

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ahmed Draïa Adrar



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Hydrocarbures et Energies Renouvelables

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en :

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Chimique

Thème :

Optimisation De Temps De Rétention Hydraulique
Pour La Digestion Anaérobie Des Déchets Ménagers De
La Ville D'Adrar

Préparé par :

M^{me} ABDELKRIM AMEL

M^{me} RABHI KHADIDJA

Membres de jury d'évaluation :

M. CHADLI SAMIR	Président	MCB	Univ. Adrar
M. TAHRI AHMED	Encadreur	MRA	URERMS. Adrar
M. SAHLI YUCEF	Examineur	MRA	URERMS. Adrar

Année Universitaire : 2020/2021

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne populaire et démocratique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITÉ AHMED DRAYA - ADRAR

BIBLIOTHÈQUE CENTRALE

Service de recherche bibliographique

N°.....R.C/S.R.B//U.A/2021



جامعة احمد دراية - ادرار

المكتبة المركزية

مصلحة البحث البيبليوغرافي

الرقم.....م/م/بب/ب/ج/ا/2021

شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة):

طاهر بن أحمد

المشرف مذكرة الماستر.

الموسومة بـ: optimisation de Temps de Retention Hydraulique

pour la Digestion Anaérobie Des Déchets Ménagers
à la Ville D'Adrar

من إنجاز الطالب(ة): عبد الكريم أمال

و الطالب(ة): راجي خديجة

كلية: علوم وتكنولوجيا

القسم: المصروفات والطاقات المتجددة

التخصص: هندسة كيميائية

تاريخ تقييم / مناقشة: 21/06/2021

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وإن المطابقة بين
النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.

ويامكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والالكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

ادرار في: 28/06/2021

مساعد رئيس القسم:

عبد الحميد
المستشار
المستشار
المستشار

Remerciements

Premièrement et avant tous nous remercions

*ALLAH, qui nous donne la force et la Patience pour
réaliser ce modeste travail.*

*Nous remercions également nos parents et nos
familles pour le soutien et l'encouragement, apportés durant nos
études.*

*C'est un grand plaisir d'exprimer mes gratitudes à mon
encadreur, Mr TAHRI AHMED de m'avoir fait confiance de mener à
terme cette recherche sous sa direction; De même notre gratitude*

et profonde considération s'adressent à Mr DAHOU .

*À tous les enseignants de la faculté des sciences et de la technologie
de l'université d'ADRAR.*

*Enfin, un grand merci pour tout ceux qui qu'ont participé de
près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

Merci à tous...



Table des matières

Liste des abréviations.....	i
Nomenclature.....	ii
Liste des figures.....	iii
Liste des tableaux.....	v
Introduction générale.....	1

Chapitre I: Généralité sur les déchets

I.1. Notion de déchets.....	3
I.2. Classification des déchets.....	3
I.2.1 Distinction en fonction de la nature.....	4
I.2.1.1 Rejets liquides.....	4
I.2.1.2 Rejets gazeux.....	5
I.2.1.3 Déchets solides.....	5
I.2.2 Selon l'effet vis-à-vis à l'environnement.....	5
I.2.2.1 Les déchets inertes.....	5
I.2.2.2 Déchets organiques.....	5
I.2.2.3 Les déchets dangereux.....	6
I.2.3 Distinction en fonction de l'origine du déchet.....	6
I.2.3.1 Origine biologique.....	6
I.2.3.2 Origine chimique.....	6
I.2.3.3 Origine technologique.....	6
I.2.3.4 Origine économique.....	6
I.2.3.5 Origine écologique.....	6
I.2.3.6 Origine accidentelle.....	7

I.2.4 Distinction en fonction de la source	7
I.2.4.1 Déchet agricole	7
I.2.4.2 Déchets solides ménagers	7
I.2.4.3 Les déchets industriels.....	8
I.2.4.3.1. Les déchets industriels banals.....	8
I.2.4.3.2. Les déchets industriels dangereux	8
I.2.4.4. Déchets ménagers	9
I.2.4.4.1. Définition de déchets ménagers.....	9
I.2.4.4.2. La composition des déchets ménagers.....	9
I.3. Les Caractéristiques des déchet.....	10
I.3.1. La densité.....	10
I.3.2. Le degré d'humidité.....	10
I.3.3. Le pouvoir calorifique	10
I.3.4. Le rapport des teneurs en carbone et azote.....	10
I.4. Organisation de la gestion des déchets	11
I.5. Traitement et valorisation des déchets.....	11
I.5.1. Traitement par élimination	11
I.5.1.1. La mise en décharge	12
I.5.1.2. L'incinération	12
I.5.2. Traitement par valorisation.....	12
I.5.2.1. Définition de la valorisation des déchets.....	13
I.5.2.2. La valorisation matérielle (recyclage)	13
I.5.2.3. La valorisation énergétique	13
I.5.2.4. La valorisation thermique.....	13

I.5.2.5.	La valorisation biologique.....	14
I.6.	La méthanisation (Les ordures source de biogaz)	16
I.7.	Le compostage	16
I.7.1.	Définition.....	16
I.7.2.	Objectifs et principe.....	16
I.7.3.	Mécanismes de biodégradation.....	16
I.7.3.1.	La fermentation aérobie.....	17
I.7.3.2.	La Maturation.....	17

Chapitre II: La digestion anaérobie

II.1.	Historique de la digestion anaérobie (la méthanisation)	18
II.2.	Définition de la digestion anaérobie.....	18
II.3.	Déchets et matière organiques utilisés en digestion anaérobie	19
II.3.1.	Les déchets municipaux solides et ménagers	19
II.3.2.	Les déchets industrie agroalimentaire	19
II.3.3.	Les déchets agricoles et les cultures énergétiques.....	20
II.3.4.	Le fumier	20
II. 3.5	Les boues des stations d'épuration... ..	20
II.4.	Les réactions biologiques lors de la digestion anaérobie	21
II.5.	Les différentes étapes de la digestion anaérobie	22
II.5.1.	L'hydrolyse	22
II.5.2.	L'acidogénèse.....	23
II.5.3.	l'acétogénèse	24
II.5.4.	La méthanogène	24
II.6.	Différents paramètres influençant la méthanisation.....	25
II.6.1.	Température	26

II.6.2. Potentiel hydrogène Ph.....	27
II.6.3. Rapport C / N et Substances nutritive	27
II.6.4. Le brassage.....	28
II.6.5. Pression partielle en hydrogène.....	28
II.6.6. l'humidité	28
II.6.7. Potentiel redox.....	29
II.6.8. Les nutriments	29
II.6.9. Temps de rétention hydraulique (TRH)	29
II.6.10. Absence de l'oxygène	29
II.6.11. Quantité de matière organique	29
II.6.12. Absence des inhibiteurs.....	30
II.7. le digesteur	30
II.7.1. Définition	30
II.7.2. Classifications des différents types de digesteurs... ..	30
II.7.1. Mode de l'alimentation... ..	30
II.7.1.1. Les digesteurs discontinus... ..	30
II.7.1.2. Les digesteurs continus	31
II.7.1.3. Le digesteur semi-continu	31
II.7.2. Classification selon le type de substrat	32
II.7.3 .Classification selon le nombre d'étapes.....	32
II.8. Avantages et les incontinents de la digestion anaérobie	32
II.9 . Les produits de la digestion anaérobie	33
II.9.1. Les caractéristiques du biogaz.....	34

Chapitre III: Matériels et méthode

III.1. Dispositif expérimental	36
III.2. Substrat	37
III.3. Méthodes d'analyses.....	38
III.3.1. Détermination de la matière sèche(MS).....	38
III.3.2. Détermination de la teneur en matière organique(MO)	40
III.4. Méthodes utilisées.....	41
III.4.1. Le pH	42
III.4.2. La mesure de volume de biogaz et du potentiel de méthane ou BMP	43
III.4.3. Mesure de la DCO(DCOs etDCOt)	44
III.4.3.1. Définition	44
III.4.3.2. Principe	44
III.4.4. Détermination de la DCO	45
III.4.4.1. Préparation de l'échantillon	45
III.4.4.2. Dosage.....	45
III.4.5. Quantification de volume de biogaz et de CH ₄ produit.....	46
III.5. Méthode utilisé.....	48

Chapitre VI: Résultats et discussions

VI.1. Caractéristiques initiales du substrat.....	49
VI.1.1. Taux de la matière sèche.....	49
VI.1.1.2.Taux de la matière organique et matière minérale du substrat	49
VI.2. Evolution de pH.....	50
VI.3. Biogaz	52
VI.4. Volume de méthane	54
VI.5 . Cumule des quantités des volumes	55
Conclusion générale.....	

Liste des abbreviations

OM : Ordures ménagères

DIB : Déchets industriels banals

DIS : Déchets industriels spéciaux

C/N: Rapport carbone azote

UIOM : D'usine d'incinération des ordures ménagères

pH : Potentiel hydrogène

CH₄: Méthane

H₂O: Eau

CO₂: Dioxyde de carbone

H₂ : Hydrogène

CH₃COOH : Décarboxylation de l'acide acétique

MS: Matière sèche

MO: Matière organique

AGV : Les acides gras volatiles

TRH : Temps de rétention hydraulique

BMP: Test de potentiel méthanogène

DCOs: Demande chimique en oxygène soluble

DCOt : Demande chimique en oxygène totale

Liste des figures

Figure1 : Valorisation des déchets.....	13
Figure2 : Les principales étapes de la méthanisation.....	22
Figure3 : Taux de production de biogaz en fonction de la température.....	26
Figure4 : Différents modes de fonctionnements d'un bioréacteur	31
Figure 5 : Equivalent énergétique d'un mètre cube de biogaz (contenant 70% de méthane et 30 % de gaz carbonique).....	35
Figure6 : Dispositif expérimental du digesteur continu à l'échelle du laboratoire.....	36
Figure7 : Schéma représentatif de système de mesure du volume du biogaz et de CH ₄ produit. (Test de Potentiel méthanogène ou BMP).....	47
Figure8 .: Evolution de pH pour le TRH 14.....	50
Figure 9 : Evolution de pH pour le TRH 21.....	50
Figure10 : Evolution de pH pour le TRH 28	51
Figure 11 : Evolution des volumes de biogaz avec le TRH 14.....	52
Figure12 : Evolution des volumes de biogaz avec le TRH 21.....	52
Figure 13 : Evolution des volumes de biogaz avec le TRH 28.....	53
Figure14 : Evolution des volumes de méthane avec le TRH 14.....	54
Figure15 : Evolution des volumes de méthane avec le TRH 21.....	54
Figure16 : Evolution des volumes de méthane avec le TRH 28.....	55
Figure 17 : Les cumule des volumes (biogaz et méthane) avec les différents temps des rétentions hydrauliques.....	56

Liste des photos

Photo 1: Digesteur continu à l'échelle du laboratoire.....	37
Photo 2: Echantillon du substrat étudié.....	38
Photo.3 : Photo de l'étuve utilisée.....	39
photo.4 : l'échantillon après desiccation.....	40
Photo.5 : Photo du four à moufle utilisé.....	41
Photo.6: l'échantillon après calcinations.....	42
Photo 7: Le pH-mètre utilisé.....	43
Photo 8: Système de mesure du volume du biogaz et de CH ₄ (BMP)	47

Liste des tableaux

Tableau 01 : Méthodes de traitement des ordures ménagères	12
Tableaux 02 : Les différentes techniques de valorisation biologique... ..	15
Tableau.3 : Les caractéristiques du biogaz et du méthane déterminées à 0°C et 1 atm.....	34
Tableau4 : Taux de la matière sèche du substrat	49
Tableau 5 : Taux de la matière organique matière minérale et du substrat	49
Tableau 6 : Caractéristiques du substrat après chaque temps de séjour	56

Liste des unités

mtH/Kg : Millithermie par kilogramme

% : Par cent

m³/jour : Mètre cube par Jours

ml : Millilitr

cm : Centimètre

L : litre

m³: Mètre cube

M/l : Moule par litre

g/l : Gramme par litre

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La croissance démographique qu'a connue le monde dans le courant du siècle dernier, ainsi que le développement industriel et l'accélération de l'urbanisation, ont été accompagnés d'une demande accrue en énergie, surtout le pétrole, qui est considéré comme la première source d'énergie. Face à cette demande en hausse, les réserves en combustibles fossiles ne dureront pas éternellement, la pénurie du pétrole va progressivement s'installer. [1]

Aux vues des prévisions catastrophiques annoncées, quelles solutions doit-on adopter pour assurer la pérennité des ressources et la préservation de l'environnement tout en répondant à l'explosion de la demande énergétique? Outre la rationalisation de la consommation qui s'avère indispensable, de nombreuses solutions techniques sont à l'étude actuellement [2].

Une des technologies permettant le traitement de la fraction organique de ces déchets est la digestion anaérobie (bio méthanisation), qui consiste en une dégradation biologique, en absence d'oxygène, de la matière organique en un mélange de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2) appelé 'biogaz'.

Grâce à la digestion anaérobie, les déchets deviennent une source de richesses. Cette technologie devient essentielle dans le processus de réduction des volumes de déchets et la production de biogaz, qui est une source d'énergie renouvelable pouvant être utilisée dans la production d'électricité et de la chaleur.

Durant le processus de digestion anaérobie, seule une partie de la matière organique est complètement dégradée, le reste est un excellent agent de fertilisation des terres agricoles et qui peut être utilisé en tant que tel [3].

