements électriques pour des biogaz riches en

Chapitre 1 : Synthèse bibliographie

méthane [29] La qualité du gaz doit être améliorée pour obtenir les meilleurs rendements possibles. Les moteurs exigent un biogaz contenant au moins 40% de méthane [33]. Le rendement électrique est généralement de l'ordre de 35%, mais la récupération de l'énergie thermique permet d'atteindre un rendement global de 80%. Cette énergie thermique ainsi obtenue doit être valorisée [16].

Par Injection du gaz dans le réseau public :

Il est possible techniquement d'utiliser le gaz comme un carburant après l'avoir injecté dans le réseau public. Cependant, pour réellement l'utiliser, il est nécessaire qu'il soit au minimum pur à 96% en méthane, sans vapeur d'eau ni dioxyde de carbone [16], Le CO₂ peut être rejeté dans l'atmosphère ou commercialisé sous sa forme pure en tant que produit [30]. Le gaz en tant que carburant est comprimé. Il doit être d'une qualité conforme au réseau national [16]

La production de carburant véhicule :

Avant d'être utilisé en tant que carburant dans un véhicule, le biogaz doit être épuré de certains éléments (le gaz carbonique, l'eau et le sulfure d'hydrogène, corrosif pour les moteurs). On obtient alors du biométhane (il doit être constitué d'un minimum de 97% de méthane) quasiment identique au GNV (gaz naturel pour véhicule) [34]. En pratique, le bioGNV est stocké sous pression (200bar) dans un réservoir spécifique à l'intérieur du véhicule [26]. Cette valorisation est encore peu développée et concerne surtout les flottes captives (transport urbain, etc.) [34].

1.6 Etat de l'art :

Des recherches Algériennes qui ont été faites par Siboukeur *et al* en 2015, Igoud *et al* en 2002, 2007 et 2013 et Laskri *et al* en 2007.

L'étude de **Siboukeur *et al*** a pour but de réaliser une étude microbiologique de la digestion anaérobie des boues de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Touggourt, au sud-est de l'Algérie, afin de contribuer à la production de biogaz par digestion anaérobie. Les résultats de cette étude montrent que l'utilisation des boues pour la production de biogaz dans un digesteur en conditions anaérobies pendant 14 jours pourrait constituer une solution rentable et durable pour les zones rurales [31].

Chapitre 1 : Synthèse bibliographie

En 2013 **Igoud et al** ont évalué le potentiel de production d'énergie renouvelable et de séquestration du CO₂ par la méthanisation des déchets organiques en Algérie. Trois types de déchets sont étudiés : les déchets solides urbains, les boues d'épuration et les bouses de vache. Les résultats indiquent que la valorisation énergétique de ces déchets induit des pertes importantes estimées à 1,7 million de m³ de production de biogaz et 3,57 TWh de production d'électricité [32]

Et en 2007 ils ont abordé la question de la gestion des déchets solides urbains en Algérie, qui a été aggravée par l'augmentation de la production de déchets et le manque de gestion appropriée. Les auteurs proposent une solution à ce problème en évaluant le potentiel de production d'énergie renouvelable par la méthanisation des déchets solides. L'étude estime que la production journalière de déchets dans les 57 communes de la province algérienne est d'environ 3 700 tonnes, avec une collecte annuelle de 1 350 500 tonnes. Les auteurs suggèrent que la grande quantité de déchets générés et leur contenu organique élevé les rendent aptes à la méthanisation, qui pourrait produire 120 millions de m³ de biogaz pour la production d'électricité [35]

De plus .en 2002 **Igoud et al** ont traité de la production de biogaz à partir de bouse de vache en Algérie, qui est une source d'énergie renouvelable sous-utilisée. Un digesteur expérimental a été utilisé pour produire 26 898 m³ de biogaz à partir de 440 kg de bouse de vache sur une période de 77 jours, avec une composition moyenne de 61% de méthane et 35,65% de dioxyde de carbone. L'étude met en évidence le potentiel de production d'énergie décentralisée dans les zones rurales et agricoles. [40]

En 2007, **Laskri et al** ont traité du procédé de digestion anaérobie pour le traitement et la valorisation des déchets organiques, notamment les déchets de l'industrie agroalimentaire et les eaux usées urbaines. Le procédé consiste à placer les déchets dans des cuves sans oxygène et à maintenir une température de digestion entre 35°C et 37°C, ce qui permet la production de biogaz riche en méthane. L'étude s'est concentrée sur les paramètres qui influencent directement la digestion anaérobie des déchets de rumen de chameau, notamment le pH, la concentration du substrat et le prétraitement du substrat. Les résultats ont montré que la production de biogaz

Chapitre 1 : Synthèse bibliographie

commence dès que le pH augmente, et que l'utilisation d'un processus de prétraitement et d'un taux de dilution approprié peut augmenter la production de biogaz [42]

Des travaux internationaux qui ont traité la biomasse de STEP :

En 2017, **Puyol *et al*** ont publié un travail sur la valorisation énergétique (production H₂ et biogaz) des eaux usées. Les chercheurs ont étudié des processus biotechnologiques offrent un moyen économique et polyvalent de concentrer et de transformer les ressources des déchets/eaux usées en produits de valeur, ce qui est une condition préalable au développement technologique d'une bioéconomie du berceau au berceau. L'étude identifie les technologies émergentes qui permettent la récupération des ressources tout au long du cycle de traitement des eaux usées (STEP). Ainsi que, la bioénergie sous forme de biohydrogène (produit par les processus de photo-fermentation) et de biogaz par la mise en œuvre de la digestion anaérobie avec des bioréacteurs anaérobies à membrane pour le traitement des déchets organiques ce qu'il va doubler la production d'énergie de la STEP. La récupération du carbone et des nutriments peut se faire par la production d'engrais organiques ou de protéines unicellulaires (selon la source) qui peuvent être utilisées comme aliments pour animaux, comme additifs alimentaires, comme engrais de nouvelle génération [24].

Le travail qui a été publié en **2020** par **Tallou *et al***. Il traite la production de biogaz par les déchets organiques en particulier les eaux usées des moulins à olives, les eaux usées domestiques et la bouse de vache au Maroc. L'étude a évalué l'efficacité du processus de co-digestion anaérobie à travers la qualité des digestats en tant que bio-fertilisants, le rendement en biogaz. Les résultats ont montré que le volume de biogaz le plus élevé était obtenu à partir du mélange des trois déchets [28].

En 2023 **Kumar *et al*** ont été publié un travail sur le potentiel de la biomasse des déchets agricoles en tant que source durable de production de bioénergie. Les chercheurs examinent les différents types de déchets agricoles, leur caractérisation et les méthodes de prétraitement permettant d'améliorer la production de bioénergie. L'étude souligne également l'importance de promouvoir la production de bioénergie

Chapitre 1 : Synthèse bibliographie

comme moyen de résoudre les problèmes écologiques et de réduire les émissions de gaz à effet de serre

En même date et mêmes chercheurs (**Kumar *et al* (2023)**) L'article examine le potentiel des bio déchets en tant que matière première pour la production de bioénergie et le développement de technologies durables pour la valorisation des déchets. Les matières premières pour la production de bioénergie comprennent divers types de biodéchets tels que les déchets alimentaires, les déchets agricoles, les eaux usées domestiques et les déchets solides municipaux. Ces déchets peuvent être convertis en sources d'énergie renouvelables par des processus tels que la digestion anaérobie, la dégradation microbienne et les bioraffineries. Les défis associés à la commercialisation des bioréacteurs pour la production de bioénergie comprennent des questions techniques telles que l'inhibition des produits, la récupération du méthane, l'encrassement des membranes et le coût élevé, ainsi que la nécessité de mener des études plus approfondies pour parvenir à la durabilité énergétique. En outre, des défis économiques et réglementaires doivent être relevés afin d'augmenter l'échelle et de commercialiser ces technologies au niveau mondial [51].

Wenga *et al* ont traité et étudié la disponibilité des biodéchets en tant que source d'énergie au Zimbabwe en 2023. La méthodologie utilisée dans cette étude a consisté à évaluer la disponibilité et le potentiel énergétique de divers biodéchets, notamment les résidus agricoles, les effluents d'élevage, les boues d'épuration municipales. L'étude a utilisé la modélisation par réseau neuronal artificiel (ANN) pour prévoir la production future de déchets solides municipaux, avec des variables d'entrée telles que la taille de la population, le ratio emploi/population et le revenu par habitant. L'étude a également estimé le contenu énergétique et le potentiel électrique des résidus de cultures excédentaires, en tenant compte de facteurs tels que le taux d'humidité et le pouvoir calorifique. La méthodologie comprenait l'analyse des données, l'analyse des corrélations et la modélisation à l'aide des logiciels MATLAB et Simulink. Les résultats ont montré qu'un total de 49 tonnes de biodéchets est disponible de manière durable, produisant un total de 539 PJ d'énergie, ce qui représente 42,3 % de l'énergie totale requise au Zimbabwe [52]

1.7 Conclusion :

En conclusion, ce chapitre a mis en évidence l'importance des Stations d'Épuration des Eaux Usées (STEP), de la méthanisation des boues et de la production de biogaz dans le contexte de la gestion des déchets organiques et de la transition vers des énergies renouvelables. Les STEP jouent un rôle essentiel dans le traitement des eaux usées, contribuant à la préservation de l'environnement et à la prévention de la pollution. Les boues résiduelles issues de ce processus représentent une opportunité précieuse pour la production de biogaz, une source d'énergie renouvelable.

CHAPITER 2
Méthodes et matériel

Chapitre2 : Méthodes et matériel

2.1. Introduction:

En Algérie qui connaît de sérieuses difficultés en matière irrigation agricole, l'épuration des eaux usées par STEP est devenue l'une des solutions les plus utilisés pour satisfaire ces besoins, pour la recharge de nappe et pour sa réutilisation urbaine non alimentaire et industrielle. Les eaux traitées doivent répondre aux normes hygiéniques établies dans le journal officiel Algérien [43].

De plus les boues de station d'épuration (STEP) dont le devenir est un des soucis majeurs pour la production d'énergie via la valorisation du biogaz.

2.2 Présentation de la station d'épuration de la Wilaya d'Ain Defla :

La station d'épuration d'Ain Defla est située au nord de la wilaya d'Ain Defla, à 145 km au sud-ouest d'Alger (Figure 2.1), et elle a été mise en service en Avril 2007

Le procédé d'épuration utilisé est « boues activées à faible charge », elle a une capacité de 50000 Eq/Hab. et un débit nominal de 12900 m³ /j. Cette STEP a été conçu dans le but de traiter les eaux usées de type domestique de la ville d'Ain Defla et de protéger l'Oued Chélif qui est son point de rejet final [36].

La figure suivante montre les étapes de traitement de la STEP de Ain Defla.



Figure N°2.1 : Schéma synoptique de la STEP de AIN DEFLA. [55]

2.3. Paramètres et méthodes d'analyses des eaux usées

La station d'épuration d'Ain Defla traite les eaux usées de W .Ain Defla. Les paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes et traitées sont:

DCO (g/l) : La demande chimique en oxygène (**DCO**) qui rend compte de la quantité des principaux éléments carbonés biodégradables ou non, susceptibles d'être oxydés chimiquement dans le milieu récepteur [37].

DBO5 (g/l) : La demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (**DBO5**) est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène qui est utilisée pour la destruction de matières organiques décomposables par des processus biochimiques. La détermination de la DBO5 sert à évaluer la concentration des

Chapitre 2 : Méthodes et matériel

polluants organiques dans les entrées et sorties de station d'épuration biologique [38].