Comme objectif de ce travail nous sommes intéressés à l'optimisation de temps de rétention hydraulique de la digestion anaérobie de déchets ménagers de la ville d'Adrar. Nous avons divisé ce travail en quatre chapitres. Les deux premiers chapitres sont consacrés à la partie théorique liée à notre travail, Dans le premier, nous abordons les

INTRODUCTION GÉNÉRALE

généralités sur les déchets et leurs traitements. Le deuxième chapitre est une synthèse bibliographique sur la digestion anaérobie et la valorisation de biogaz.

Les deux derniers chapitres sont consacrés au côté pratique, où il est dans l'avant dernier chapitre nous avons exprimé tout le matériels exploités et les différentes méthodes utilisées dans ce travail, en revanche, le dernier chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus et à leur discussion, et à la fin une conclusion des principaux résultats.

CHAPITRE I :

GÉNÉRALITÉ SUR

LES DÉCHETS

I.1 Notion de déchets

Dans le secteur des déchets, le rôle des définitions (et du vocabulaire) est particulièrement critique. Ainsi, selon la loi 01-19 du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets le déchet est défini comme étant tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériaux, produit ou, plus généralement, tout objet, bien meuble dont le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer .

D'après, « Les termes de "bien meuble" et "abandon" font appel à des notions de droit civil appartenant à la terminologie du droit des biens. Le terme "abandon" pourrait rattacher juridiquement le déchet "bien meuble" à la catégorie des "choses sans maîtres", choses volontairement délaissées par leur propriétaire .]4[

Cependant, la notion de détenteur et la définition de l'abandon renvoient implicitement à la responsabilité du producteur et/ou du détenteur de déchets.

Aussi, derrière tout déchet surtout générateur de nuisances, se trouve une personne physique qui le produit ou le détient et qui en est responsable jusqu'à son élimination finale. Et ce même si le déchet n'est plus physiquement entre ses mains.]4[

le déchet est défini "comme un produit dont la valeur d'usage et la valeur d'échange sont nulles pour son détenteur ou son propriétaire. Ce déficit en valeur économique tient du fait que le déchet n'est pas un produit rare, contrairement à l'air par exemple»]5[.

Par ailleurs, pour le dictionnaire LAROUSSE, un déchet est un débris ou tous les restes sans valeur de quelque chose ou encore tout ce qui tombe d'une matière qu'on travail (exemple : un déchet radioactif) . C'est donc toute matière ou objet indésirable abandonné sur la voie publique, même les cadavres d'animaux, bref une réunion de résidus hétérogènes]6[

I.2 Classification des déchets

Différentes classifications des déchets existent selon leur origine, Une autre classification des déchets s'appuie sur la nature du danger qu'ils représentent pour l'environnement : déchets inertes, banals et spéciaux.]7[

I . 2.1 Distinction en fonction de la nature

Une première approche distingue les déchets en fonction de leur nature physique : solides, liquides et gazeux.

I. 2.1.1 Rejets liquides

Un rejet liquide est un résidu liquide non traité résultant d'un procédé industriel ou d'une activité humaine rejeté dans l'environnement et, aussi toute substance liquide qui produit des changements au moment où elle entre en contact avec l'eau modifiant ses propriétés physiques.

Il existe trois types de rejets liquides : eaux usées domestiques, eaux usées industrielles et eaux pluviales.

- **Eaux usées domestiques**

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, et des rejets de toilettes dites "eaux vannes", qui sont chargés de matières organiques azotées et de bactéries (germes fécaux).

- **Eaux usées industrielles**

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques et des hydrocarbures. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte.

Elles ne sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution.

- **Eaux pluviales**

Elles peuvent, elles aussi, constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), et en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées

des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). En cas de fortes précipitations, les contraintes de préservation des installations d'épuration peuvent imposer un déversement de ce mélange très pollué dans le milieu naturel.

I.2.1.2 Rejets gazeux

On entend par rejets atmosphériques, toute émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, émises par des sources fixes et notamment par les installations industrielles. Ils peuvent être des substances nocives et toxiques à l'environnement (flore, faune et atmosphère).

I.2.1.3 Déchets solides

Les principaux types de déchets solides que nous allons prendre en considération sont : les déchets solides ménagers, les déchets assimilés aux ordures ménagères et les déchets solides industriels.]8[

I .2.2 Selon l'effet vis-à-vis a l'environnement

I .2.2.1 Les déchets inertes

Ils correspondent à des déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne Produisent aucune réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières, avec lesquelles ils entrent en contact , d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l' environnement ou de nuire à la santé humaine .Ils correspondent à des déchets minéraux non pollués (tuiles ,céramiques ,briques ,bétons...).Ils peut également s'agir de déchets industriels comme certains laitiers de hauts-fourneaux ou encore des scories .]9[

I .2.2.2 Déchets organiques

Ensemble des résidus ou sous-produits organiques biodégradables issus de l'activité agricole, de l'industrie agroalimentaire ou des collectivités urbaines et qui posent des problèmes de gestion à leurs détenteurs. Une fois traites, ces déchets organiques sont utilisés en agriculture. Comme des amendements organiques ou des engrais organiques.]10[

I.2.2.3 Les déchets dangereux

Les déchets sont considérés comme dangereux s'ils présentent une ou plusieurs des propriétés suivantes : explosif, comburant, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérogène, corrosif, infectieux, toxique pour la reproduction, mutagène, écotoxique. [11]

I.2.3 Distinction en fonction de l'origine du déchet

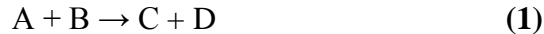
L'encyclopédie « les Techniques de l'ingénieur » fait une classification très détaillée des déchets en six groupes comme selon leurs origines :

I.2.3.1 Biologique

Les déchets d'origine biologique sont définis par le fait que tout cycle de vie produit des métabolites (matière fécale, cadavre, etc.).

I.2.3.2 Chimique

Toute réaction chimique est régie par les principes de la conservation de la matière et dès lors si l'on veut obtenir un produit C à partir des produits A et B par la réaction suivant :



D sera un sous-produit qu'il faut gérer si on n'en a pas l'usage évident.

I.2.3.3 Technologique

Quelles que soient la fiabilité et la qualité des outils et procédés de production, il y a inévitablement des rejets qu'il faut prendre en compte tel que les chutes, copeaux, résidus, solvants usés, emballages, etc.

I.2.3.4 Économique

La durabilité des produits, des objets et des machines a forcément une limite qui les conduits, un jour ou l'autre à leur élimination ou leur remplacement.

I.2.3.5 Écologique

Les activités de dépollution (eau, air, déchets) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessitent eux aussi une gestion spécifique.

I.2.3.6 Accidentelle

Les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont à l'origine des déchets.]12[

I.2.4 Distinction en fonction de la source

Les déchets, peuvent être classés selon leurs sources en trois types :

I.2.4.1 Déchet agricole

L'agriculture produit beaucoup de résidus, comme exemple la culture des bananes, du blé, olive...etc. la digestion anaérobie présente un traitement efficace pour réduire le volume de ces produits et de leur valorisation énergétique.]4[

I.2.4.2 Déchets solides ménagers

C'est l'ensemble des déchets produits par l'activité domestique des ménages. Ils peuvent être pris en compte par les collectes traditionnelles et les collectes sélectives réalisées dans le cadre du service public d'élimination. A l'intérieur des déchets ménagers, il faut distinguer les catégories suivantes, selon les spécificités de nature et leurs destinations possibles :

- **Les ordures ménagères (OM)**

Déchets solides de toute nature produits par les occupants des habitations et déposés dans des poubelles individuelles ou collectives et qui peuvent être pris en compte par la collecte traditionnelle (déchets de la cuisine, restes alimentaires, emballages, papier, carton, plastique, textiles, cuir, bois, cendre...)

- **Les encombrants**

C'est une partie des déchets ménagers liés à une activité occasionnelle qui, en raison de leur volume ou de leur poids, ne peuvent être pris en compte par la collecte régulière des ordures ménagères. Ils comprennent les meubles, les pneus, les électroménagers, les déblais, les gravats et les déchets de jardin.

- **Les déchets ménagers spéciaux**

Ce sont les déchets ménagers présentant un ou plusieurs caractères dommageables pour l'environnement, ou qui ne peuvent être éliminés par les mêmes voies que les ordures

ménagères sans créer de risque pour le personnel chargé de leur enlèvement (déchets comme : les bidons de peinture, bouteilles contenant des produits nettoyants...).

- **Déchets assimilés aux ordures ménagères**

Ce sont les déchets issus des activités économiques de l'artisanat, des commerces, des bureaux, écoles, hôtels et industries ou d'établissements collectifs et pouvant être éliminés avec les ordures ménagères non dangereux, ils n'entraînent pas, eu égard à leurs caractéristiques et aux quantités produites, de sujétions techniques particulières et de risques pour les personnes et l'environnement (emballages, papier, carton, plastique, cendre, déchets de nettoyage...). [13]

I.2.4.3 Les déchets industriels

Ils proviennent de l'industrie, du commerce, de l'artisanat et des transports. Ils regroupent:

I.2.4.3.1 Les déchets industriels banals: Ils sont constitués des :

- Emballages des ménades ;
- Emballages des entreprises ;
- Papiers et cartons ;
- Verres ;
- Bois ;
- Plastique ;
- Inertes (gravis, sable...) ;
- Métaux ferreux et non ferreux . [14]

I.2.4.3.2. Les déchets industriels dangereux:

Ils sont constitués des déchets organiques, des déchets minéraux liquides ou solides.

Ce type des déchets peut présenter des risques pour la santé et génèrent souvent des nuisances pour l'environnement, pour ces raisons, ils doivent être collectés, transportés, traités, éliminés ou stockés selon des règles strictes.

On distingue les:

- Solvants ;
- Hydrocarbures ;

- Goudrons ;
- Acides ;
- Peintures ;
- Boues de stations de traitement des rejets industriels ;
- Déchets phytosanitaires ;
- Déchets toxiques en quantité dispersées . [15]

I.2.4.4 Déchets ménagers :

I.2.4.4.1 Définition :

Les déchets ménagers ou les déchets municipaux sont les ordures ménagères issues de l'activité domestiques de ménages, et qui sont collectés par les communes . [16]

I.2.4.4.2 La composition des déchets ménagers :

La composition des déchets ménagers est assez diverse et varie en fonction de nombreux facteurs, on cite :

- Le type habitat (résidentiel ou urbain) ;
- Les saisons, les fêtes et les week-ends ;
- La géographie : à l'échelle d'une région et d'un pays ;
- La réglementation locale ;
- Les méthodes de gestion des déchets . [15]

La composition des déchets est déterminée par le tri par classe. Les déchets ménagers sont séparés par le tri manuel en un certain nombre de classes correspondant à une classification en sept classes :

a- Matières fermentescible (résidus de jardin, herbes, feuilles, restes alimentaires, épluchures de légumes et de fruits etc...) ;

b- Matières plastiques (emballages plastiques, pots de yaourt etc...) ;

c- Papiers-cartons (journaux, serviettes, enveloppes etc...) ;

d- Textiles (vêtements, draps, serviettes, couvertures etc...) ;

e- Métaux (biotes de conserves, casseroles, lames etc...) ;

f- Verre (emballages en verre, lampes, etc...) ;

g- Déchets divers [déchets spéciaux (seringues usagées, piles, thermomètres, médicaments périmés), bois, chaussures, poils, lièges, cuir etc...] . [17]

I.3 Les Caractéristiques des déchet

On caractérise les déchets par quatre paramètres essentiels : la densité, le degré d'humidité, le pouvoir calorifique, le rapport des teneurs en carbone et azote (C/N).

I.3.1. La densité

La connaissance de la densité est d'une grande importance pour le choix des moyens de collecte et de stockage. Toutefois comme les déchets sont compressibles, la densité n'a un sens que si on définit les conditions dans lesquelles on la détermine. C'est pourquoi on peut avoir une densité en poubelle, une densité en benne, une densité en décharge, une densité en fosse, etc. La densité en poubelle est mesurée en remplissant les ordures fraîches dans un récipient de capacité connue sans tassement

I.3.2. Le degré d'humidité.

Les ordures renferment une suffisante quantité d'eau variant en fonction des saisons et le milieu environnemental. Cette eau a une grande influence sur la rapidité de la décomposition des matières qu'elles renferment et sur le pouvoir calorifique des déchets.]18[

I.3.3. Le pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique est défini comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids en ordures brutes. Il s'exprime en millithermie par kilogramme d'ordures (mth/Kg).

I.3.4. Le rapport des teneurs en carbone et azote

Le rapport C/N a été choisi comme critère de qualité des produits obtenus par le compostage des déchets. Il est d'une grande importance pour le Traitement biologique des déchets, car l'évolution des déchets en fermentation peut être suivie par la détermination régulière de ce rapport.]10[

I. 4 Organisation de la gestion des déchets

La gestion des déchets consiste en toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets. A partir de cette définition, on distingue six opérations dans le mode de gestion des déchets existant en Algérie :

- **La collecte des déchets** : est l'opération de ramassage et/ou le regroupement des déchets en vue de les transférer vers un lieu de traitement.
- **Le tri des déchets** : est la séparation des déchets selon leur nature en vue de leur traitement, par exemple le papier, plastique,...
- **La valorisation des déchets** : est la réutilisation, le recyclage ou le compostage des déchets. Le recyclage consiste à valoriser des produits usés ou des déchets. Le compostage est un processus biologique dans lequel les déchets organiques sont transformés par des microorganismes en un produit valorisable appelé compost.
- **L'élimination des déchets** : comprend les opérations de traitement thermique, physico-chimique et biologique, de mise en décharge, d'enfouissement, d'immersion et de stockage des déchets, ainsi que toutes les autres opérations ne débouchant pas sur une possibilité de valorisation ou autre utilisation du déchet.
- **Immersion des déchets** : tout rejet de déchets dans le milieu aquatique.
- **Enfouissement des déchets** : tout stockage des déchets en sous-sol.]19[

I.5.Traitement et valorisation des déchets

On a longtemps considéré les déchets comme des matériaux qui ne servent plus et qu'il faut jeter. Il existe quatre façons de se débarrasser des déchets : les jeter, les enterrer, les brûler ou les composter .]20[

traiter un déchet c'est lui permettre soit d'être valorisé : cas de tous les tris, récupération, transformations qui permettront de lui trouver une utilisation, soit d'être rejeté dans le milieu extérieur dans des conditions acceptables. [21]

I.5.1. Traitement par élimination

98% des ordures sont collectées et traitées de la façon suivante : [22]

Tableau 01 : méthodes de traitement des ordures ménagères

Mise en décharge	51%
Incinération avec récupération d'énergie	27%
Incinération sans récupération d'énergie	11%
Tri compostage	7%
Recyclage matière	4%

I.5.1.1. La mise en décharge

Actuellement, la mise en décharge est utilisée comme méthode de gestion des déchets dans tous les états, son importance varie selon les pays, selon les conditions géographiques et géologiques.

L'évacuation des déchets dans des décharges est de loin la méthode la plus courante.

La décharge est le moyen d'évacuation le plus satisfaisant et le plus économique, mais uniquement si le terrain approprié n'est pas trop éloigné du lieu de production des déchets.]23[

I. 5.1.2. L'incinération : C'est la technique choisie par de nombreux syndicats intercommunaux en raison d'avantages majeurs. L'usine d'incinération occupe moins d'espace que la décharge et elle permet la valorisation des ordures, en produisant de la chaleur, transformée en eau chaude alimentant le réseau de chauffage urbain ou en électricité]24[

Elle a deux effets positifs, d'une part, la quantité de déchets est réduite de 90%, Les mâchefers sont, bien sûr, beaucoup plus compacts que les déchets avant incinération. Et d'autre part, l'incinération permet de valoriser la chaleur produite en chauffage et en électricité.

Il existe trois types d'usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM):

- Incinérateurs à lit fluidisé ou à grille sont grands et sont conçus pour valoriser l'énergie produite lors de la combustion
- Les incinérateurs modulaires sont plus petits et brûlent tous les déchets, ils sont assemblés dans une usine et coûtent moins cher à construire
- Les incinérateurs à combustible dérivé des déchets, seule la fraction combustible des déchets est brûlée]20[.

I. 5.2. Traitement par valorisation

I. 5.2.1 Définition de la valorisation des déchets

Tout traitement où utilisation des déchets qui permet de leur trouver un débouché ayant une valeur économique positive. Le terme général valorisation englobe réemploi, recyclage et réutilisation.

On distingue nombreux types de valorisation des déchets :

- Valorisation énergétique ;
- Valorisation en matière première organique et minérale ;
- Valorisation en science des matériaux ;
- Valorisation en agriculture ;
- Valorisation en technique de l'environnement. [25]

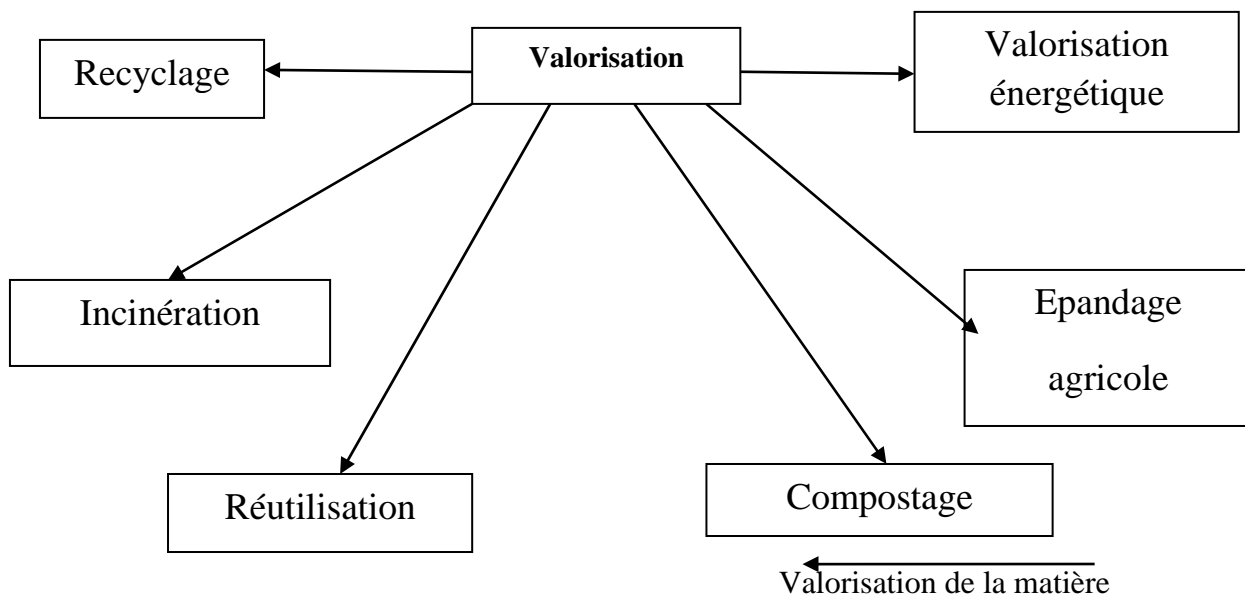


Figure1 : valorisation des déchets .

I.5.2.2. La valorisation matérielle (recyclage)

Il est possible de récupérer et de réutiliser de nombreux matériaux que l'on trouve dans les déchets pour fabriquer des nouveaux produits du même type ou d'un type différent.]20[

I.5.2.3. La valorisation énergétique

Consiste à utiliser les calories contenues dans les déchets, en les brûlant et en récupérant l'énergie ainsi produite pour, par exemple, chauffer des immeubles ou produire de l'électricité. C'est l'exploitation du gisement d'énergie que contiennent les déchets.]26[

I.5.2.4. La valorisation thermique

La valorisation thermique identifiés est au nombre de trois : l'incinération, la gazéification et la pyrolyse. L'incinération est un mode d'élimination utilisé pour le traitement des déchets ultimes tandis que la gazéification et la pyrolyse sont des procédés permettant le traitement de déchets valorisables (recyclables et bio déchets). Au sens de la réglementation, une diminution de l'utilisation des modes d'élimination est imposée. Il est important de garder cette notion en mémoire car elle conditionnera les propositions finales de scénarios de gestion]27[.

I.5.2.5. La valorisation biologique

La matière organique présente la propriété d'être une substance biodégradable, c'est à dire qu'une action bactérienne, naturelle ou induite, la décompose assez rapidement en molécules simples utilisables par les plantes. Cette dégradation peut se dérouler en milieu aérobie (présence d'oxygène) ou anaérobie (absence d'oxygène), la mise à disposition d'air lors de cette dégradation induit une réaction de fermentation aérobie : c'est le principe du compostage]28[

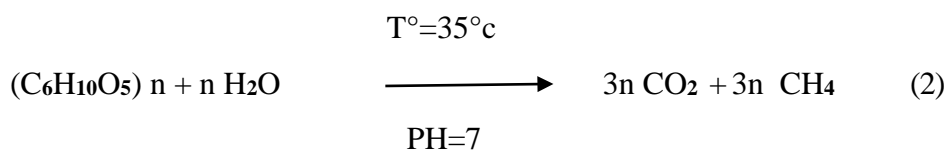
Tableaux 02 : les différentes techniques de valorisation biologique]29[

Technique		Définition
compostage	Le compost anaérobie	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Est le compost résultant d'un entassement de Débris végétaux qui se décomposent sur place. ➤ Les inconvénients d'un tel compost sont : <ul style="list-style-type: none"> • Odeurs désagréables du au pourrissement • Evolution plus lente que celle d'un compost aérobie • Les risques de problème phytosanitaires car sa température reste basse et les organismes pathogènes ne sont pas détruits
	Le compost aérobie	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Il ne possède pas d'odeur désagréable. ➤ Sa maturation est beaucoup plus rapide. ➤ Les graines des mauvaises herbes et les germes pathogènes sont détruits lors de l'élévation de température résultant de la fermentation.
		<ul style="list-style-type: none"> ➤ seul inconvénient est qu'il nécessite une intervention humaine plus importante que le compost anaérobie
La méthanisation :		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Est un procédé de fermentation sans insufflation d'air, qui aboutit à un dégagement de biogaz provenant de la fermentation des déchets (dans les décharges contrôlées)

	➤ Riche en méthane récupérable par différentes techniques .
--	---

I.6. La méthanisation (Les ordures source de biogaz)

Américains, Danois, Hollandais, Anglais et Allemands utilisent depuis longtemps le gaz libéré par fermentation anaérobie de la matière organique selon la réaction suivante :



Le méthane (CH₄) récupéré peut être transformé en électricité, en vapeur ou en carburant utilisable par les véhicules du transport urbain ou par les bennes à ordures.

Une tonne de fermentescibles après transformation, fournit 100 m³ de biogaz et 250 Kg de compost. Les résultats sont d'autant plus importants que le gisement de matière organique est pur, c'est-à-dire que le tri a été efficace .

I.7. Le compostage.

I.7.1. Définition

Le compostage est un procédé biologique aérobie de dégradation et de valorisation de matière organique en un produit stabilisé et hygiénistes disposant des caractéristiques d'un terreau enrichi en composés humiques]30[.

Cette décomposition de la fraction organique fermentescible des déchets s'opère en présence d'air et par des micro-organismes aérobies (bactéries, champignons...) dans des conditions contrôlées : d'air, de température et d'humidité]31[.

Le compostage est une pratique consistant à fabriquer du compost à partir de divers déchets végétaux.]32[

I.7.2. Objectifs et principe

Le compostage est un traitement biologique de déchets organiques permettant de poursuivre un ou plusieurs des objectifs suivants :

- Stabilisation du déchet pour réduire les pollutions ou nuisances associées à son évolution biologique .
- réduction de la masse du déchet .
- production d'un compost valorisable comme amendement organique des sols]33[.

I.7.3. Mécanismes de biodégradation

Le processus de compostage est réalisé en deux étapes successives :

- Une étape de fermentation aérobie .
- Une étape de maturation du compost]34[.

I.7.3.1 La fermentation aérobie :

la fermentation aérobie de la matière organique est réalisée par une succession de consortiums microbiologiques qui s'accumulent en fonction de la température du taux de composés organiques fermentescibles. Il est possible de distinguer plusieurs phases de transformation au cours de la fermentation aérobie en fonction de la température et du temps]33[.

Une première phase de latence correspondant à la mise en place de la biomasse est rapidement suivie d'une phase mésophile où la matière organique la plus facilement biodégradable est consommée, cette réaction biologique est exothermique et conduisant donc à une production de chaleur. S'établit alors **une phase thermophile** où l'activité bactérienne peut assimiler les molécules organiques les moins dégradables comme la cellulose ou la lignine.

La stabilité du milieu correspond à un équilibre entre la production interne et la dissipation externe de chaleur. Ainsi, le ralentissement de l'activité microbologique par épuisement du gisement de nutriments entraîne une diminution de la production de chaleur et se traduit par **une phase de refroidissement** des andains.

L'activité biologique intense, combinée aux températures élevées, permet d'obtenir une stabilisation de la matière organique une absence d'odeurs nauséabondes, caractéristiques des fermentations mal maîtrisées.

I.7.3.2. La Maturation

La phase de maturation devient prédominante sur la phase de fermentation aérobie suite à l'épuisement du milieu molécules simples. Les activités enzymatiques produisent des phénomènes de polymérisation et de polycondensation des molécules néoformées au cours de la fermentation aérobie, à des températures comprises entre 20 et 30°C. Ces processus d'humification sont lents et peuvent durer plusieurs mois.

CHAPITRE III :

DIGESTION

ANAEROBIE

1 Historique de la digestion anaérobie (la méthanisation)

La méthanisation a été découverte en 1776 par Volta. Pendant une de ses promenades, il remarqua que du gaz se dégageait d'un marais. Il mit en évidence l'inflammabilité de ce gaz. Lavoisier, en 1787 lui donne le nom de «gaz hydronium carbonatrum », le terme méthane est proposé en 1865 et confirmé en 1892 par -un congrès international de nomenclature chimique. Sa formation est attribuée à l'activité microbienne se développant dans des milieux naturels anaérobies [35].

L'utilisation de la digestion anaérobie pour le traitement des eaux usées et la stabilisation des déchets solides ne sont pas nouvelles du tout; elles sont utilisées depuis le 19ème siècle. Dans les régions rurales de la Chine et de l'Inde, des constructions simples de réacteur ont été longtemps employées pour traiter les déchets animaux et agricoles dans le but principal de récupérer l'énergie pour faire cuire et allumer [35].

Le processus de méthanisation est un phénomène naturel mais peut être aussi provoqué. Les ruminants et termites sont connus comme de grands producteurs de biogaz. Les premières recherches descriptives sur la digestion anaérobie ont été effectuées à la fin du XIXème siècle. La première unité de production de biogaz a été réalisée en grand Bretagne en 1895. Il a été produit par une unité de méthanisation installée sur le site d'une station d'épuration. Il a été utilisé pour l'éclairage des rues de la ville d'Exeter. Dans les années 1920, l'allemand IMHOFF met au point un système de digestion continu, équipé plusieurs villes allemands quelques années plus tard. Les premiers systèmes de digestion discontinue ont été développés en Algérie à partir de 1939 par ISMAN et DUCCELLIER. Ces techniques ont été oubliées jusqu'aux années soixante (chocs pétroliers) où il fallait les redécouvrir pour trouver d'autres sources d'énergie.