MES (g/l) : les matières en suspension (**MES**) qui représentent les particules minérales et organiques contenues dans l'effluent (sable, argile, produits organiques, particules de produits polluant, micro-organismes,...) [37].

Conductivité (μs) : La conductivité permet d'évaluer rapidement et approximativement la minéralisation globale de l'eau. La mesure de conductivité est réalisée en mesurant la conductance d'une eau entre 2 électrodes métalliques, elle est l'inverse de la résistivité électrique [39].

La concentration des nutriments (g/l) : correspondent aux concentrations des différentes formes de l'azote (NH_4^+ , NO_3 ainsi que l'azote total de kjeldahl NTK) et aux concentrations en phosphate (PO_4^{-3} et phosphate totale (PT)) [4].

L'oxygène dissous(O_2) (g/l) : L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu [41].

Température ($^\circ\text{C}$):La température de l'eau usée a une influence majeure sur le taux de biodégradation dans le bassin d'aération. Plus la température est élevée, plus le processus de biodégradation est rapide, 30°C considérée comme valeur limite de rejets directs [47].

Salinité (g/l) : La salinité mesure la concentration d'une eau en sels dissous [48].

Remarque: Les méthodes d'analyses des différentes variables physico-chimiques sont données dans le tableau N° de l'annexe N°.

Chapitre 2 : Méthodes et matériel

Point de prélèvement: Les points de prélèvement retenus pour le suivi des performances épuratoires sont : Entrée et Sortie de la station.

2.4.Les caractéristiques des boues :

La siccité :

La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. La siccité de la boue est déterminée par pesée d'une certaine quantité de boue avant et après passage à l'étuve à 105°C. La perte du poids par le solide représente le poids d'eau évaporée pendant le séchage [44]

L'âge des boues :

L'âge des boues représente le temps de séjour des boues dans le bassin d'aération : celui-ci est plus important que le temps de séjour de l'eau à traiter du fait de la recirculation des boues décantées. Il correspond au rapport de la quantité de boues présentes, en kg MS., dans le bassin d'aération sur la quantité de boues en excès à évacuer par jour, en kg MS/j.[45]

MES :

La matière en suspension dans les boues fait référence aux particules solides qui sont présentes dans les boues sous forme de suspension, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas dissoutes dans l'eau, mais sont en suspension dans le liquide [46].

MS :

La matière sèche des boues est souvent déterminée en laboratoire par une méthode de séchage, où un échantillon de boues est séché à une température spécifique jusqu'à ce que toute l'eau soit évaporée. La masse résiduelle après séchage est ensuite mesurée et rapportée en grammes par litre (g/L) pour représenter la teneur en matière sèche [46].

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

2.5.1 Production de biogaz :

Afin d'étudier le pouvoir énergétique (biogaz) des boues générés par la station d'épuration de W. AIN DEFLA.

D'après de recherche bibliographique, nous avons pris des équations pour calculer le volume du méthane (EqN°2.3, EqN°2.8) et l'énergie produite (EqN°2.7, EqN°2.9) des boues d'épuration:

Modèle mathématique I:

D'après Oulim (2001) et Cherif (2017), la quantité de matière organique des boues sèches (F_0): Elle déterminer par la relation suivante : [53]

F_0 : La quantité de matière organique dans la boue :

$$F_0 = 0,6 * MS \text{ (g/l)} \quad \text{EqN}^\circ 2.1$$

Avec :

Ainsi que, la quantité du gaz produite (F_{gaz}) (biogaz): est calculé par la relation suivante:

$$F_{gaz} = 138 * (T_0)^{0,5} F_0 \quad \text{EqN}^\circ 2.2$$

Tel que :

T_0 : C'est la température en degré. Dans notre travail on utilise la température mésophile 37°C.

La quantité du méthane moyenne est entre 0,6 et 0,65: on Elle a calculé par la relation suivante:

$$V_{CH_4} = 0,65 * V_{\text{biogaz}} = 0,65 * F_{gaz} \quad \text{EqN}^\circ 2.3$$

Le biogaz est généralement récupéré par aspiration dans le ciel du digesteur et stocké dans un gazomètre. Son pouvoir calorifique dépend de sa teneur en méthane, on peut calculer son PCI grâce à la relation :

Chapitre 2 : Méthodes et matériel

$$\text{PCI}_{\text{biogaz}} = \text{PCI}_{\text{CH}_4} * \%V_{\text{CH}_4} \quad \text{EqN}^\circ 2.4$$

Pour calculer l'énergie primaire et si $\%V_{\text{CH}_4} = 65\%$ (valeur moyenne), on utilise la relation suivante:

$$\text{PCI}_{\text{biogaz}} = \text{PCI}_{\text{CH}_4} * 0,65 = 6,46 \text{ kWh/m}^3 \quad \text{EqN}^\circ 2.5$$

Tel que $\text{PCI}_{\text{CH}_4} = 9,94 \text{ kWh/m}^3$

$$E_{\text{biogaz}} = \text{PCI}_{\text{biogaz}} * \text{Volume}_{\text{biogaz}} = \text{PCI}_{\text{biogaz}} * F_{\text{gaz}} \quad \text{EqN}^\circ 2.6$$

$$E_{\text{CH}_4} = \text{PCI}_{\text{CH}_4} * V_{\text{CH}_4} \quad \text{EqN}^\circ 2.7$$

F_{gaz} est le volume de biogaz

Le Modèle mathématique II

Dans le Modèle mathématique II, on utilise le Potentiel méthanogène des Boues biologique de station d'épuration égouttée. Tel que le Potentiel méthanogène est entre 200 et 280 m^3/tonne de matière organique sèche (valeur optimale est 250 m^3/tonne) [15]

On a

$$1 \text{ Tonne MO} \longrightarrow 250 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$$

$$X \text{ MO des Boues} \longrightarrow V_{\text{CH}_4}$$

Donc :

$$V_{\text{CH}_4} = X \text{ MO(Boues)} * 250 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / 1 \text{ Tonne MO} \quad \text{Eq N}^\circ 2.8$$

$$V_{\text{CH}_4} = X \text{ MO (Boues)} * 250 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / 1000 \text{ Kg MO}$$

$$E_{\text{CH}_4} = \text{PCI}_{\text{CH}_4} * V_{\text{CH}_4} = \text{PCI}_{\text{CH}_4} * 0,65 * V_{\text{biogaz}} \quad \text{Eq N}^\circ 2.9$$

$\text{PCI}_{\text{CH}_4} = 9,94 \text{ kWh/m}^3$

Le Modèle mathématique II montre la production annuelle volume méthane V_{CH_4}

2.5.2. Production du méthane et de l'énergie (électrique et thermique)

Chapitre 2 : Méthodes et matériel

Dans la partie expérimentale on utilise les boues mixtes car ces boues sont principalement composées de matière organique brute ayant un fort pouvoir fermentescible.

On a suivi l'étape suivante:

2.5.2.1. Échantillonnage du substrat utilisé :

Le substrat utilisé dans cette étude pour la production de biogaz c'est boues mixtes (ces boues sont principalement composées de matière organique brute ayant un fort pouvoir fermentescible).

Les boues mixtes constituées principalement des boues sèches et de la boue activée. Les boues sèches collectées des lits de séchages et la boue active prélevées dans le bassin d'aération de la STEP de la wilaya d'AIN DEFLA, les boues subissent un broyage manuel à l'aide d'un mortier et pilon en verre (figure N°2.2).



Figure N° 2.2 : broyage des boues



Figure N°2.3 : boues séchées

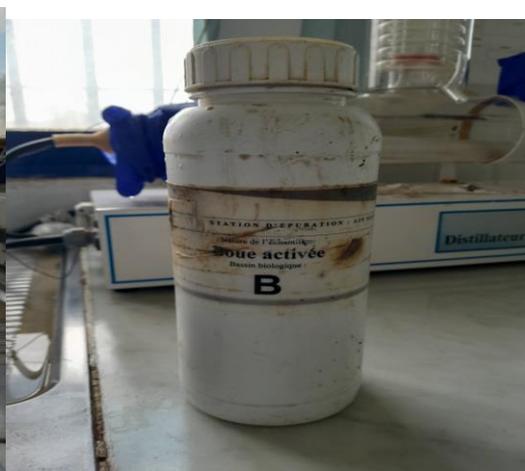
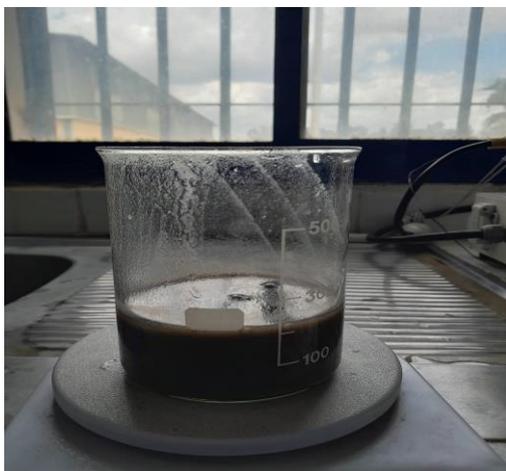


Figure N°2.4 : boues activé

Chapitre 2 : Méthodes et matériel

Description du digesteur :

Le digesteur de type batch (discontinue) est constitué d'une bouteille en verre d'une capacité de 3 L avec un volume utile de 2L (figure N°2.5). Sur son bouchon nous avons confectionné un trou raccordé d'un tuyau pour permettre au biogaz produit de s'échapper. Cette sortie est reliée à un ballon qui va nous permettre de mesurer de volume du biogaz produits. Le bioréacteur est fermé hermétiquement, pour assurer une anaérobiose totale.

Le substrat est un mélange de 800g de boues sèches, 200g de boues actives (80% de boues sèches et 20% de boues actives) et 1L d'eau distillé (50% de boue et 50% d'eau distillé).

Le réacteur est maintenu à température ambiante (température de laboratoire) et agité à l'aide d'un agitateur magnétique



Figure N°2.5 : présentation expérimental d'un digesteur : (a): digesteur avant la méthanisation (b): digesteur après la méthanisation

2.6. Conclusion

La présentation de la STEP d'Ain Defla a permis de comprendre l'importance de cette infrastructure dans le traitement des eaux usées de la région. Les paramètres physico-chimiques des eaux usées, tels que la demande biochimique en oxygène (DBO), la demande chimique en oxygène (DCO) et la concentration en matières en suspension, fournissent des indications sur la qualité et la composition des eaux à traiter.

Les boues générées par la STEP sont également d'une grande importance, car elles nécessitent une gestion adéquate. Leur caractérisation, notamment en termes de teneur en matière organique, de composition minérale et de densité, est essentielle pour évaluer leur potentiel de valorisation énergétique.

L'expérience de méthanisation des boues mixtes de la STEP a permis d'évaluer la capacité de ces boues à produire du biogaz, principalement composé de méthane. Les paramètres physico-chimiques des boues, tels que leur teneur en matière organique et en nutriments, ont été pris en compte pour déterminer leur potentiel de production de biogaz.

Les modèles mathématiques utilisés ont été développés pour estimer le volume de biogaz produit en fonction des caractéristiques des boues et des conditions de méthanisation. Ces modèles permettent d'évaluer de manière précise la quantité d'énergie renouvelable qui peut être obtenue à partir des boues de la STEP.