2 Définition de la digestion anaérobique :

La méthanisation est un processus naturel, Elle est l'une des voies de dégradation des matières organiques, qu'elles soient d'origine animale ou végétale. Le principe de la méthanisation repose sur la dégradation de matières organiques en l'absence d'oxygène (digestion anaérobie) et à l'abri de la lumière par l'action combinée de plusieurs communautés de micro-organismes. C'est une technique qui conduit à la production d'un mélange gazeux appelé biogaz, source d'énergie renouvelable, dont le gaz principal est le méthane (CH_4) et d'un digestat utilisé comme fertilisant .[36]

La production de biogaz s'effectue dans l'environnement de façon naturelle (exemple : le gaz de marais-lieu de décomposition de matière végétales et animales ou l'on peut observer la formation des bulles à la surface de l'eau). Les bactéries qui réalisent ces réactions se trouvent à l'état naturel dans le lisier et dans les écosystèmes anaérobies ; elles se développent naturellement dans un milieu sans oxygène. Ainsi, tous les déchets organiques, à l'exception des déchets ligneux (déchets de bois), peuvent être traités par méthanisation, et notamment les déchets et effluents liquides .



3 Déchets et matière organiques utilisés en digestion anaérobie

Une large variété de matière organiques trouvées dans les déchets municipaux, industriels, ménagers et agricoles peuvent être utilisées comme matière première en méthanisation. La composition et les caractéristiques des matières utilisées varient énormément et affectent significativement la performance de la méthanisation.

3.1 Les déchets municipaux solides et ménagers

La digestion anaérobie des déchets municipaux solides est devenue possible en raison de l'introduction de la séparation à la source des déchets lors de leur collecte et la récupération de la fraction biodégradable. Si au moment de la collecte, les déchets ne sont pas triés, un prétraitement sera nécessaire avant la méthanisation pour éliminer certains éléments inappropriés à la digestion tels que les inertes vecteurs de contaminants comme les métaux lourds. De plus, les déchets ménagers contiennent des teneurs élevées en matières organiques solubles qui peuvent facilement être transformées en acides gras volatils. Ceci a l'inconvénient de causer une chute de pH et inhiber le processus de méthanogènes en cas d'une production excessive d'acides gras volatils au début de la digestion.

3.2 Les déchets industrie agroalimentaire

Ces déchets élevées en lipides qui malgré leur rôle dans l'accroissement du rendement de méthane, sont problématiques pour la digestion anaérobie à cause de leur inhibition de l'activité microbienne liée à la présence de longues chaînes d'acides gras difficiles à dégrader.

Ces matériaux sont généralement co-digérés en présence d'autres substances pour réduire les concentrations en acides gras volatils et en lipides dans le digesteur.

3.3 Les déchets agricoles et les cultures énergétiques :

Les déchets agricoles constituent une intéressante matière première pour la digestion anaérobie vue leur faible cout ainsi que leur potentiel méthanogène. Les carbohydrates contenus dans les déchets agricoles qui sont souvent sous forme de polysaccharides, cellulose et hémicellulose ne sont pas facilement disponible à la fermentation. La cellulose, l'hémicellulose et la lignine sont reliées entre elles ce qui empêche la dégradation des carbohydrates, ce qui nécessite un prétraitement.

Concernant les cultures énergétiques, le maïs et le tournesol sont les cultures les plus utilisées en méthanisation. Il est à signaler que la méthanisation des cultures énergétiques est une technique délicate qui nécessite un bon choix des espèces et des variétés des cultures qui sont le facteur clé qui détermine le rendement en méthane de l'installation de digestion.

3.4 Le fumier

Le fumier est parmi les matières premières les plus utilisées en digestion anaérobie en raison de sa disponibilité et ses hautes teneurs en azote favorable au développement des micro-organismes qui assurent le bon déroulement de la méthanisation. Le fumier et les déchets des animaux en général, sont constitués en majorité de carbohydrates, protéines et lipides mais ils contiennent aussi généralement des fortes teneurs en composés ligneux qui sont très difficiles à dégrader ; de plus, certains déchets de ce type contiennent des concentrations en ammoniac qui peuvent dépasser le seuil d'inhibition de la méthanisation et qui empêchent par conséquent le bon déroulement de la méthanisation.

3.5 Les boues des stations d'épuration

La digestion anaérobie est une technologie économiquement et écologiquement respectueuse de l'environnement pour traiter les énormes quantités de boues car elle a la capacité de réduire la charge en bio solides

des boues ; en effet, la digestion anaérobie stabilise la boue et réduit et inactive les pathogènes et les micro-organismes.]37[

La digestion anaérobie de boue a le potentiel de production de biogaz (potentiel méthanogène) le plus important parmi tous les autres types de digestion anaérobies ; cette production est très dépendante de la composition de boues.

4 Les réactions biologiques lors de la digestion anaérobie

Lors de ce processus, le substrat organique spécifique qui est constitué essentiellement de protéines, d'hydrates de carbone et de lipides est dans un premier temps, décomposé par hydrolyse en acides aminés, sucres et acides gras.

Ces produits intermédiaires sont ensuite, transformés en acides organiques, comme par exemple l'acide propénoïque, l'acide butyrique, les alcools, l'hydrogène, le dioxyde de carbone et l'eau.

A partir de ces produits, on obtient grâce à d'autres transformations biochimiques, de l'acétate et de l'hydrogène. L'acétate est ensuite directement transformé en méthane par des organismes méthanogène. On obtient ainsi environ 70% de méthane. Les 30% restants sont formés d'hydrogènes et de CO₂ par les réactions suivant :]38[

- De réduction du CO₂:



- De décarboxylation de l'acide acétique :



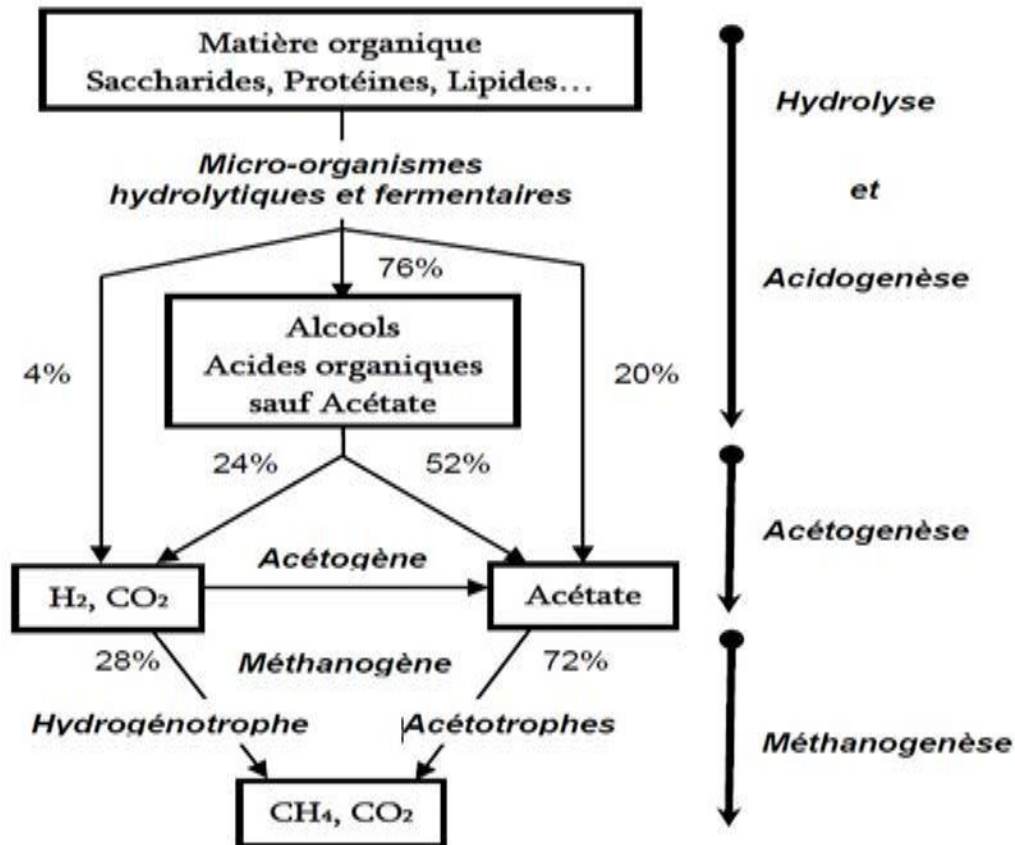


Figure2: les principales étapes de la méthanisation

5. Les différentes étapes de la digestion anaérobie

La digestion anaérobie est un procédé biologique, qui sert au traitement et valorisation des déchets organiques. Elle contient généralement quatre étapes selon les auteurs, qui sont l'hydrolyse, l'acidogène, l'acétogène et la méthanogène. Dans le cas de la co-digestion, des déchets solides biodégradables sont ajoutés en tête du procédé. Une étape préliminaire de désintégration du substrat, qui est en générale une étape non biologique et sert à la transformation du substrat complexe en polysaccharides, lipides et protéines est considérée .[33]

5.1 L'hydrolyse

L'hydrolyse est un processus extracellulaire dans lequel des substances organiques particulières complexes (protéines, polysaccharides, lipides, cellulose,...etc.) sont décomposés en composés simples, solubles (acides aminés, sucres simples, acides gras, glycérol,...etc.). C'est une étape importante avant le procédé de fermentation, car les bactéries

fermentatives ne peuvent pas absorber les polymères organiques complexes directement dans leurs cellules. Les enzymes hydrolytiques incluent la cellulase, la cellobiase, la xylanase et l'amylase pour la dégradation des polysaccharides en sucres, la protéase pour la dégradation des protéines en acides aminés, et la lipase pour la dégradation des lipides en glycérol et les acides gras à longue chaîne .]04 [;]04[

Le procédé d'hydrolyse lui-même implique plusieurs étapes, y compris la production d'enzymes, la diffusion, l'adsorption, la réaction et l'étape de désactivation .]04[Le taux global d'hydrolyse dépend de la taille de la matière organique, de la forme, de la surface, de la concentration de la biomasse, de production d'enzymes et de l'adsorption.]03[;]00[.

En plus, l'adsorption concurrentielle de l'enzyme sur le substrat inerte comme la lignine peut également diminuer l'efficacité de l'hydrolyse .]05[Ce processus compliqué a été décrit par plusieurs modèles cinétiques, par exemple, le modèle cinétique basé sur la surface où l'hydrolyse est liée à la concentration du substrat et la superficie des particules , où un modèle biphasé où les bactéries sont attachés d'abord aux particules, libèrent alors l'enzyme pour dégrader la matière . L'hydrolyse est donc une fonction de la biomasse et de la concentration en substrat. Cependant, la plupart des auteurs considèrent l'hydrolyse. comme un processus simple en utilisant une cinétique de premier ordre dépendante du substrat .]06[;]07[;]08[L'hydrolyse s'est avérée une étape de taux limitant .

pour la digestion du substrat particulier comme les déchets de porcs, les déchets de vaches et les boues d'épuration, tandis que la méthanogénèse est l'étape de taux limitant pour des substrats aisément dégradables.]03[

5.2 L'acidogénèse

L'étape d'acidogène consiste en une dégradation des composés produits par l'étape d'hydrolyse, par l'action de bactéries acidogènes et fermentatives. Elle conduit à la formation d'un mélange de composés : acides organiques, acides gras volatils (AGV), alcools, hydrogène, dioxyde de carbone, ammonium, ...etc.

Les sucres obtenus à partir de l'étape d'hydrolyse peuvent facilement être dégradés par le procédé de fermentation tandis que les acides gras à longues chaînes doivent être obligatoirement oxydés par un accepteur externe d'électron .]54[Des acides aminés peuvent l'un ou l'autre être dégradés par des réactions dite de (stickland), où un acide aminé agit en tant que donateur d'électron et l'autre comme accepteur d'électron, ou peuvent être oxydés

avec un accepteur d'électron externe .]54[Les microbes fermentatifs de glucose ont des métabolismes embranchés, ce qui signifie qu'ils peuvent métaboliser le substrat dans différentes voies qui donnent différentes quantités d'énergie et produisent différents produits de fermentation.]54[Les bactéries fermentatives peuvent fonctionner à des concentrations élevées de l'hydrogène et du formiate . Cependant, sous cette condition, les bactéries emploieront une voie métabolique dans laquelle plus de métabolites réduits sont produits, comme les acides gras volatils (AGV), lactate, et l'éthanol .]53[

La voie dominante dépend de plusieurs facteurs tels que la concentration en substrat, le pH et la concentration en hydrogène dissout . Sous une charge organique très élevée, la production d'acide lactique devient significative . A bas pH (inférieur à 5) la production de l'éthanol est élevée, alors qu'à pH plus faible (inférieur à 4) il y a une forte production des acides gras volatils (AGV) .

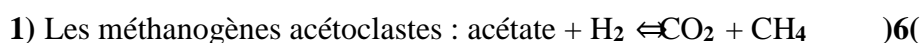
Cependant, la pression partielle de l'hydrogène a une grande influence sur la voie de fermentation. À basse pression partielle de l'hydrogène la voie de fermentation à l'acétate et l'hydrogène sont favorisés .]50[

5.3 l'acétogénèse

La phase suivante correspond à l'acétogénèse où les acides gras volatils, et les substances de petite taille moléculaire, comme quelques alcools et aldéhydes, sont transformés en acide acétique (ou acétate) par des organismes acétogènes producteurs obligés d'hydrogène (OHPA) et des bactéries homoacétogènes. Il est alors possible d'avoir aussi un procédé d'oxydation de l'acétate jusqu'à H₂ et CO₂ par des bactéries spécifiques. Les *Syntrobacter* sp et les *Sytrophomonas* sp sont quelques organismes responsables de ces réactions

5.4 La méthanogénèse

La méthanogénèse consiste à transformer l'acétate, l'hydrogène et le dioxyde de carbone en méthane. Pour cela, il existe deux grandes voies de système, faisant chacune appel à des archées anaérobies strictes :



Il y a d'autres voies secondaires qui ont une faible importance, voir les paragraphes ci dessous.

Dans les digesteurs anaérobies, environ 60 à 70% du méthane sont produits par les méthanogènes acétoclastes .]55[

La croissance des archées méthanogènes est lente : temps de génération de 3 jours à 35°C. Comme ce sont les micro-organismes les plus sensibles de l'écosystème, elles régissent la vitesse globale du procédé]56]. De plus, elles sont sensibles à la présence d'inhibiteurs tel que les AGV. Cependant, dans le cas des composés difficilement biodégradable, l'étape limitante du procédé est la phase d'hydrolyse .]57[

Durant la méthanogénèse, les produits de la fermentation tels que l'acétate et H_2/CO_2 sont convertis en CH_4 et CO_2 par des archées méthanogènes (archaea methanogenic). Les archées méthanogènes peuvent accroître directement sur H_2/CO_2 , acétate et tout autre composé à un seul carbone tel que le formiate, le méthanol et le méthylamine.]58[;]53[Quelques méthanogènes peuvent utiliser un seul substrat, par exemple, les espèces Methanosaeta utilisent l'acétate seulement. D'autres méthanogènes sont plus souples, par exemple, les Methanospirillum hungatei et les Methanobacterium formicum se développent sur H_2/CO_2 et le formiate, et l'espèce Methanosarcina peut employer H_2/CO_2 , l'acétate, le méthanol et quelques autres composés à un seul carbone .]64[

La méthanogénèse est influencée par les conditions de fonctionnement du réacteur telles que la température, le taux de la charge hydraulique, le taux de la charge organique, et la composition du substrat d'alimentation .]64[;]64[;]63[De plus des réactions méthanogène, l'inter-conversion entre l'hydrogène et l'acétate catalysé par les bactéries homoacétogène joue également un rôle important dans la voie de formation du méthane. Les homoacétogènes peuvent oxyder ou synthétiser l'acétate tout dépend de la concentration externe en hydrogène .]60[;]65[Ceci le rend capable de concurrencer plusieurs différents microbes, y compris les méthanogènes.

6 Différents paramètres influençant la méthanisation

La digestion anaérobie correspond donc à un enchaînement de réactions chimiques dépendantes les unes des autres. Cette succession de réactions n'est possible que grâce à la population bactérienne, qui se développe dans le milieu. Ces bactéries réalisent ces réactions chimiques et maintiennent les conditions de vie nécessaires à leur survie. Mais le milieu, ou se

déroule la digestion anaérobie, est un écosystème très fragile et très spécifique. Les différents paramètres influençant la digestion anaérobie sont détaillés dans les paragraphes qui se suivent]66[.

6.1 Température

La digestion anaérobie peut se réaliser sous trois gammes de température :

- de 15 à 25°C : fermentation psychrophile ;
- de 25 à 45°C : fermentation mésophile ;
- de 55 à 65°C : la fermentation est dite thermophile.

Les digesteurs mésophiles qui sont les plus utilisés (à 38 °C) dans les zones tempérées. La figure suivante (figure II.2) présente le taux de production de biogaz en fonction de la température et du temps de séjour.

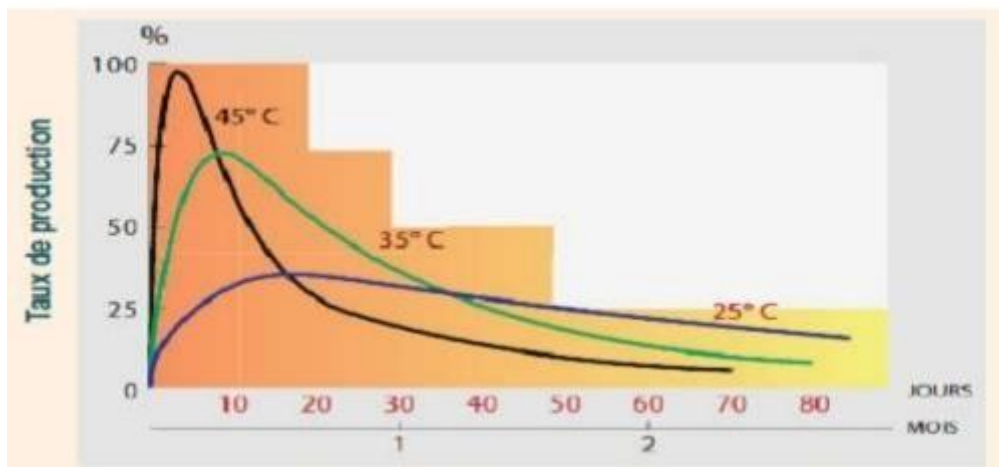


Figure 3 : Taux de production de biogaz en fonction de la température.

La stabilité de la température est essentielle pour un bon déroulement de la fermentation méthanique ; or les marges de fluctuations tolérables sont plus étroites en zone thermophile qu'en zone mésophile ($\pm 2.8^{\circ}\text{C}$ à 38°C ; $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ à 49°C et seulement $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ à 52°C). Ceci implique qu'en zone thermophile, la température de fermentation doit être rigoureusement contrôlée et homogène dans tout le réacteur. Cet équilibre thermique, facilement réalisable au stade pilote, mais beaucoup plus difficile à obtenir dans les grandes unités. Dans l'écart des

températures mésophiles, pour une hausse de 1°C la production de gaz augmente de 5%. Toutefois de fréquentes chutes de température peuvent déséquilibrer les populations microbiennes. Les variations de température peuvent être contraignantes pour la digestion mésophile (35 °C) ou thermophile (55°C)]67[.

6.2 Potentiel hydrogène pH

La digestion anaérobie se déroule normalement pour des pH compris entre 6 et 8 la plupart se développent de façon optimale conditions de pH neutre car les milieux acides ou basiques altèrent l'équilibre chimique des réactions enzymatiques ou détruisent les enzymes, en dessous de 6, l'activité des bactéries méthanogènes diminue rapidement et peut être complètement stoppée à partir de 5,5. Alors que les bactéries acidogénèses continuent à produire des acides gras volatiles (AGV) jusqu'à des pH voisins de 4,5, une acidification du milieu provoque une accumulation des acides gras volatils, qui en trop grande quantité, bloque la production du méthane, et sa peut traduire un dysfonctionnement de la syntrophsymbiose entre les microorganismes de la méthanisation. D'autre part les bactéries impliquées dans la production et la consommation de l'hydrogène, pouvant entraîner une accumulation de propionate. Les surcharges organiques peuvent également engendrer une accumulation des AGV car l'apport de substrat dépasse les capacités de dégradation de l'écosystème microbien.

Pour une digestion anaérobie des boues d'épuration le pH est autorégulé dans le digesteur avec des valeurs optimales comprises entre 6,8 et 7,4 car l'alcalinité produite par les méthanogènes sous forme de CO₂, d'ammonium et de bicarbonate, permet de maintenir le pH dans la gamme de neutralité. Par ailleurs l'ajout de bicarbonate de soude peut être nécessaire pour le maintenir]68[.

6.3 Rapport C / N et Substances nutritive

Le carbone et l'azote sont des éléments essentiels à la nutrition des microorganismes, ainsi que le phosphore et le soufre. Le carbone est primordial pour les bactéries en tant que source d'énergie et l'azote autant qu'élément de structure cellulaire. Les rapports C/N supérieurs à 23/1 ont été identifiés comme inadaptés pour une digestion optimale ; et des rapports inférieurs à 10/1 se sont révélés inhibiteurs selon des études portant sur la digestion anaérobie thermophile des déchets de volailles et d'autres substrats cellulosesiques .Pour un

fonctionnement optimum d'un réacteur à chargement continu, les bactéries ont besoin d'un rapport C/N convenable pour leur métabolisme le rapport C/N idéal est de 30.

En effet les bactéries ont besoin de trente fois plus de carbone que d'azote. Si ce rapport n'est pas maintenu on observe un défaut de croissance des bactéries ou bien une accumulation des nutriments est donc un changement des caractéristiques biochimiques du milieu. Un rapport C/N adéquat est donc important pour avoir un bon fonctionnement de la digestion anaérobie. [69]

6.4. Brassage

Le brassage du digesteur n'est pas essentiel pour que la digestion anaérobie se déroule. Cependant, il permet l'obtention d'un milieu homogène, c'est un moyen de favoriser les transferts thermiques, ioniques et métaboliques. Il permet aussi une augmentation des contacts entre les substrats à digérer et la flore fixée et évite les courts circuits dans le réacteur, un court-circuit correspond à la sortie prématurée d'une partie du substrat de la cuve car celle-ci ne suit pas le parcours habituel, l'effluent ne subit pas donc la méthanisation totale. Le brassage se fait à l'aide d'un agitateur mécanique, ou d'un système hydraulique par la recirculation de la boue ou réinjection du gaz produit [74].

6.5. Pression partielle en hydrogène

L'hydrolyse est une étape clé dans le processus de la digestion anaérobie, c'est un substrat indispensable et énergétique pour les bactéries méthanogènes. Il est produit lors de l'acétogénèse à partir des produits de l'acidogénèses (AGV), cette faible pression partielle est assurée par les bactéries homoacétogènes et hydrogénophiles qui consomment H₂ au fur et à mesure de sa production. [63]

6.6. Humidité

Pour toute activité biologique, la présence d'eau est indispensable surtout à la multiplication des microorganismes, d'après Marache, une humidité minimale de 60 à 70% est nécessaire à la méthanisation. [68]

De sa part Laskriet a pu montrer que le taux de dilution est un facteur favorisant; une augmentation du taux de dilution mène à une augmentation importante du volume du biogaz produit.

6.7 Potentiel redox

Les bactéries acétogènes et méthanogènes étant strictement anaérobies, le potentiel redox du milieu a une influence considérable. Les méthanogènes requièrent un potentiel inférieur à -100 ou -300 mV. Étant donnée la rapide consommation de l'oxygène et la mise en place de conditions réductrices au sein d'une décharge, ce paramètre n'apparaît pas comme un facteur primordial. Néanmoins, il peut devenir influent dans le cadre de la décharge bioréacteur : d'une part, la mise en dépression du massif de déchet peut conduire à l'introduction d'air dans la décharge, surtout si le volume soutiré est supérieur au volume de gaz créé. D'autre part, la recirculation des lixiviats, selon sa gestion, peut impliquer l'introduction d'une certaine quantité d'oxygène dissous.

6.8 Les nutriments

La digestion anaérobie nécessite la présence de nutriment (phosphore, manganèse, calcium, cobalt, potassium) pour favoriser la croissance bactérienne. Le phosphore est nécessaire pour la synthèse des acides nucléiques et des phospholipides. Le potassium et le manganèse favorisent la stabilisation des membranes cellulaires, le cobalt joue un rôle important dans les réactions de transfert de carbone.

6.9. Temps de rétention hydraulique (TRH)

C'est le temps de séjour moyen du substrat dans le réacteur. C'est-à-dire le rapport du volume utile du fermenteur sur le débit volumique du substrat. Ce paramètre opératoire a un impact direct sur les différentes étapes réactionnelles de la digestion anaérobie. En effet, un temps de séjour inférieur à 5 jours est insuffisant pour avoir une digestion stable en raison du lessivage des microorganismes méthanogènes.]74[

6.10. Absence de l'oxygène

L'oxygène est évidemment un inhibant (réaction anaérobie), cependant une petite quantité d'oxygène n'inhibe pas totalement et immédiatement la production de biogaz. En effet, certains groupes de bactéries, appelées anaérobies facultatives, peuvent tolérer et absorber une petite quantité d'oxygène évitant ainsi d'inhiber les autres groupes de bactéries ne tolérant pas du tout l'oxygène (bactéries anaérobies strictes). L'absence de l'oxygène est une condition pour le développement des bactéries méthanogènes, qui sont anaérobies strictes.]68[

6.11. Quantité de matière organique

La quantité de matière organique, telle que les déchets de papier, alimentaires et de jardin, disponibles pour des micro-organismes qui produisent le méthane, est le facteur le plus significatif pour la génération du méthane dans un déchet. La capacité de production du méthane dans un déchet est directement proportionnelle à la quantité des matières organiques.

6.12. Absence des inhibiteurs

La fermentation anaérobie est réputée pour sa sensibilité aux matières toxiques et particulièrement la phase méthanogène, qui est encore plus sensible. Ces éléments inhibiteurs sont présents dans le substrat lui-même, ou produits lors de la digestion.