En conclusion, ce chapitre a fourni une présentation approfondie de la STEP d'AIN DEFLA, en mettant en évidence les paramètres physico-chimiques des eaux usées, les caractéristiques des boues, les modèles mathématiques et le protocole expérimental à suivre. Ces informations fournissent une base solide pour la poursuite de l'étude et l'obtention de résultats significatifs concernant le traitement des eaux usées et la gestion des boues.

CHAPTER 3

Résultats et discussion

Chapitre 3: Résultats et discussion

3.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter les différents paramètres physicochimiques 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 de STEP de W. AIN DEFLA.

Aussi, nous sommes intéressés dans ce travail à la valorisation des boues après traitement d'eaux usées par la méthode « méthanisation ». Elle est un type de valorisation qui est basé sur l'activité microbienne (microorganismes anaérobies). La connaissance de la production d'énergie nette par la méthanisation est importante pour une modélisation fiable, de l'efficacité de la production d'énergies à partir de la STEP de W. AIN DEFLA.

Pour valider cette conversion et l'efficacité de la production d'énergies par cette STEP, nous avons installé un prototype (biodigesteur) au laboratoire et utilisés les résultats obtenus de la valorisation énergétique des boues et nous avons comparé avec l'énergie produite à partir des équations mathématiques présentées dans la partie simulation numérique (modèle I et modèle II).

3.2. Paramètres physico-chimiques d'analyse des eaux usées :

Les résultats présentés ci-dessous (tableau N3.1° et figure N3.1°) concernent les quantités d'effluents de la ville d'AIN DEFLA de l'année 2020, 2021 et 2022, les indicateurs de pollution (DCO, DBO5), les taux d'abattement de pollution après traitement, ainsi que les mêmes résultats obtenus sur les boues.

Chapitre 3 : Résultats et discussion

Tableau N°3.1 : Paramètres physico-chimiques d'analyse des eaux usées

Paramètres physico- chimiques Année	EAUX BRUTES			EAUX EPUREES			Taux de réduction (%)
	2020	2021	2022	2020	2021	2022	
MES (mg/l)	230,2	191,4	174,5	23,46	12,13	12,36	92,12
DBO5 (mg/l)	186,6	176,9	197,9	8,9	6,6	5,71	96.20
DCO (mg/l)	381,8	334,6	335,33	36,781	25,57	27,28	91.52
NTk (mg/l)	34,07	34,14	33,94	10,65	14,53	12,23	63.38
NH4 (mg/l)	26,72	26,35	47,7	0,7	2,03	0,74	96.04
No ₃ ⁻ (mg/l)	0,73	0,95	0,81	8,7	12,99	11,21	92.35
PT (mg/l)	8,3	7,9	8,91	6,37	5,93	6,58	24.78
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	3,76	3,15	2,92	2,92	2,32	2,15	25.01
O ₂ (mg/l)	1	0,87	1,06	7,3	7,85	6,38	86.20
T(C°)	20,1	20,88	21,41	20,11	20,63	21,19	
Salinité (mg/l)	1,1	1	1	1,04	1	1	
Conductivité (µs)	1,96	2,32	2,15	1,92	1,99	2,09	

Chapitre 3 : Résultats et discussion

La figure 3.1 illustre la variation des nutriments des eaux usées brutes et traitées de STEP de W. AIN DEFLA en fonction des années.

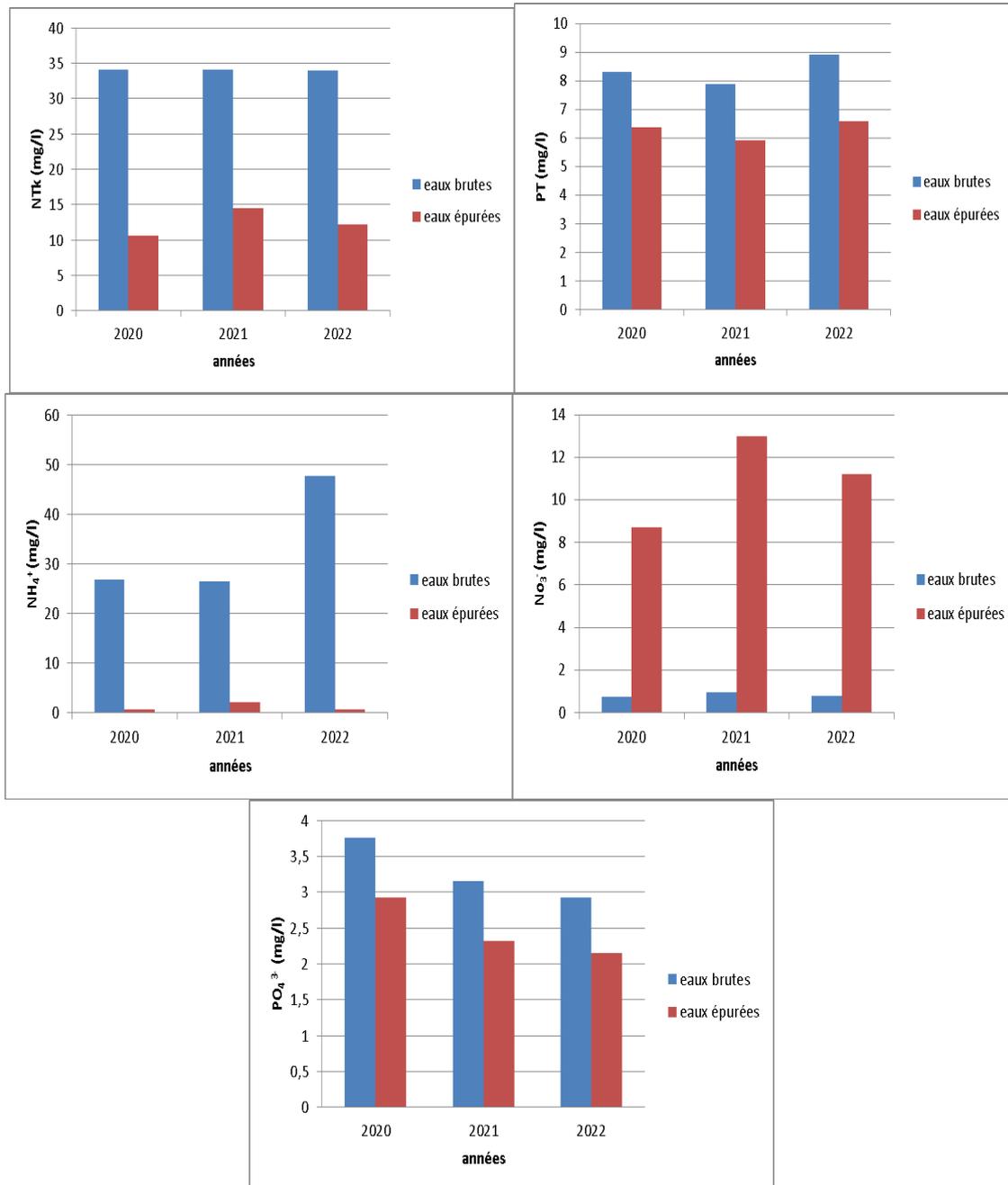


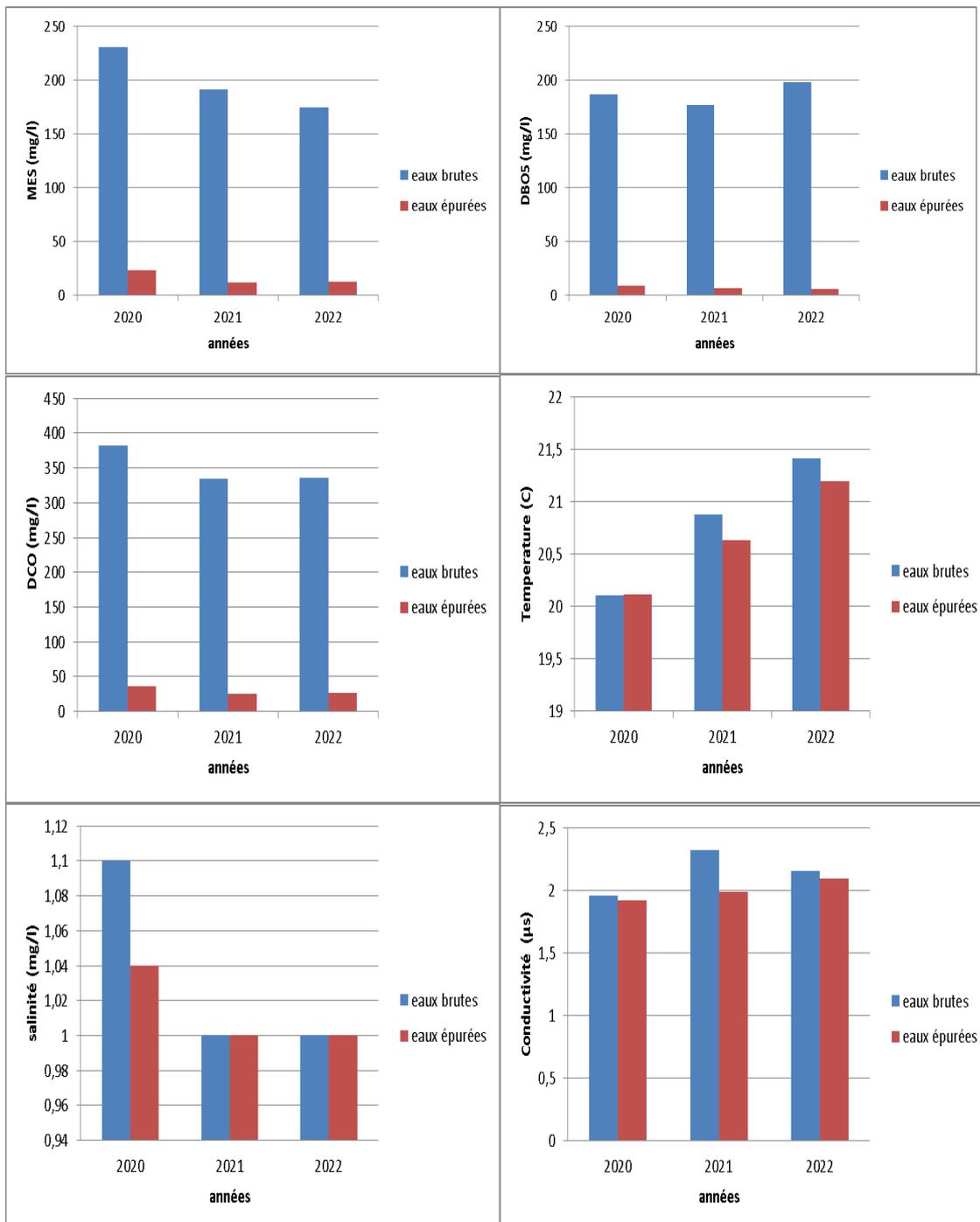
Figure N°3.1: Variation des nutriments en fonction des années variation des eaux usées brutes et traitées de STEP de W. AIN DEFLA.