7 le digesteur :

7.1. Définition :

Le digesteur, cœur où se réalise la méthanisation, et aussi appelé fermenteur ou bioréacteur anaérobie. Il est une simple cuve fermée, étanche et isolé thermiquement, dans laquelle différents micro-organismes dégradent chimiquement et biologiquement les déchets et les effluents organiques et produisent en stade finale du biogaz. Il peut être équipé des systèmes : de chauffage, d'agitation, de prélèvements et d'un système de mesure de teneur en gaz, de dispositif permettant le contrôle de différents paramètres : la température, le pH, la pression,...etc. [74]

7.2. Classifications des différents types de digesteurs:

Le choix du digesteur varie en fonction du type de déchets à traiter et de l'application projetée, on peut classer les digesteurs selon :

a- Le mode de l'alimentation : batch, semi-continu ou continu ;

b- Le type de substrat : solide, semi solide ou liquide ;

c- Le nombre d'étapes : mono ou bi étapes.]74[

7.1. Le mode de l'alimentation

7.1.1 Le digesteur batch ou discontinu

Il a l'avantage d'une construction simple, le mode opératoire consiste à remplir le digesteur avec les substances organiques et laisser digérer, à la fin de la digestion, le digestat est évacué et le processus peut recommencer. Ces systèmes rustiques et d'une grande simplicité technique. Ils sont avantageux pour traiter les déchets solides comme les fumiers, les résidus agricoles, ou les ordures ménagères. La production de biogaz n'est pas régulière : au début de cycle, la production de biogaz est lente puis elle s'accélère, et atteint un taux maximal au milieu du processus de dégradation et chute enfin de cycle lorsque seuls les éléments difficilement digestibles restent dans le digesteur.]73[

7.1.2 Le digesteur continu

Le substrat introduit de manière continue est digéré et déplacé soit mécaniquement soit sous la pression de nouveaux intrants vers la sortie sous forme de digestat. Le fonctionnement en continu, est bien adapté aux installations de grande taille.

7.1.3 le digesteur semi-continu

Le digesteur est progressivement rempli par des charges successives convenablement réparties dans le temps. La vidange est réalisée lorsque le volume utile du digesteur est atteint et que la production de biogaz n'est plus suffisante .

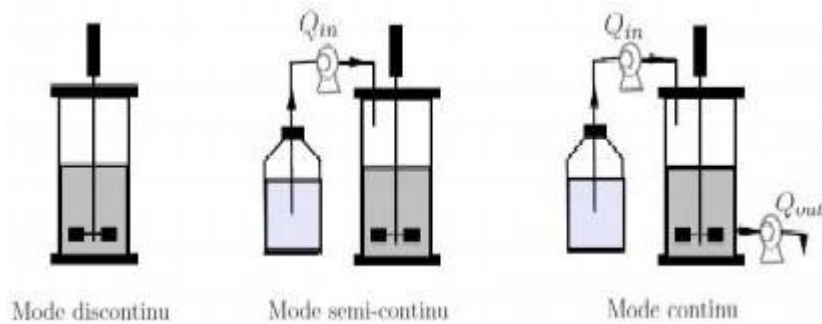


Figure 0 : Différents modes de fonctionnements d'un bioréacteur.

7.2 Classification selon le type de substrat

- **Solide** : La teneur en matière sèche est supérieure de 15 % ;
- **Semi solide ou pâteux** : La teneur en matière sèche entre 5 et 15 % ;
- **Liquide** : La teneur de la matière sèche est inférieure de 5%.

7.3 Classification selon le nombre d'étapes

Selon les phases méthanogènes et l'acidogènes se déroulent dans le même réacteur ou dans 2 cuves séparées.

➤ Le procédé en mono-étape

Toutes les étapes de la digestion ont lieu dans la même enceinte, ils sont exploitables en continu ou en batch et principalement appliqués pour des substrats allant jusqu'à 40% de MS.

➤ Le procédé en bi-étape

Ce type de digesteur sépare la phase d'hydrolyse et l'acidogène dans une première étape, et la méthanogènes dans une seconde étape. La recirculation de la phase liquide présente l'avantage de ne pas nécessiter constamment l'ajout d'eau réchauffée. L'avantage des procédés bi-étape réside dans le fait que la décomposition de la matière solide est de l'ordre de quelques jours. Cette séparation des phases, réduit le risque d'intoxication des cellules méthanogènes liée

à la présence des acides gras volatils lorsque l'étape d'acidogènes n'est pas complètement terminée.]73[

8. Avantages et les inconvénients de la digestion anaérobie :

Les avantages de la digestion anaérobie sont :

- la production du biogaz peut être utilisée comme sources d'énergies renouvelables pour générer trois types d'énergie : chaleur, électricité ou biocarburant;
- Un intérêt agronomique, lié à une concentration importante en azote ammoniacal (NH_4^+) et en phosphates (PO_4^{3-}) due à la lyse de la matière organique ;
- Une demande en énergie plus faible que les procédés aérobies et pas d'apport en oxygène ;
- de faibles impacts environnementaux (stabilisation de la matière organique, réduction des nuisances olfactives, réduction des émissions de gaz à effet de serre...);
- La possibilité de traiter des charges organiques élevées : de 2 à plus de 80 kg de DCO par mètre cube de réacteur et par jour avec des taux d'épuration de 80 à 98%.
- Elle génère un compost qui conserve en grande partie le potentiel fertilisant de la matière de départ.

Cependant, elle comporte aussi quelques inconvénients :

- Une forte sensibilité aux variations de charges et aux composés toxiques ;
- Une dégradation plus lente que pour les procédés aérobies ;
- Des coûts d'investissement importants ;
- Du fait de la faible vitesse de croissance bactérienne, la cinétique d'épuration est lente et les périodes de démarrage des réacteurs relativement longues;
- Les populations microbiennes sont sensibles aux perturbations, en particulier à

l'oxygène et aux métaux lourds [70]

3 . Les produits de la digestion anaérobie

a) Le biogaz

Le biogaz est un gaz naturel renouvelable produit par à travers une transformation biologique à partir de la fraction organique des déchets ménagers, de déchets agricoles et des déchets industriels. Ces derniers seront collectés puis stockés dans une cuve sans oxygène appelé le digesteur. La dégradation progressive de ces déchets génère un gaz essentiellement composé de méthane (CH_4) et de gaz carbonique (CO_2) et contient en plus des traces d'autres de gaz tel que l'hydrogène sulfuré (H_2S) ce processus est appelé la méthanisation. [75]

b) Le digestat

Le résidu solide non digéré (ou digestat) est constitué de la fraction peu ou difficilement biodégradable du déchet entrant. Dans le cas de résidus organiques, la méthanisation est analogue du point de vue des transformations biochimiques à ce qui se passe lors de la phase de fermentation en compostage ; le digestat peut ainsi être post-composté et aura, après maturation, des propriétés agronomiques analogues à celle d'un compost qui aurait été élaboré avec les mêmes produits initiaux. [76]

9.1 Les caractéristiques du biogaz

Tableau.3 : Les caractéristiques du biogaz et du méthane déterminées à 0°C et 1 atm.

Caractéristiques	Méthane (100% CH_4)	Biogaz (70%)
PCI (kWh)	9,94	6,96
Densité/air	0,55	0,85
Vitesse de déflagration (m/s)	0,38	0,21
Limites d'inflammation (%)	5 - 15	6-18
Potentiel de combustion	54,55	24,71

Pouvoir calorifique du biogaz en fonction de la proportion de méthane A titre indicatif, le pouvoir calorifique de 1 m^3 de biogaz (contenant 70% de méthane et 30% de gaz carbonique), peut être comparé à celui d'autres combustibles ou d'autres sources

énergétiques. [76]

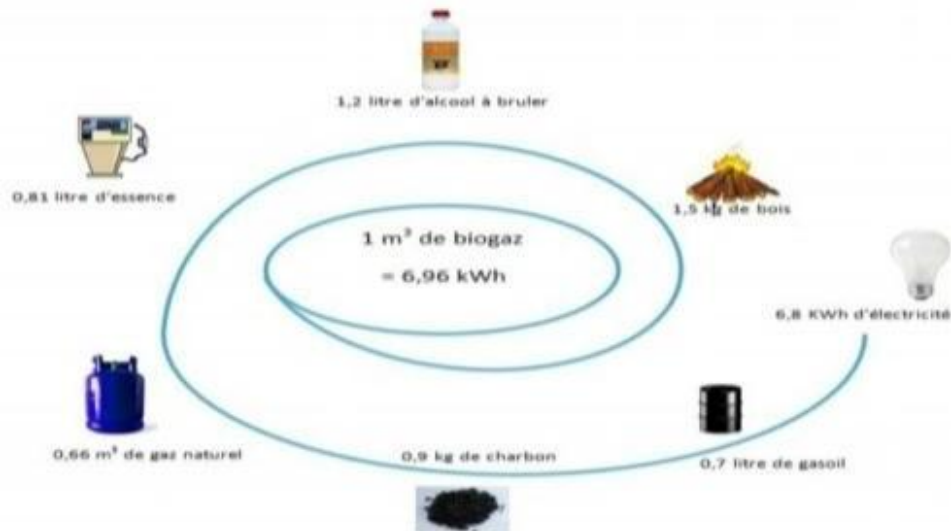


Figure 5 : Equivalent énergétique d'un mètre cube de biogaz (contenant 70% de méthane et 30 % de gaz carbonique)

CHAPITRE III :

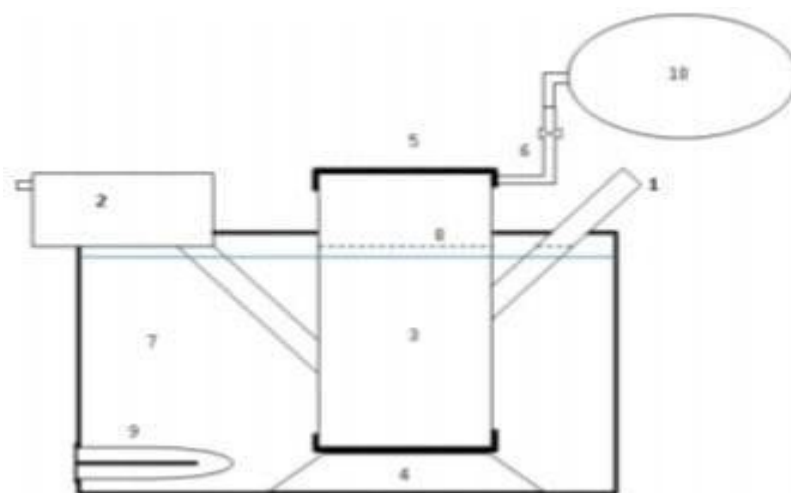
MATÉRIELS ET

MÉTHODES

II 1. Dispositif expérimental

Le digesteur continu est un tube de plastique avec un diamètre de 20 cm et une longueur de 45 cm, hermétiquement fermé, avec un volume réactionnel de 12 L, deux tubes de diamètre de 4 cm ont été installés sur les deux côtés, l'un pour l'introduction de la matière organique et l'autre pour la sortie de substrat digéré. Une sortie de biogaz est installée en haut de digesteur elle menée d'une vanne d'arrêt, à l'extrémité de la sortie nous avons installé un ballon pour stocker le biogaz produit.

La température de la fermentation est fixée à 37°C dans un bain marie thermostaté.



(1) Entrée du substrat; (2) Sortie du Digestat; (3) Corps de digesteur; (4) Support; (5) Couvercle; (6) Sortie du biogaz; (7) Bain-marie; (8) Niveau du substrat; (9) Résistance électrique; (10) Ballon pour la récupération du biogaz.

Figure 6 : Dispositif expérimental du digesteur continu à l'échelle du laboratoire



Photo 1: Digesteur continu à l'échelle du laboratoire

III .2 Substrat:

Le substrat étudié est constitué de déchets ménagers qui ont été générés par plusieurs maisons et restaurants de la ville d'Adrar. Après triage, le substrat sélectionné est composé de déchets organiques tels que les épluchures d'oignon, de pomme de terre, de carotte, de Orange Ces déchets sont découpés en petits morceaux afin d'assurer une homogénéisation de l'échantillon. Photo 02



Photo 2: Echantillon du substrat étudié.

III. 3 Méthodes d'analyses

III. 3.1 Détermination de la matière sèche (MS)

a) Matériels utilisés

- ✚ étuve réglée à 105°C ;
- ✚ Creusets.
- ✚ capsule ;
- ✚ dessiccateur ;
- ✚ balance électronique de précision.

b) Méthode

La matière sèche est déterminée par dessiccation dans une étuve maintenue à 105°C jusqu'à ce que le poids de l'échantillon à analyser devient constant [77]. La différence du poids correspond à la perte d'humidité et le résidu représente la teneur en matière sèche de l'échantillon.

Pour déterminer la matière sèche, une prise d'échantillon de masse quelconque, soit (M1), est versée dans une capsule de masse connue soit (M) préalablement nettoyée et séchée, ensuite l'ensemble est placé dans une étuve à 105 °C pendant 2 heures et en calcul le poids , on répète ce

processus jusqu'à ce que nous obtenions un poids d'échantillon stable. Les creusets ont été pesés après refroidissement dans un dessiccateur.



Photo.3 : Photo de l'étuve utilisée.

La matière sèche s'obtient selon la relation suivante :

$$\text{MS} \% = \frac{M - [(M + M_1) - (M + M_2)]}{M} * 100 \quad (8)$$

Avec :

M : masse de la capsule ;

M1 : masse de l'échantillon avant dessiccation ;

M2 : masse de l'échantillon après dessiccation.

Le taux d'humidité est calculé à partir de la formule suivante :

$$\% \text{ d'humidité} = 100 - \% \text{ MS} \quad (9)$$



photo.4 : l'échantillon après dessiccation

3.2 Détermination de la teneur en matière organique (MO)

a) Matériels utilisés

- ✚ Four à moufle ;
- ✚ creusé ;
- ✚ Balance électronique de précision ;
- ✚ Dessiccateur.

b) Méthode

Lorsque l'échantillon, préalablement séché, est soumis à une incinération à 550°C, la matière organique se consume et la matière résiduelle constitue la matière minérale .