Les nutriments tels que les nitrates et les phosphates et l'ammonium sont présents dans les eaux brutes en raison des activités humaines et agricoles. Le traitement des eaux usées peut inclure des étapes de réduction des nutriments, telles que la

Chapitre 3 : Résultats et discussion

nitrification et la dénitrification, ainsi que l'élimination du phosphore et, pour réduire les concentrations de ces composés dans les eaux épurées. Le processus d'épuration des eaux usées vise à éliminer les contaminants et à rendre l'eau plus sûre pour l'environnement avant d'être rejetée dans les cours d'eau ou réutilisée

Les résultats d'analyse physico-chimiques tel que MES, DCO, DBO5, T, Conductivité et Salinité présentent sur la figure suivante:



Chapitre 3 : Résultats et discussion

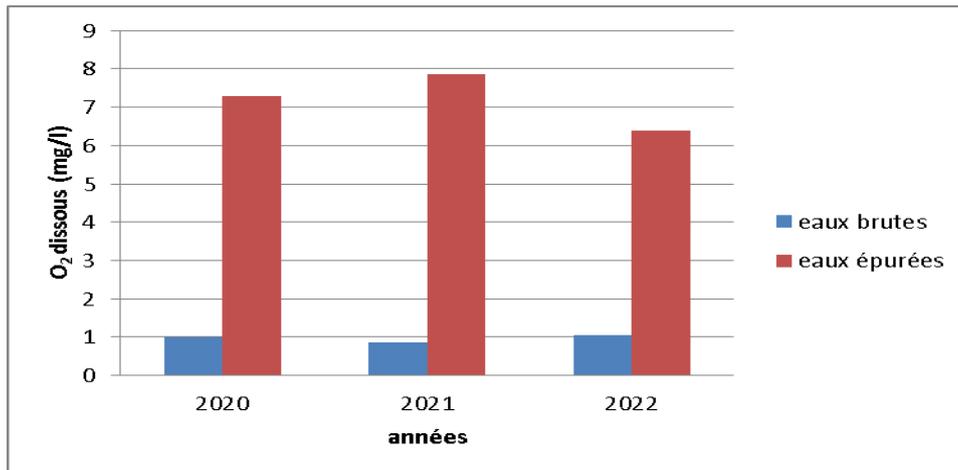


Figure N°3.2: Résultats d'analyse MES, DCO, DBO5, Temperature, Conductivité et salinité et la teneur en oxygène dissous des eaux usées brutes et traitées de STEP de W. AIN DEFLA.

La temperature, la salinité et la conductivité des eaux usées brutes et épurées figurent sur l'histogramme (figure N°3.2). Ces paramètres enregistrés sont inclus dans la fourchette des valeurs limites de rejet direct dans le milieu récepteur et dans la fourchette des normes OMS (Organisation Mondial de la Santé) de qualité des eaux destinées à l'irrigation il y'a pas une variation importante qu'elle vas influt sur la qualité des eaux epurées .

Les eaux brutes contiennent généralement une concentration élevée de matières en suspension MES et une DCO et une DBO5 élevée en raison de la présence de matières organiques non traitées, tandis que les processus de traitement des eaux usées tels que l'aération, décantation et la filtration, visent à les réduire et permettant ainsi d'éliminer une grande partie des composés organiques. Le traitement des eaux usées vise à augmenter la concentration en oxygène dissous dans les eaux épurées avant leur rejet, les processus d'aération et les systèmes de boues activées, sont utilisés pour oxygéner les eaux et favoriser l'activité des micro-organismes. Cela permet d'améliorer la qualité de l'eau traitée en augmentant la teneur en oxygène dissous comme montre la (figure N°3.2). °.

Donc les analyses physico-chimiques montrent la performance de la station d'épuration (STEP) de W. AIN DEFLA qui traite les eaux résiduaires domestique.

Chapitre 3 : Résultats et discussion

Cette STEP a été conçue pour réduire les charges polluantes des eaux usées par le procédé à boues activées. Les résultats physico chimiques obtenus indiquent une réduction remarquable des paramètres de pollution organique (DCO, DBO5), chimique (azote et phosphore) des effluents traités de la STEP. Ces résultats sont souvent conformes aux normes recommandées par la réglementation qu'elle soit Algérienne ou de l'OMS. En résumé, on peut dire que la station a des capacités intrinsèques de traiter l'eau avec la possibilité d'une éventuelle utilisation de l'eau épurées dans de multiples domaines.

En utilisant les résultats des analyses effectuées sur les eaux usées brutes arrivant à la station de W. AIN DEFLA nous avons pu calculer les ratios de pollution DCO/ DBO5 dans le but de caractériser l'origine des eaux usées entrantes à la STEP afin d'évaluer le choix d'un traitement. En effet : Le rapport DCO/ DBO5 rend compte de la fraction des matières facilement biodégradables parmi toute la matière : si les valeurs obtenues sont inférieures à 2,5, on peut conclure que les eaux usées brutes sont d'origine domestique donc un traitement biologique est parfaitement adapté.

Pour les effluents d'industries agro-alimentaires, il est de l'ordre de 1,5 à 2. On note aussi que si le rapport DOC/ DBO5 est supérieur à 3 il traduit l'apport d'un effluent industriel plus ou moins difficilement biodégradable. Dans ce cas, le traitement biologique seul risque d'être inadapté [49].

On peut conclure que les eaux usées de ce rejet ont un caractère domestique, présentent une charge organique élevée et elles sont facilement biodégradables. Les valeurs du rapport DOC/ DBO5 obtenues sont comprises entre 2,05 et 1,7. Donc un traitement biologique est parfaitement adapté.

Chapitre 3 : Résultats et discussion

3.3. Paramètres physico-chimiques d'analyse des boues :

Les résultats présentés ci-dessous concernent les paramètres physico-chimiques des boues d'épuration du STEP de W. AIN DEFLA de l'année 2020 , l'année 2021 et de l'année 2022 sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau N°3.2 : Les résultats des paramètres physico-chimiques des boues du STEP de W. AIN DEFLA.

Années	Boue active					Boue non active		
	MES (g/l)	MS (g/l)	Age des boues (j)	Charge massique	Charge volumique	Volume (m ³)	MS (g/l)	La siccité (%)
2020	5,04	3,9	12	0,04	0,12	3723	18,8	76,86
2021	4,97	3,69	10	0,03	0,14	2250	19,62	74,32
2022	4,35	5,5	19	0,07	0,15	1123.5	21,88	69,68

Les boues non actives ayant une siccité entre 69 et 77 % présente un facteur d'un taux de séchage des biomasses (boues). La matière sèche des boues d'épuration est constituée à la fois de matière organique et de matière minérale.

Le MS c'est la matière sèche pouvant facilement être biodégradable car c'est la matière organique. Ainsi, plus ce taux et la qualité de MS a élevé plus la capacité à produire du biogaz est importante.

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 dépasser les limites car la présence de l'eau est nécessaire (milieu humide). [50] Donc, la station d'épuration a une importance primordiale 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 (Energie)*.

3.4. Le biogaz et la simulation de la production d'énergie :

3.4.1. Production de biogaz :

Afin d'étudier le pouvoir énergétique (biogaz) des boues générées par la station d'épuration de W. AIN DEFLA. Nous avons pris des équations pour calculer le volume du méthane (EqN°2.3, EqN°2.8) et l'énergie produite (EqN°2.7, EqN°2.9) des boues d'épuration:

Le Modèle mathématique I

Le Modèle mathématique I montre la production annuelle «volume méthane V_{CH_4} » (Figure N°3.3) et l'énergie totale E_T (Figure N°3.4)) pendant l'année 2020, 2021 et 2022 par les boues générés par la station d'épuration de W. AIN DEFLA.

Chapitre 3 : Résultats et discussion

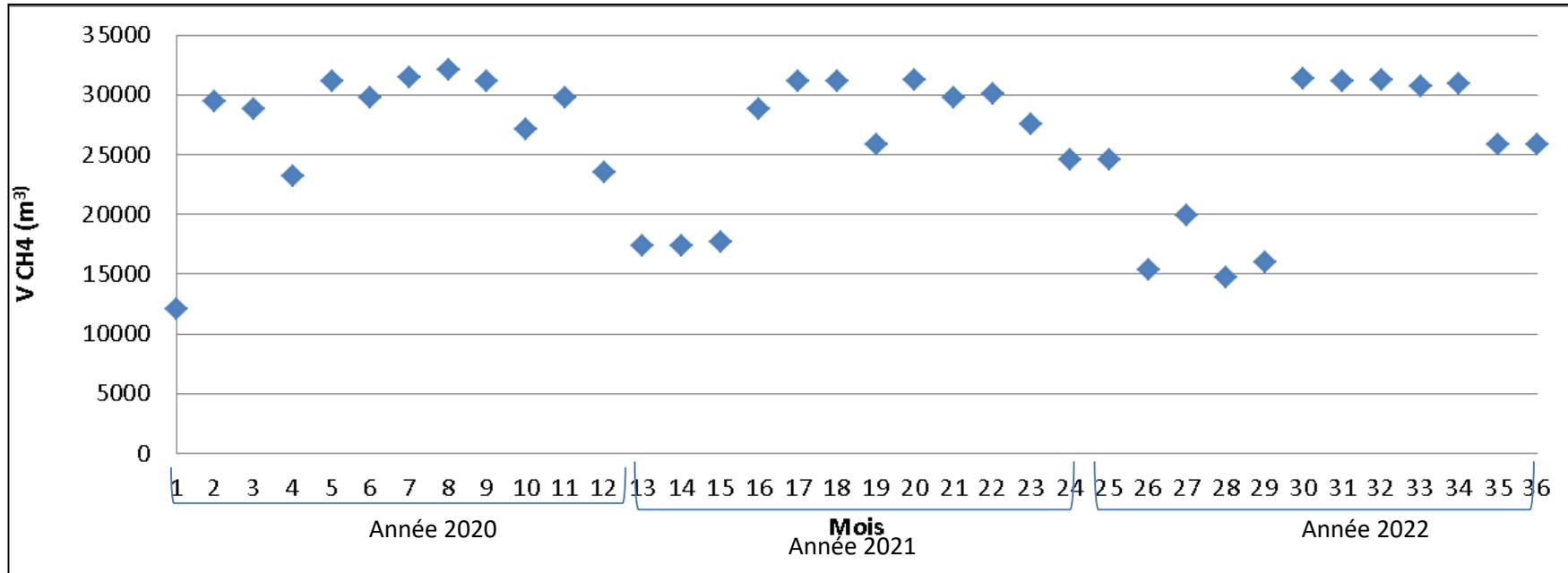


Figure N°3.3: Variation V_{CH_4} produit en fonction des mois selon le Modèle mathématique I.

Chapitre 3 : Résultats et discussion

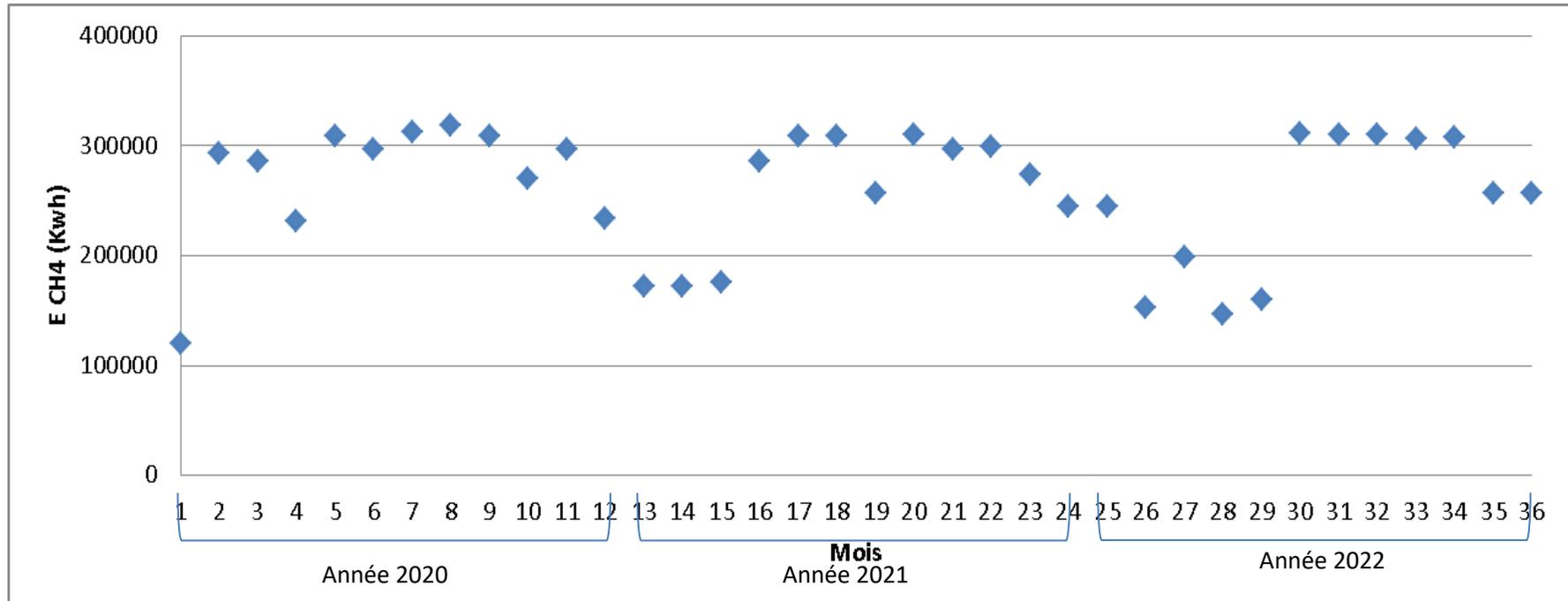


Figure N°3.4: Variation d'énergie de CH4 produite en fonction des mois selon le Modèle mathématique I.

Chapitre 3 : Résultats et discussion

D'après figure N°3.3 et la figure N°3.4 on remarque que le Modèle mathématique I montre une variation presque homogène pendant l'été pour l'année 2020, 2021 et 2022.

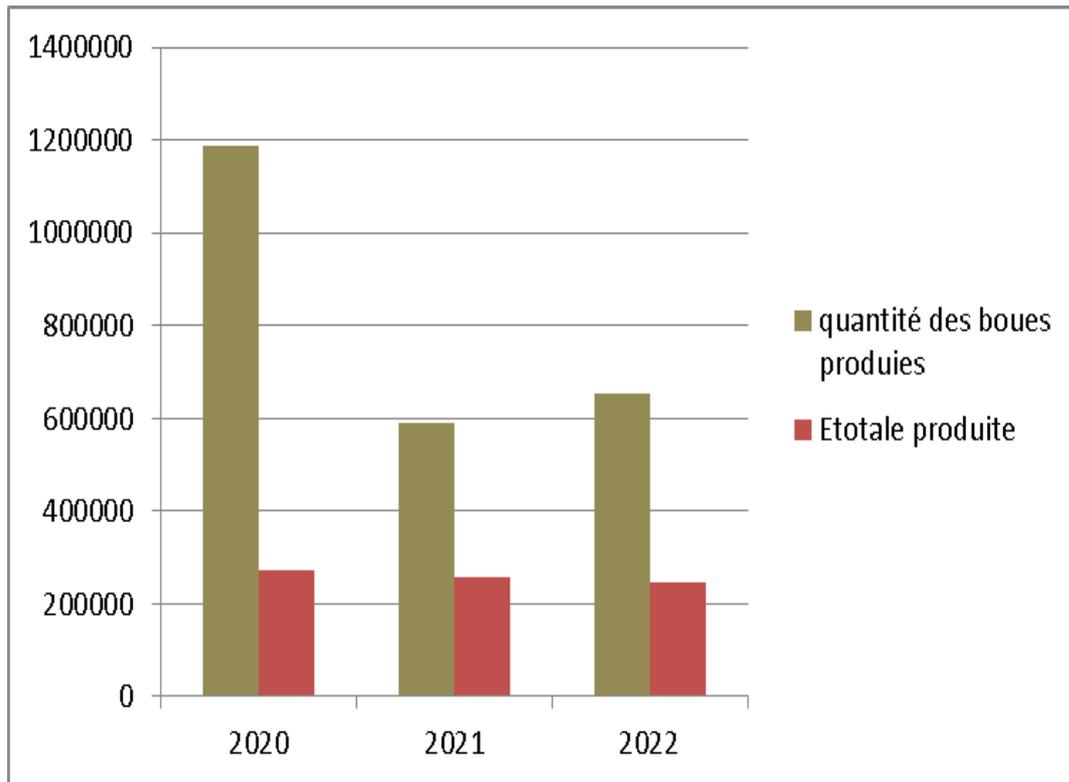


Figure N°3.5: Analyse comparative de la production moyenne d'énergie et de la quantité de boues générées sur une période de 3 ans selon le modèle I

En examinant les données de l'énergie produite annuelle par rapport à la quantité de boues annuelle :

On peut dire qu'on a une relation où la quantité de boues produites est associée à une quantité d'énergie plus élevée produite

Le Modèle mathématique II

Le Modèle mathématique II montre la production annuelle volume méthane V_{CH_4} (Figure N°3.6) et l'énergie totale E_T (Figure N°3.7) pendant l'année 2020, 2021 et 2022 par les boues générées par la station d'épuration de W. AIN DEFLA

Chapitre 3 : Résultats et discussion

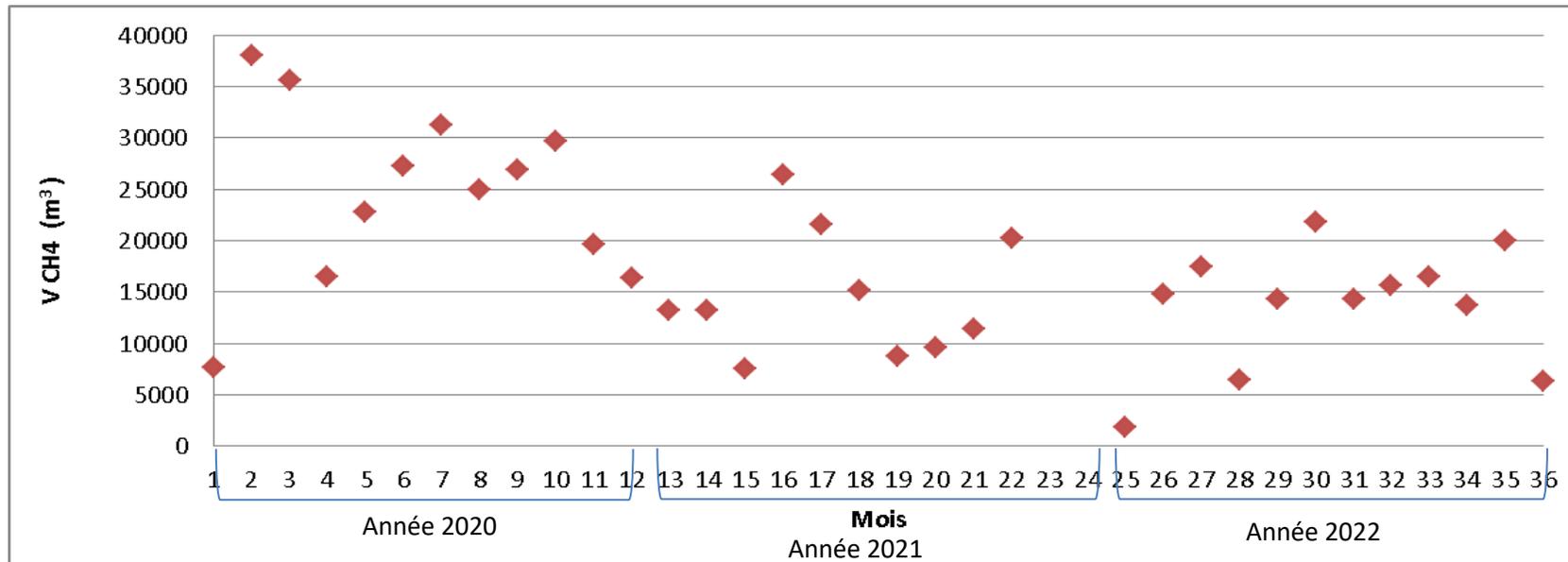


Figure N°3.6: variation de V_{CH4} produit en fonction des mois selon le modèle II

Chapitre 3 : Résultats et discussion

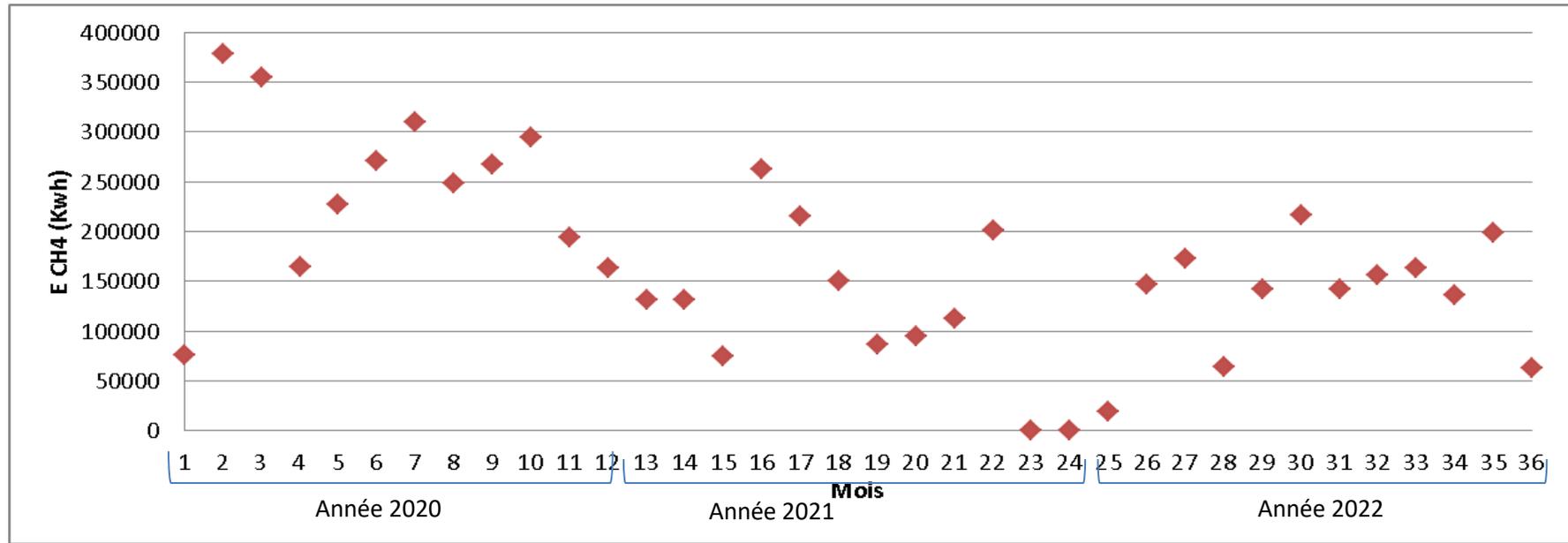


Figure N°3.7: Variation d'énergie de CH4 produite en fonction des mois selon le Modèle mathématique II.