Pour déterminer la teneur en matière organique (MO), une masse quelconque de l'échantillon après dessiccation, soit (M2), est introduite dans une capsule préalablement nettoyée et séchée ayant une masse (M), l'ensemble est placé dans un four à moufle pour une calcination à 550 °C pendant 5 heures. Après refroidissement la capsule contenant la matière minérale est pesée encore une fois. La

masse de la matière organique est obtenue par différence entre la masse de matière sèche et la masse de matière minérale .



Photo.5 : Photo du four à moufle utilisé.

$$\% \text{ MO} = \frac{(M + M_1) - (M + M_2)}{M} \times 100 \quad (01)$$

Avec :

M : masse de la creusé ;

M1 : masse de l'échantillon après dessiccation ;

M2 : masse de l'échantillon après calcination.

III . 4. Méthodes utilisées.

Lancement d'une expérience de la digestion anaérobie des déchets d'abattoirs dans le digesteur enterré de 4m³.

Pendant les 60 jours de la digestion nous avons suivi l'évolution des paramètres suivant: le pH, le DCO, et les volumes de biogaz et de méthane, et l'évolution de la fluor microbienne. Les résultats

sont la moyenne des trios essais.



Photo.6: l'échantillon après calcination

III .4 Les paramètres de contrôle et de suivi

III .4.1 Le pH

Le pH est un indicateur très intéressant dans la stabilisation et le bon déroulement de la digestion anaérobie, il renseigne sur l'acidité ou l'alcalinité du milieu fermentaire. Les procédés de digestion anaérobie sont fortement influencés par le pH. La digestion anaérobie se déroule de façon optimale au voisinage de la neutralité $\text{pH}=7$. Avec une valeur optimale entre 6.5 et 7 [77] .

a) Matériels :

✚ pH-mètre ;

✚ bécher.



Photo 7: Le pH-mètre utilisé.

b) Méthode

Toutes les valeurs de pH dans cette étude sont obtenues à l'aide d'un pH-mètre de type (consort -C5) Muni d'une électrode en verre.

On émerge l'électrode dans notre échantillon et on lit directement la valeur de pH affiché sur l'écran.

III .4.2 la mesure de volume de biogaz et du potentiel de méthane ou BMP

Le but principal de la digestion anaérobie est la production du biogaz. Durant le déroulement du processus de digestion anaérobie le volume de biogaz produit est mesuré de façon régulière des fréquences journalières et le volume de CH_4 .

Dans le teste de BMP on utilise deux flacons, le 1ère flacon rempli par une solution d'acide (NaOH de 10g/l, pH=2) pour la mesure du volume de biogaz totale et le 2^{ème} flacon rempli par une solution alcalin (NaOH de 3%) pour la mesure du volume de CH_4 .

le volume de biogaz est mesuré à l'aide d'un système hydraulique (déplacement du liquide), ou le gaz produit en sortie du digesteur, passe dans une éprouvette graduée plongée dans un liquide, ce qui va déplacer le niveau du liquide contenu dans l'éprouvette et indique ainsi le volume du gaz produit (V_1 ,ml). Ensuite, à l'aide d'une seringue on va ramener le liquide jusqu'au niveau, puis on ouvre les vannes qui reliait avec le 2^{ème} flacon pour absorber le CO_2 . Cette absorption réduit le volume de gaz dans l'éprouvette de mesure (V_2 , ml). Le volume V_2 était une estimation de CH_4 dans le gaz ; La différence entre le volume initial et le volume final correspond à la teneur en CO_2 dans le biogaz. [79]

III . 4.3 Mesure de la DCO (DCOS et DCO_T)

III .4.3.1 Définition

La dégradation des matières organiques (d'hydrates de carbone, de matières protéiques, d'acides aminés, de lipides et autres substances de réserves) déversées dans les cours d'eau entraîne une consommation de l'oxygène dissout dans l'eau. Cela se fait au détriment des organismes vivants et peut entraîner ainsi l'asphyxie du milieu . La pollution par les matières organiques est provoquée par les rejets industriels (industries chimiques, pétrolières, agroalimentaires, ...) et les rejets des populations urbaines. L'importance de cette pollution dans un effluent peut être évaluée par la demande chimique en oxygène (DCO). La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. Ainsi, par la mesure de la DCO, on pourra évaluer la charge polluante d'une eau usée en matières organiques avant et après un traitement physique, chimique ou biologique afin de contrôler le fonctionnement d'une STEP et l'activité des microorganismes]71[.

4.3.2 Principe

Dans des conditions opératoires bien définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par le dichromate de potassium en milieu acide et en présence de catalyseurs. Un agent masquant permet d'éviter l'interférence éventuelle des chlorures. L'excès de dichromate introduit est dosé par un réducteur, le sulfate ferreux, on peut ainsi remonter à la quantité de dichromate consommé par les matières oxydables. Un indicateur approprié permet de détecter la fin du dosage. Les réactions peuvent être schématisées comme suit :

- Oxydation des substances (s*) présentes dans l'eau

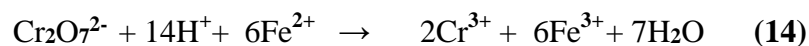


- Intervention d'un agent masquant

Pour éviter l'oxydation des ions chlorures en chlore, on utilise le sulfate de mercure (II) qui complexe les ions Cl⁻:



- Réaction de dosage



4.4 Détermination de la DCO

4.4.1 Préparation de l'échantillon

On prélève 1 ml d'échantillon qu'on met dans une fiole jaugée de 100 ml ; on remplit avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge ; ensuite, on prélève 3 ml d'échantillon préalablement dilué dans un tube à essai avec un volume 4 ml de catalyseur et 2 ml d'oxydant.

On place les tubes dans un bloc chauffant programmable pendant 2h à 150°C.

Après refroidissement, la DCO est déterminée par dosage retour : l'excès de dichromate de potassium est dosé à l'aide d'une solution de sulfate de Fer et d'ammonium [sel de Mohr $\text{Fe}_2(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$], leur titre est 0.1, en présence de quelques gouttes de ferroïne comme indicateur coloré.

L'oxydation de la matière produit des ions Cr^{3+} donnant une coloration rouge violacé

III .4.4.2 Dosage

- Expression des résultats

La DCO exprimée en mg/l est donnée par la formule :

$$\text{DCO} = \frac{(V_T - V_E) \times N \times d \times 8000}{V_e} \quad (15)$$

Avec :

V_T : volume de solution de sulfate de Fer et d'ammonium utilisé pour l'essai à blanc ;

V_E : volume de solution de sulfate de Fer et d'ammonium utilisé pour l'échantillon

V_e : volume de la prise d'essai ;

T : titre de sel de Mohr ;

d : facteur de dilution.

La mesure de la DCO peut être effectuée sur la partie soluble (DCOs) après une centrifugation pendant 30 minutes, par contre le DCO_T est mesuré pour un échantillon sans centrifugation.

4.5. Quantification de volume de biogaz et de CH₄ produit :

La production du biogaz est le but principal de la digestion anaérobie. Durant le déroulement du processus de digestion anaérobie le volume du biogaz et le méthane produit sont mesurés de façon régulière par la méthode de Test de Potentiel Méthanogène (BMP).

a) Matériels

- ✚ Éprouvette graduée;
- ✚ Flacon ;
- ✚ Support ;
- ✚ Des tuyaux;
- ✚ Pompe à vide;
- ✚ deux ballons

b) Solutions

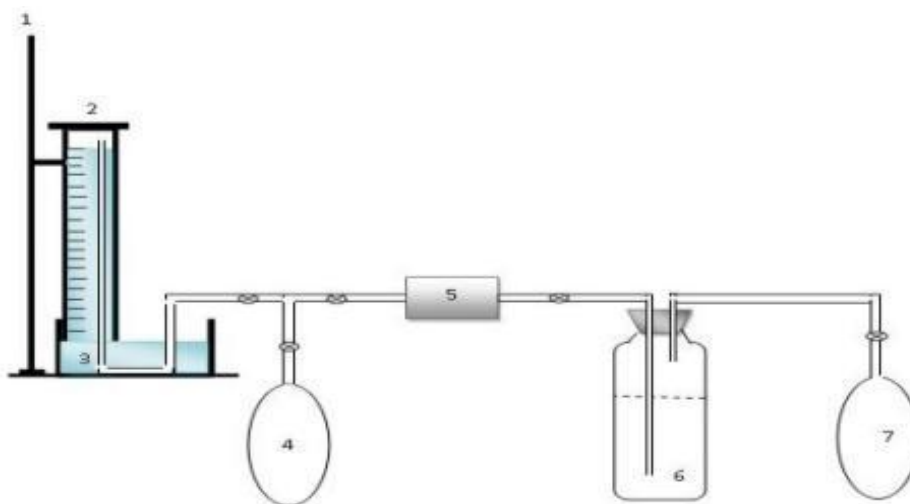
- NaCl (10g/l) pH=2.
- NaOH (3M/l) .

b) Méthode:

Le volume des biogaz produits (4) est mesurer par la méthode du liquide déplacé dans l'éprouvette inversé (2) avec une solution saturée (NaCl 10g/l pH=2)(3) afin de réduire au maximum la dissolution de CO₂; après la quantification le biogaz est pomper(5) dans une solution de NaOH (3M/l) (6) pour l'élimination de CO₂, en fin on obtient un méthane pur(7), on le quantifie par la même méthode. [70]



Photo 8: Système de mesure du volume du biogaz et de CH_4 (BMP).



- (1) Statif - (2) Éprouvette graduée inversé - (3) Solution saturé (NaCl 10g/l pH=2) - (4) Biogaz non filtré (5) Pompe à vide - (6) Filtration de CO_2 (solution de NaOH (3M/l))
(7) Biogaz filtré

Figure 7: Schéma représentatif de système de mesure du volume du biogaz et de CH_4 produit. (Test de potentiel méthanogène ou BMP).

III .5 Méthode utilisées

Afin d'optimiser le temps de rétention hydraulique, nous avons lancé une expérience de la digestion anaérobie des déchets ménagers dans le digesteur de 12L, le rapport substrat/ inoculum utilisé pour cette réaction est de 1/2 [78], [73].

Les temps des rétentions choisis sont ;14;21;28 jours successivement, pour chaque temps des rétentions nous avons suivi l'évolution des paramètres suivants: le pH, les DCO_T, et les volumes de biogaz produits et la teneur du méthane, et les résultats sont la moyenne des trois essais.

CHAPITRE VI :

RÉSULTATS ET

DISCUSSIONS

VI.1. Caractéristiques initiales du substrat:

Les résultats de taux de matière sèche ainsi que le taux de la matière organique sont présentés dans les deux tableaux suivants

VI.1.1 Taux de la matière sèche**Tableau 4:** Taux de la matière sèche du substrat.

Paramètre	1 ^{er} échantillon	2 ^{ème} échantillon	3 ^{ème} échantillon	valeur moyenne
matière Sèche %	16.21	14.90	15.06	15.39

VI.1.1.2 Taux de la matière organique et matière minérale du substrat**Tableau 5:** Taux de la matière organique matière minérale et du substrat

Paramètre	1 ^{er} échantillon	2 ^{ème} échantillon	3 ^{ème} échantillon	valeur moyenne
Matière organique %	94.5	94.01	94.65	94.39
Matière minérale %	5.50	6.00	5.35	5.61

A la lumière de ces résultats, il apparaît clairement que notre substrat est composé principalement de matière organique avec un taux de 96% ce qui les rend plus appropriés pour la méthanisation.

VI. 2- pH :

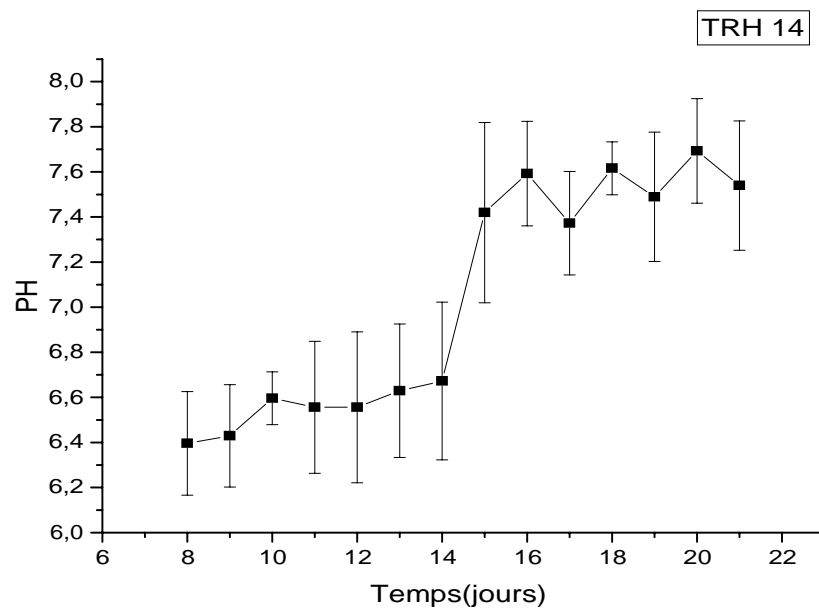


Figure8.: Evolution de pH pour le TRH 14.