Chapitre 3 : Résultats et discussion

D'après la figure N°3.6 et la figure N°3.7 on remarque que le Modèle mathématique II montre une variation importante de E_T entre les mois et même entre les années par les boues générées par la station d'épuration de W. AIN DEFLA, et même remarque pour V_{CH_4} .

La Figure N°3.9 montre E_T annuel pour l'année 2020, 2021 et 2022.

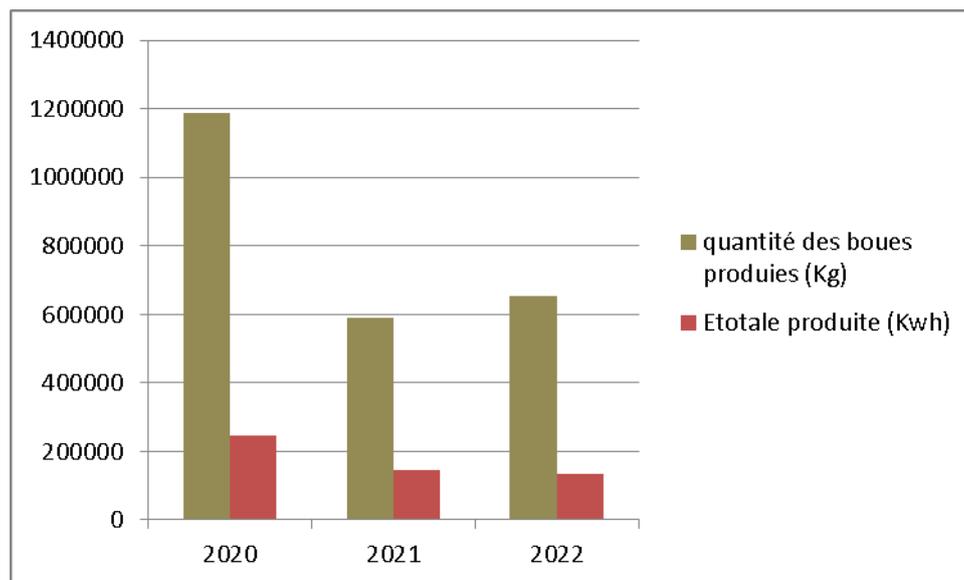


Figure N°3.8: Analyse comparative de la production moyenne d'énergie et de la quantité de boues générées sur une période de 3 ans selon le modèle II

On signale que la quantité de boues en 2020 est plus élevée par rapport aux années 2021 et 2022 durant la présence de la COVID-19.

La Figure N°3.10 et Figure N°3.11 représentent les calculs du volume de CH_4 produit et moyenne d'énergie produite selon deux modèles mathématiques. On remarque que les valeurs du modèle I sont généralement plus élevées que celles du modèle II.

De plus nous constatons une augmentation du V_{CH_4} produit pendant les mois d'été (Juin, Juillet, Août) dans les deux modèles et pendant les 3 années.

Par contre le mois Février, Mars, Avril, Septembre et le mois Décembre donnent une production V_{CH_4} était presque la même quantité avec un écart relativement faible entre les deux modèles selon les données fournies (Figure N°3.10).

Chapitre 3 : Résultats et discussion

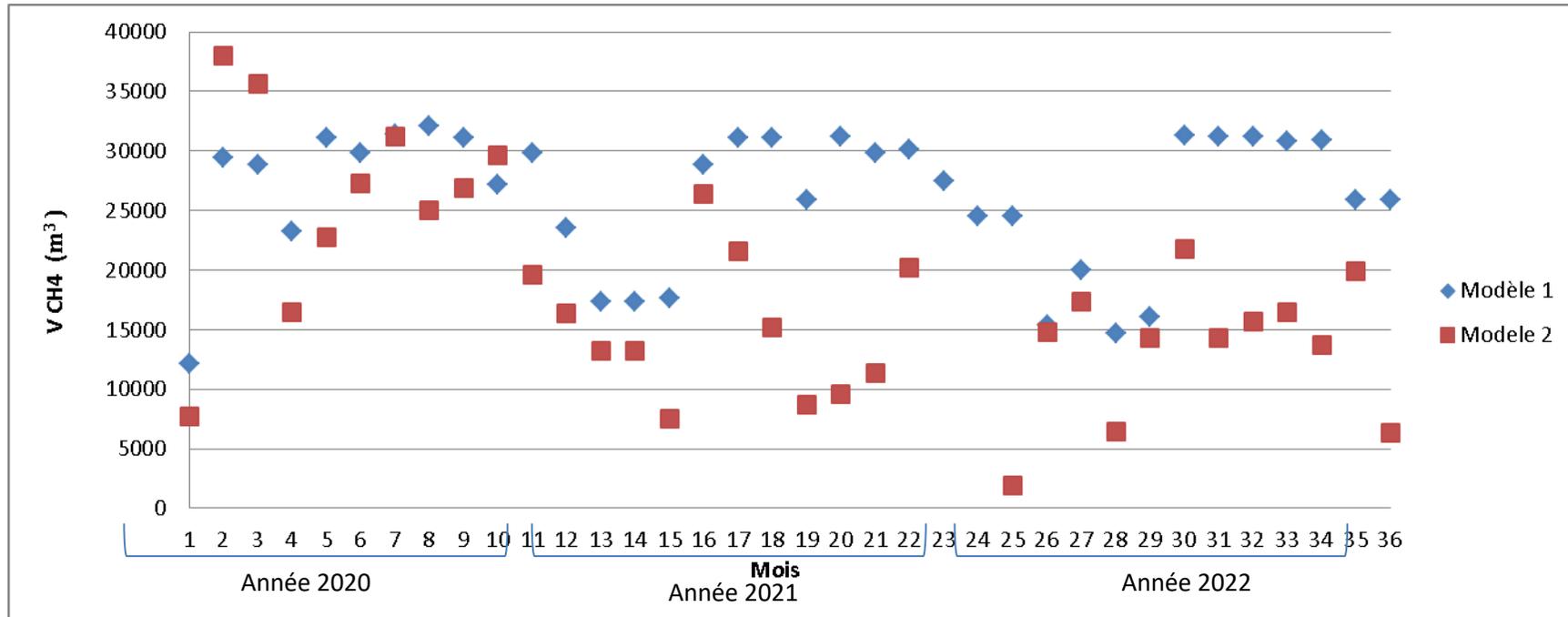


Figure N°3.9: Variation de V_{CH_4} produit en fonction des mois selon les deux modèles.

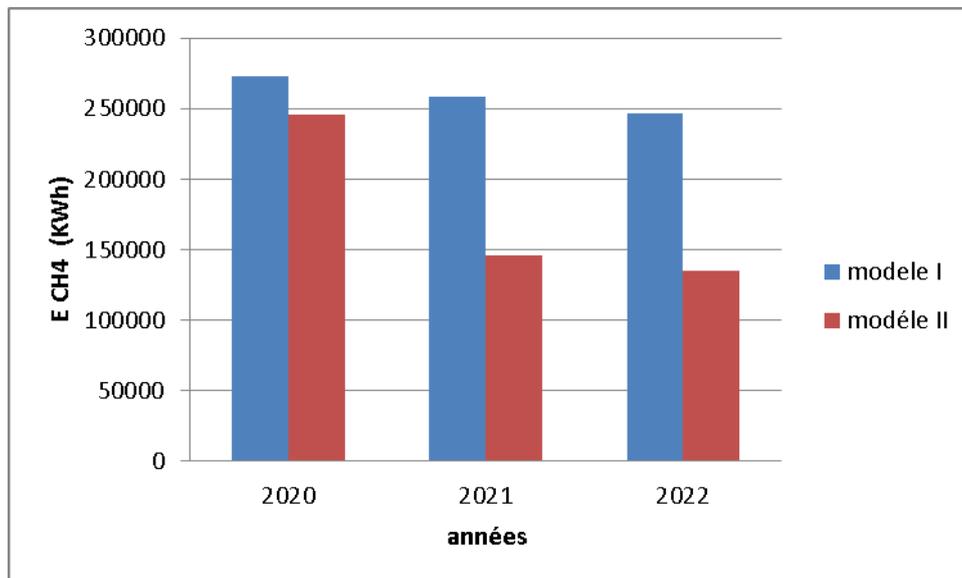


Figure N°3.10: Moyenne d'énergie produite dans les 3 années selon les deux modèles I et II.

Les quantités d'énergie produites par les modèles I et II varient d'une année à l'autre, et le modèle I semble produire des quantités d'énergie généralement plus élevées que le modèle II. Les modèles I et II utilisent des formules différentes pour calculer l'énergie produite. Il est possible que la différence de résultats soit due à des paramètres spécifiques utilisés dans chaque formule.

Conclusion générale et perspectives

3.4.2. Production du méthane et de l'énergie (électrique et thermique)

Mesure de volume de biogaz :

Le volume est mesuré, selon la méthode de liquide déplacé (La figure N°3.12). Le ballon contenant du gaz a été soigneusement attaché et mis dans un bécher de 2L, puis maintenu au fond de celui-ci. Avant d'introduire le ballon le bécher était déjà remplie avec 500 ml d'eau. Lorsque le ballon soit complètement couvert d'eau on lit le volume totale $V_t = (\text{eau (500ml)} + \text{le volume occupé par le ballon})$

Ensuite on retire le ballon et on fait la différence entre les volumes

$$V(\text{ballon}) = V_t - 500\text{ml}$$

Le digesteur utilisé est de capacité de 3 litres. Le digesteur est fermé hermétiquement pour assurer l'anaérobiose. Le volume du biogaz formé est mesuré à l'aide de la méthode de liquide déplacé ($V_{\text{Biogaz}} = 2\text{L}$), comme montre les figures suivantes :



Figure N°3.11:méthode de calcule de volume de biogaz produit

Conclusion générale et perspectives



Figure N°3.12 : Teste l'inflammabilité de biogaz.

Le test d'inflammabilité de biogaz, donne une idée sur le rendement énergétique des boues utilisées.

Notons toutes fois, que le digesteur utilisé la biomasse (boue) (%CH₄=65, V_{Biogaz}=2L/1Kg boues)

Simulation

D'après le résultat expérimental on peut écrire

1 kg (boues mixtes) → 2L (=0,002 m³) de biogaz

D'après la couleur de la flamme (bleu-violette) on estime que le pourcentage de CH₄ est plus que 50%. La valeur moyenne 65% de CH₄.

Donc : V(CH₄) = 0,65* V (biogaz)

1kg (boues mixtes) → 1,3L (CH₄)

1kg (boues mixtes) → 0,0013m³ (CH₄)

Pour vérifier la simulation on utilise les boues qui caractérisent par les paramètres physico-chimiques suivants (données STEP) :

Conclusion générale et perspectives

Tableau N°3.3 : Les résultats des mesures des paramètres physico-chimiques des boues utilisées lors de l'expérience

Boues activées (200g)		Boues sèches (800g)	Boues mixtes
MES (g/l)	MS (g/l)	Siccité (%)	Siccité (%)
5,52	7,06	93,5	80,06

D'après les données de la station d'épuration, nous avons sélectionné les boues produites en Novembre 2022, avec une quantité de 79790 kg. Nous les avons choisies car leurs paramètres physico-chimiques sont similaires à ceux que nous utilisons lors de l'expérience.

1kg (Boues) \longrightarrow 0,0013m³ (CH₄)

79790 kg \longrightarrow **103,727 m³** (CH₄)

$V_{CH_4} = 79790 \times 0,0013 = \mathbf{103,727 m^3}$ (Selon l'expérience).

Selon le modèle I le volume de CH₄ trouvé était : **25862,56 m³**

Selon le modèle II le volume de CH₄ trouvé était : **19947,5 m³**

La valeur expérimentale est significativement inférieure aux valeurs théoriques pour plusieurs raisons :

-Erreurs expérimentales : (erreurs de mesure, des variations dans les conditions expérimentales et des limitations techniques).

-Les valeurs théoriques sont souvent basées sur des modèles simplifiés qui ne prennent pas en compte toutes les variables ou les conditions réelles de l'expérience. Ces simplifications peuvent entraîner des différences entre les valeurs théoriques et les résultats expérimentaux.

Cogénération:

La valorisation de biogaz après purification (méthane pure). Le méthane (CH₄) par cogénération est une méthode efficace pour optimiser l'utilisation de cette ressource

Conclusion générale et perspectives

renouvelable. Elle implique la production simultanée d'électricité et de chaleur. Le méthane est brûlé dans un moteur, produisant de l'électricité qui peut être utilisée localement ou injectée dans le réseau électrique. En même temps, la chaleur résiduelle de ce processus est récupérée et utilisée pour le chauffage des bâtiments, l'eau chaude sanitaire, ou d'autres besoins thermiques.

On utilise un cogénérateur avec un rendement de 70% (un rendement électrique de 30% et un rendement thermique de 40%)

On calcule l'énergie thermique et l'énergie électrique produite par le volume de CH₄ (**103,727 m³**) par les modèles qui ont été établis par *Igoud et al* [54]

Tout d'abord on va calculer l'énergie :

$$E = PCI_{CH_4} \times V_{CH_4} = \mathbf{1031,046 KWh}$$

Et :

$$EE = V_{CH_4} \times PCI_{CH_4} \times \eta_e \quad \mathbf{Eq\ N^{\circ}3.1}$$

$$ET = V_{CH_4} \times PCI_{CH_4} \times \eta_T \quad \mathbf{Eq\ N^{\circ}3.2}$$

Avec :

EE : Energie électrique

V_{CH₄} : Volume de méthane

PCI_{CH₄} : Pouvoir calorifique inférieure de méthane

η_e : Rendement électrique

ET : Energie thermique

η_T : Rendement thermique

On trouve :

$$EE = 309,313 KWh$$

$$ET = 412,418 KWh$$

Conclusion générale et perspectives

Et : $E_{\text{totale}} = EE + ET$ **Eq N°3.3**

$E_{\text{totale}} = EE + ET = 309,313 + 412,418 = 721,731 \text{ KWh}$

On applique les mêmes formules sur les valeurs théoriques trouvées :

Modèle I :

$E_T = 257073,92 \text{ KWh}$

$EE = 77122,17 \text{ KWh}$

$ET = 102829,57 \text{ KWh}$

$E_{\text{totale}} = EE + ET = 179951,74 \text{ KWh}$

Modèle II :

$E_T = 198278,15 \text{ KWh}$

$EE = 59483,445 \text{ KWh}$

$ET = 79311,26 \text{ KWh}$

$E_{\text{totale}} = EE + ET = 138794,705 \text{ KWh}$

La consommation énergétique mensuelle du STEP est de 74264 KWh pour le mois de novembre 2022 (données réel) et le tableau suivant montre les valeurs d'énergie totale fournir par la méthanisation des boues (théoriques, expérimentale).

Tableau N°3.4 : Etude comparative entre l' $E_{\text{Théorique}}$, l' $E_{\text{Expérimentale}}$ et l' $E_{\text{Réel}}$

E Totale (kWh)			
Théorique		Expérimentale	Réel (données STEP)
Modèle I	Modèle II		
179951,74	138794,705	721,731	74264

Conclusion générale et perspectives

Interprétation et conclusion

D'après les résultats expérimentale et théorique de la production du méthane par les boues d'origine de STEP d'AINE DEFLA, ainsi que la simulation de la production d'énergie totale (énergie électrique et thermique). On conclut que :

Une production expérimentale de 721,731 kWh, il semble que la méthanisation des boues ne réponde pas aux besoins énergétiques de la station avec un rendement satisfaisant. Des mesures et des conditions d'amélioration pour augmenter la production d'énergie et améliorer l'efficacité du processus de méthanisation pourraient être nécessaires afin de mieux répondre aux besoins énergétiques de la station d'épuration.

La quantité d'énergie expérimentalement produite est inférieure à la demande énergétique de la station tel que la consommation énergétique de la station d'épuration de 74264 kWh. Cela indique que la production d'énergie par la méthanisation des boues ne suffit pas à couvrir pleinement les besoins énergétiques de la station.

De plus, si l'on compare la valeur théorique avec la valeur réelle, on remarque une production importante de l'énergie donc ***un rendement sur suffisant pour la station.***

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et perspectives

En conclusion, cette étude approfondie sur la méthanisation des boues a mis en évidence l'importance croissante de l'utilisation des énergies renouvelables dans le contexte de la lutte contre le changement climatique et la réduction de la dépendance aux énergies fossiles.

Les services d'assainissement sont connus pour leur consommation énergétique élevée, ce qui nécessite la mise en place de techniques visant à optimiser leur efficacité énergétique et à valoriser les énergies alternatives produites par ces installations. Parmi les principales technologies de récupération énergétique figurent la digestion des boues, qui permet de valoriser l'énergie contenue dans ces substances.

Pour concrétiser cette valorisation, il est essentiel de disposer d'informations statistiques précises sur les stations d'épuration. Ces informations comprennent les caractéristiques des eaux usées traitées, ainsi que les analyses physico-chimiques des effluents et des boues. Elles permettent de mieux comprendre la composition des résidus et de déterminer les meilleures méthodes de valorisation énergétique adaptées à chaque station.

En utilisant ces informations, il est possible de mettre en place des installations de digestion anaérobie pour convertir les boues d'épuration en biogaz, une source d'énergie renouvelable. De plus, les technologies de cogénération peuvent être utilisées pour récupérer la chaleur résiduelle de ces processus et la convertir en électricité ou en chaleur utile.

Dans cette étude faite sur la step de la wilaya d'AIN DEFLA, les résultats expérimentaux ont montré que la production d'énergie issue de la méthanisation des boues était insuffisante pour satisfaire entièrement les exigences énergétiques de cette installation. Toutefois, une analyse comparative entre les valeurs théoriques et les valeurs réelles a révélé une production d'énergie considérable, témoignant d'un rendement satisfaisant pour la station d'épuration.

Cela signifie que des améliorations supplémentaires sont nécessaires pour atteindre une autonomie énergétique complète. Il est crucial de poursuivre les efforts de

Conclusion générale et perspectives

recherche et de développement afin d'optimiser les processus de méthanisation, d'affiner les paramètres opérationnels et de mettre au point des technologies plus efficaces. Aussi que la formation et la sensibilisation du personnel des stations d'épuration aux nouvelles technologies, et de mettre en place des politiques incitatives pour encourager l'adoption de solutions d'énergie renouvelable. Cela permettrait d'accroître la production d'énergie renouvelable à partir des boues d'épuration et d'améliorer davantage l'efficacité énergétique des stations.

Il est donc essentiel de poursuivre les travaux de recherche, de continuer à apporter des ajustements techniques et de mobiliser des investissements afin de concrétiser le potentiel de la méthanisation des boues et de favoriser une transition énergétique plus durable. En combinant ces efforts avec d'autres sources d'énergie renouvelable et des mesures visant à réduire la consommation d'énergie, nous pourrions lutter contre la pollution et promouvoir un avenir durable pour notre planète, Cela contribuera à la durabilité environnementale et à une gestion plus efficace des ressources dans le cadre de la gestion des eaux usées en Algérie

Références

Références

- [1] ADEME. Confort et domotique. Organisation et fonctionnement d'une station d'épuration.
- [2] Solène MOULIN, David ROZEN-RECHELS, Milena STANKOVIC. Traitement des eaux usées. Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environnement et la Société. 24 rue Lhomond 75005 Paris. 6 février 2013
- [3] METAHRI Mohammed Saïd. Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. cas de la step est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat : UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU. juillet 2012
- [4] Zahir BAKIRI. Analyse et optimisation des eaux usées urbaines par boues activées : application au décanteur secondaire. Thèse de doctorat : Université Ferhat Abbas Sétif -1. Décembre 2014
- [5] Emilie JARDÉ. Composition organique de boues résiduelles de stations d'épuration lorraines : caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation. Thèse de doctorat : Université Henri Poincaré, Nancy I. décembre 2002
- [6] Arodí BERNAL-MARTINEZ. Élimination des hydrocarbures aromatiques polycycliques présents dans les boues d'épuration par couplage ozonation – digestion anaérobie. Thèse de doctorat : UNIVERSITE MONTPELLIER II. Septembre 2005
- [7] Hery Tiana RAKOTONDRAMIARANA. Étude 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. Thèse de doctorat : UNIVERSITE D'ANTANANARIVO. janvier 2004
- [8] ADEME. La méthanisation EN 10 QUESTIONS. Une énergie prometteuse, issue des matières organiques : 20, avenue du Grésillé. Octobre 2021
- [9] Dr. Gacem Yasmine . EPURATION DES EAUX USEES. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf.

Références

- [10] Fouzia BENOUDJIT. Caractérisation et valorisation des boues issues d'un office d'assainissement. Cas ONA BOUMERDES (step BOUMERDES). Thèse de doctorat : UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES.2016
- [11] AMORCE. Quelles solutions pour valoriser les boues d'épuration ? : 18, rue Gabriel Péri. Décembre 2019
- [12] S.Kalloum. La digestion anaérobie des boues des stations d'épuration des eaux usées : une opportunité énergétique et environnementale. Unité de Recherche en Energie Renouvelable en Milieu Saharien Adrar. Décembre 2014
- [13] SIBOUKEUR Hicham. Contribution à la production du biogaz à partir des boues de la station d'épuration de la ville de Hassi R'mel. Mémoire de magister : Ecole Nationale Polytechnique. Février 2010
- [14] Marie Collard. Étude de la matière organique de boues de station d'épuration. Influence de différents procédés de traitement des boues. Thèse de doctorat : UNIVERSITÉ DE POITIERS. Octobre 2015
- [15] 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 2012
- [16] L'ORNE. La méthanisation des matières organiques Guide à l'attention des porteurs de projets.2012
- [17] Jean-Romain Bautista Angeli. Etude de faisabilité de la micro-méthanisation par co-digestion à l'échelle des quartiers. Thèse de doctorat. Ecole nationale supérieure Mines-Télécom Atlantique. 2019.
- [18] I. Tou. Production de Biométhane à Partir des Déjections Animales. Laboratoire de Biomasse, Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger.2001

Références

- [19] Mohamad Amr Chamaa. Couplage de la méthanisation et des électro technologies : intensification de la production de biogaz et du séchage du digestat. Thèse de doctorat. Université de Bretagne Sud. 2017.
- [20] Idea, AGENCE DE DÉVELOPPEMENT TERRITORIAL DU COEUR DU HAINAUT. le cycle de l'eau. Comment fonctionne une station d'épuration. Rue de Nimy, 537000 Mons, Belgique
- [21] N. Hajjaji. Production du biogaz par digestion anaérobie : aspects technologiques et environnementaux. Laboratoire Réactions et Génie des procédés Nancy-Université. Janvier 2010
- [22] Christophe Magdelaine. La méthanisation : filière d'avenir ou danger environnementale et sanitaire. Fevrier 2021.
- [23] SOLAGRO. La digestion anaérobie des boues urbaines, état des lieux, état de l'art. 219 avenue de Muret – F 31300 Toulouse. 2001
- [24] Daniel Puyolet. Resource Recovery from Wastewater by Biological Technologies: Opportunities, Challenges, and Prospects. School of Experimental Sciences and Technology, King Juan Carlos University, Mostoles, Spain. Janvier 2017
- [25] Léa Sigot. Epuration fine des biogaz en vue d'une valorisation énergétique en pile à combustible de type SOFC : Adsorption de l'octaméthylcyclotétrasiloxane et du sulfure d'hydrogène. Thèse de doctorat. INSA de Lyon, 2014
- [26] J.François. Formation à la valorisation énergétique de la biomasse lignocellulosique. Les voies humides : le biogaz. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Languedoc Roussillon, France. 1995
- [27] ADEME. Une vision pour le biométhane en France pour 2030 : Injection de biogaz épuré dans le réseau de gaz naturel. Octobre 2014
- [28] Anas Tallou. Assessment of biogas and biofertilizer produced from anaerobic co-digestion of olive mill wastewater with municipal wastewater and cow dung. National

Références

Centre for Research and Study on Water and Energy (CNEREE), Cadi Ayyad University, 40000, Marrakech, Morocco. Septembre 2020

[29] Harmessi Rime. Valorisation énergétique de la matière organique par fermentation méthanique : Le cas de la Tunisie. Rapport Technique : Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie. Université de Carthage.2021

[30] Aziza MELLAK. Production du biogaz à partir des déchets issus d'une ferme d'élevages. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Polytechnique. Octobre 2020

[31] SIBOUKEUR Hicham et al. Microbiological study of the anaerobic digestion of sludge from the purifying plant wastewater from the city of Touggourt, southeast of Algeria. , Université KASDI Merbah Ouargla. 2015

[32] Igoud Sadek. Renewable energy potential generated by organic waste in Algeria. Unité de Développement des Equipements Solaire Udes. 2013

[33] ATEE. Association technique énergie environnement. 10 Octobre 2012. Biogaz : les voies de valorisation.

[34] IFP Energies nouvelles. Mars 2018. Biogaz et biométhane : transformer nos déchets en énergie.

[35] S. IGOUD. Evaluation du gisement des déchets solides urbains d'Alger et proposition de leur valorisation énergétique par méthanisation. Unité de Développement des Equipements Solaires, UDES. 2007

[36] Abdelhakim Kellouche . DIAGNOSTEP : Outil pour le diagnostic des stations d'épuration à boues activées - Application à la STEP d'Ain Defla, Algérie. Direction de l'exploitation et de la maintenance - Office national de l'assainissement Chlef BP 743- 23, Rue CDT Djilali Bounaama Chlef. Janvier 2018

[37] Mounia ABOUELOUAFI . Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes de la ville d'Oujda: canal principal et Oued Bounaïm. UFR des Sciences de l'Environnement en milieu aride et semi-aride, Département de biologie, Faculté des Sciences Oujda. Octobre 2002

Références

- [38] Cheick Tidiane TANDIA. Centre régional pour l'eau potable et l'assainissement à faible coût. Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Janvier 2007
- [39] Lozere. LABORATOIRE DÉPARTEMENTAL D'ANALYSES. Analyses Physico-chimiques des eaux.
- [40] S. IGOUD. Première approche de la caractérisation du biogaz produit à partir des déjections bovines. Division Biomasse-Energie, Centre de Développement des Energies Renouvelables, Bouzaréah, Alger. 2002
- [41] Rapport gratuit. Généralités sur les eaux usées.
- [42] N. Laskri. Traitement et valorisation des déchets par procédé de digestion anaérobie : production du biogaz. Université Africaine Ahmed Draïa, Rue du 11 décembre 1961, Adrar, Algérie. 2007
- [43] Hadjer Saifi. Impact des stations d'épuration des eaux usées sur l'environnement. Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, Ghardaïa – Alegria. Octobre 2018
- [44] CHERGUI Fadoua Nihad. Caractérisation et valorisation des boues de la station d'épuration de la ville de Boussaâda. Mémoire de Master :Université Mohamed khider –Biskra .2020
- [45] portes-essonne-environnement.fr. Exploitation des stations d'épuration.pdf
- [46] Djeghaba Mounir, Benhelima souhila et Belouadah Hanane. Valorisation et élimination de la boue Des eaux usées de l'usine Lafarge ciment de M'sila (LCM). Mémoire de Master. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA. 2020
- [47] Mahmoud B. Traitements des eaux usées. [48] Bleu eau environnement. LA SALINITE.2013.
- [49] AYYACH A. Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées de la station d'épuration de la ville de dar el gueddari (MAROC). 2002

Références

[50] HAMOUCHE Nour El-Imane. Valorisation Energétique des Eaux Usées : STEP de la ville de Tissemsilt. Mémoire de master : niversité Saad Dahlab Blida 1.2021

[51] Vinay Kumar . Bioengineering of biowaste to recover bioproducts and bioenergy: A circular economy approach towards sustainable zero-waste environment. Saveetha Institute of Medical and Technical Sciences (SIMATS), Chennai, Thandalam, 602105, India.2023

[52] Terrence Wenga . Quantification of bio-wastes availability for bioenergy production in Zimbabwe. a Bioenergy and Environment Research group, Department of Soil Science and Environmen.Zimbabwe.2023

[53] CHERIF Mohammed Amin. Contribution à l'élaboration d'un logiciel pour le dimensionnement D'une station d'épuration. Université Abou bekr Belkaïd – Tlemcen.2017

[54] S. Igoud, F. Souahi, and C.-E. Chitour. Energy, Transportation and Global Warming pp 685-693, Chapitre50: Sustainable Management of Sewage Sludge Conditioning and Valorization, 2015

[55] KELLOUCHE Abdelhakim. CONTRIBUTION A LA REALISATION D'UNE APPLICATION GMAO POUR L'OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT DES STEP EN ALGERIE Cas des STEP de Chlef et AIN DEFLA. UNIVERSITÉ HASSIBA BEN BOUALI – CHLEF.2017

Annexes

Mode opératoire

Mesure de DBO5 :

Principe : La mesure de la DBO5 se base en la mesure de la pression dans un système fermé où les microorganismes consomment l'oxygène dans l'échantillon et génèrent des émissions de CO₂. Le CO₂ est absorbé avec NaOH et une pression négative est créée et mesurée directement à DBO5 (mg/l). Avec des employés volumes d'échantillon on règle la quantité d'oxygène disponible qui peut effectuer une détermination complète différentes concentrations et avec de différents volumes initiaux, Cette méthode n'a pas besoin de calculs, parce que le résultat est donné de forme directe [50]



Figure N°6.1: Appareil de mesure de DBO5 [50]

Mesure de DCO

Le principe : Le test consiste en une oxydation chimique de la matière organique par un oxydant fort (acide) et température élevée 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. Le résultat obtenu peut être considéré une mesure de demande théorique d'oxygène. [50]

Détermination de la conductivité :

Matériel nécessaires : Conductimètre et l'eau déminéralisée.

Procédure :

Toujours rincer la sonde à l'eau déminéralisée avant utilisation pour retirer toutes les impuretés adhérant au corps de la sonde. Secouer ou sécher à l'air. Pour éviter toute contamination ou dilution de l'échantillon, rincer la sonde avec un petit volume de la solution d'échantillon.

- 1- Plonger la sonde dans l'échantillon. Vérifier que le niveau de la solution est au-dessus de l'anneau supérieur en acier. Remuer doucement l'échantillon avec la sonde pour homogénéiser l'échantillon.
- 3- Laisser la lecture se stabiliser. [41]

La détermination de MES :

La détermination de MES se fera par filtration sur filtre en fibres de verre compte tenu de l'origine domestique des effluents. La mesure de MES par filtration repose sur le principe de la double pesée : un volume d'eau est filtré sur une membrane (préalablement pesée à vide) de 1,5 microns et les résidus sur cette dernière sont pesés. Le rapport de la différence de masse sur le volume d'eau filtré donne la concentration de MES en milligramme/litre.

- 1- Prendre une membrane GFC et la marquer avec précaution pour ne pas l'abîmer
- 2- Peser la membrane et noter sa masse à vide M0
- 3-Placer la membrane sur la rampe de filtration
- 4-Bien agiter l'échantillon et prélever un volume de l'échantillon et le transvider sur la membrane
- 5-Procéder à la filtration : le volume filtré ne doit pas dépasser 1 litre et la filtration et ne doit pas durer plus d'une demi-heure.
- 6-Récupérer la membrane après la filtration, puis la placer dans une étuve à 105°C pendant 1h30 mn pour enlever l'excès d'eau
- 7- Peser de nouveau la membrane, après séchage, puis noter sa masse M1.

. Expression des résultats :

Annexes

Le rapport entre la différence des masses et le volume filtré donne la concentration de matières en suspension dans l'échantillon. On applique la formule suivante :

$$\text{MES} = (\text{M1} - \text{M0}) / \text{V}$$

MES : concentration de MES en mg/l ;

M0 : masse de la membrane avant filtration ;

M1 : masse de la membrane après filtration ;

V : volume d'échantillon filtré.

La teneur en matière sèche (siccité) et en eau dans les boues

Est obtenue par séchage d'un échantillon dans une étuve à 105°C jusqu'à stabilisation du poids. Cette procédure permet d'une part de quantifier la teneur en eau libre dans l'échantillon et d'autre part d'exprimer les résultats en fonction de la masse sèche. L'expérience consiste à introduire dans un creuset, préalablement séché et pesé, une masse connue de boues déshydratées (boues brutes). L'ensemble (creuset + boues) est séché dans une étuve à 105°C ± 5°C jusqu'à obtention d'une masse constante. Connaissant la masse initiale et la masse finale après perte d'eau, la teneur en matière sèche est calculée :

$$\text{MS \%} = [(\text{ms} - \text{mv}) / (\text{mr} - \text{mv})] \times 100$$

Où : mv est la masse du creuset vide (en g)

Et mr et ms sont les masses respectives du creuset rempli de boues avant et après séchage (en g). [10]

Tableau N°6.1 : paramètres physiques des boues sèches de ka step d'AIN DEFLA

Mois	poids (m3)	siccité(%)	poids en Kg (Ms)
janv-20	83	37	30710
fev-20	169	90	152100
mars-20	162	88	142560

Annexes

avrl-20	93	71	66030
mai-20	96	95	91200
juin-20	120	91	109200
juil-20	130	96	124800
aout-20	102	98	99960
sept-20	113	95	107350
oct-20	143	83	118690
nov-20	86	91	78260
dec-20	93	72	65630
janv-21	100	53	53000
fev-21	100	53	53000
mars-21	56	54	30240
avrl-21	120	88	105600
mai-21	91	95	86450
juin-21	67,5	95	60605
juil-21	44	79	34760
aout-21	40	95,36	38144
sept-21	50	91	45500
oct-21	88	92	80960
nov-21	ND	84	ND
dec-21	ND	75	ND

Annexes

janv-22	10	75	7500
fev-22	126	47	59220
mars-22	114	61	69540
avrl-22	57	45	25650
mai-22	117	49	57330
juin-22	91	95,7	87087
juil-22	60	95,2	57120
aout-22	65	95,4	62660
sept-22	70	94	65800
oct-22	58	94,5	54810
nov-22	101	79	79790
dec-22	32	79	25280

Annexes