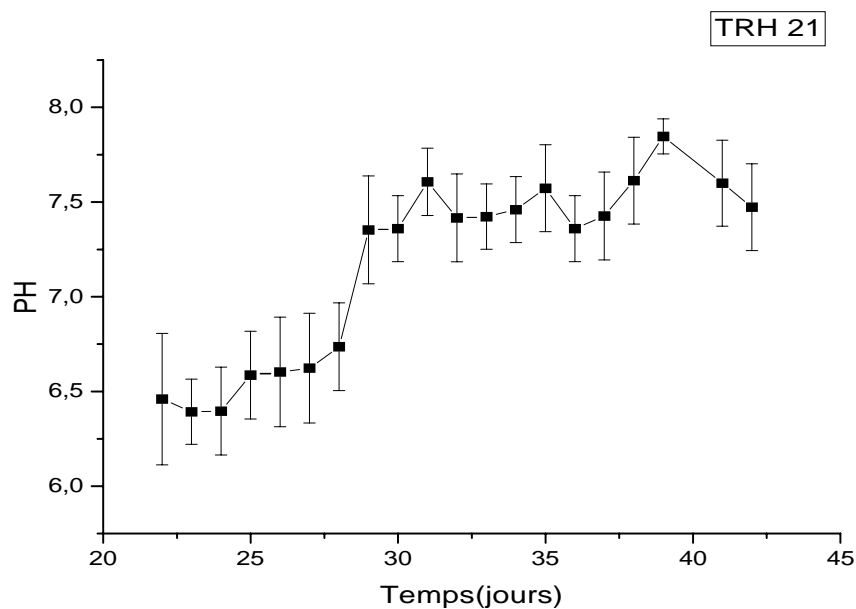


Figure 9: Evolution de pH pour le TRH 21.

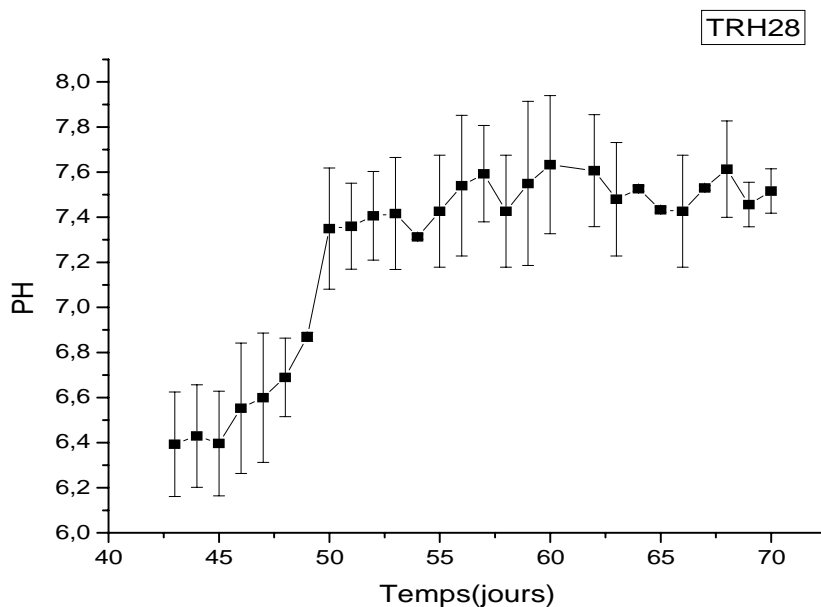


Figure 10 : Evolution de pH pour le TRH 28

La valeur optimale de pH pour un bon déroulement de la digestion anaérobie est au voisinage de la neutralité avec un pH entre 6,5 et 7,5 [48].

Les figures 04 , 05, 06, montrés que l'évolution des valeurs du pH pour le **TRH 14** variés entre 6,26(en premier jour) et 7,02(en septième jour) l'acidité de milieu ou premiers jours expliqués la décomposition de substrat et la formation des acides gras et leurs accumulations dans le milieu, puis le pH commence à augmenter vers la neutralité que est expliqué par la production de l'éthanol dans le milieu. Pour les autres TRH 21 et 28 la même allure de courbe de pH, commencement avec une valeur de 6 et augmentation durant les dix premiers jours puis stabilisation entre 7 et 7.5(valeur optimale pour la digestion anaérobie) cette stabilité expliqués par la consommation des acides gras volatiles et l'épuisement de la matière organique, ces observations ont été rapportées par [48].

VI. 3- Biogaz

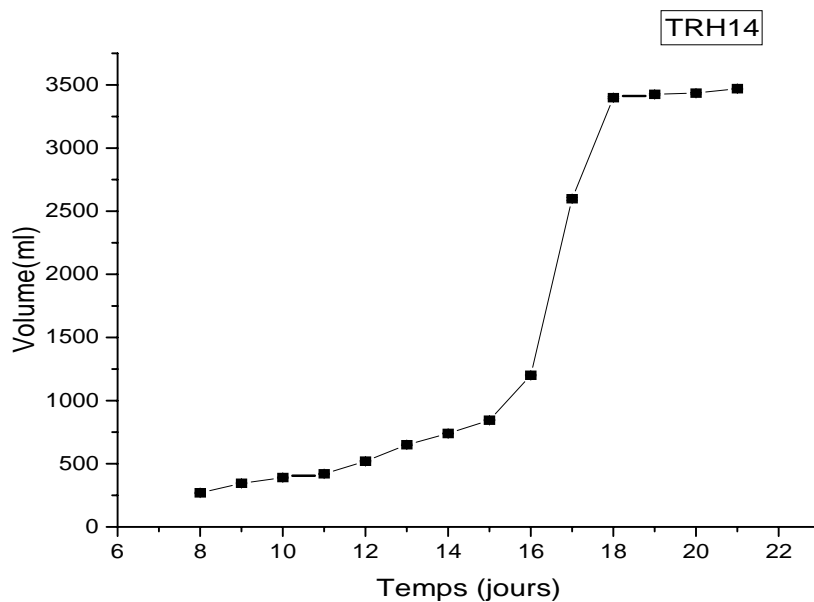


Figure 11 : Evolution des volumes de biogaz avec le TRH 14.

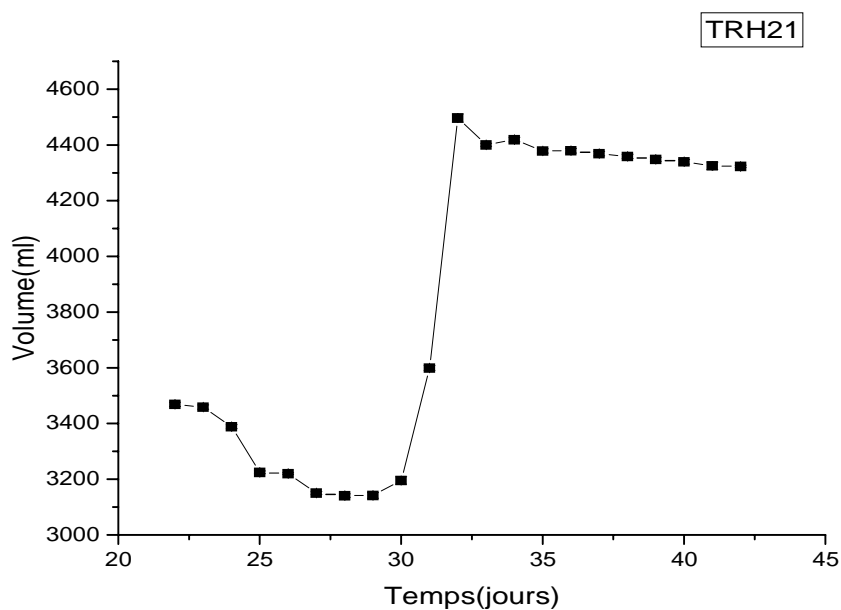


Figure 12: Evolution des volumes de biogaz avec le TRH 21.

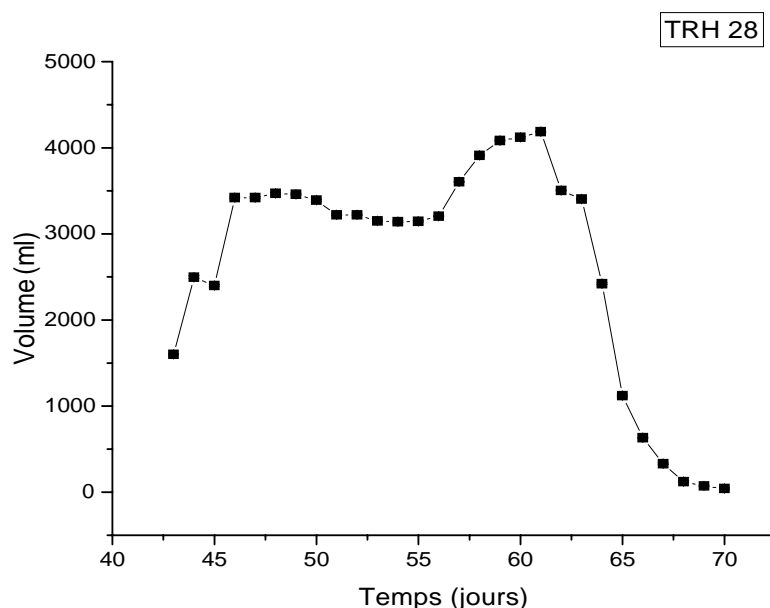
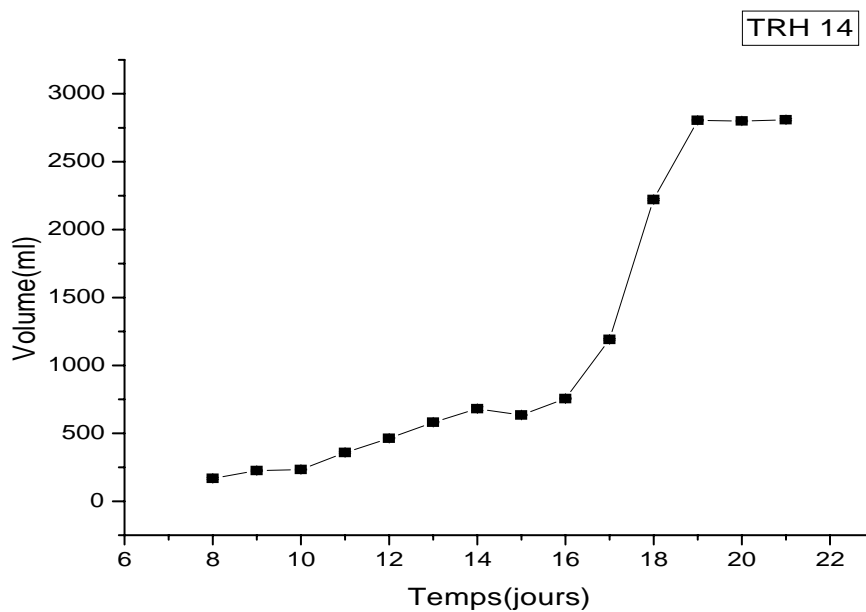
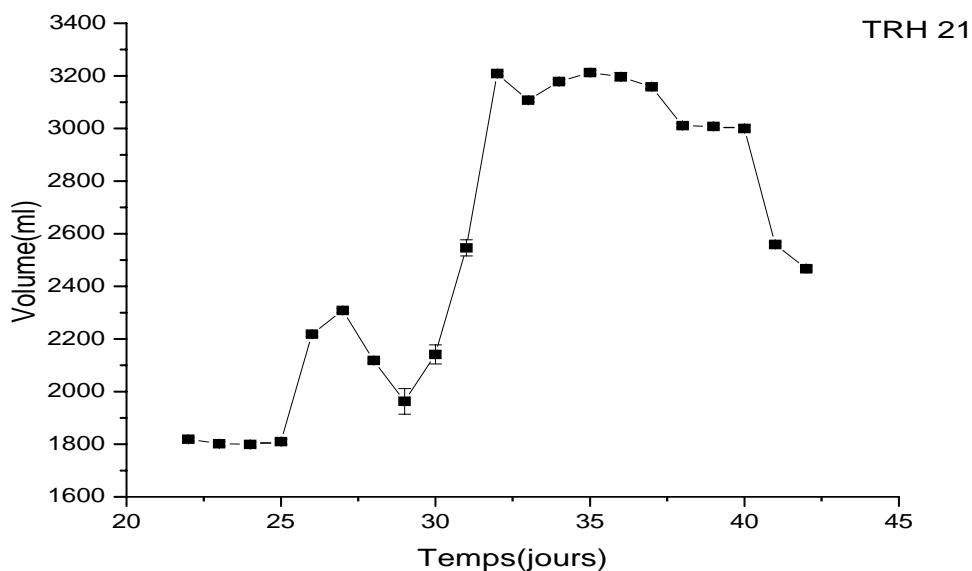


Figure 13: Evolution des volumes de biogaz avec le TRH 28.

D'après les figures 7,8,9 pour le **TRH 14** le volume a atteint le 3450ml de biogaz après dix jours de méthanisation, et stabiliser à ces valeurs, presque les même valeurs maximales pour les **TRH 21 et 28** avec un enregistrement des valeurs de 4500ml de par jour pour le **TRH 21** et stabilisation à ces valeurs pendant les dix dernier jours(très bon condition de la méthanisation). Une diminution des volumes de biogaz et CH₄ enregistré avec le **TRH 28** après vingt jours, et devenu nul au vingtsixième jour pour le TRH 28 et au vingt-cinquième , ce rendement est assimilé a qui été signalé par H. Ejhed et all[.]48[

VI. 4 Volume de méthane:

**Figure14 :** Evolution des volumes de méthane avec le TRH 14**Figure15:** Evolution des volumes de méthane avec le TRH 21.

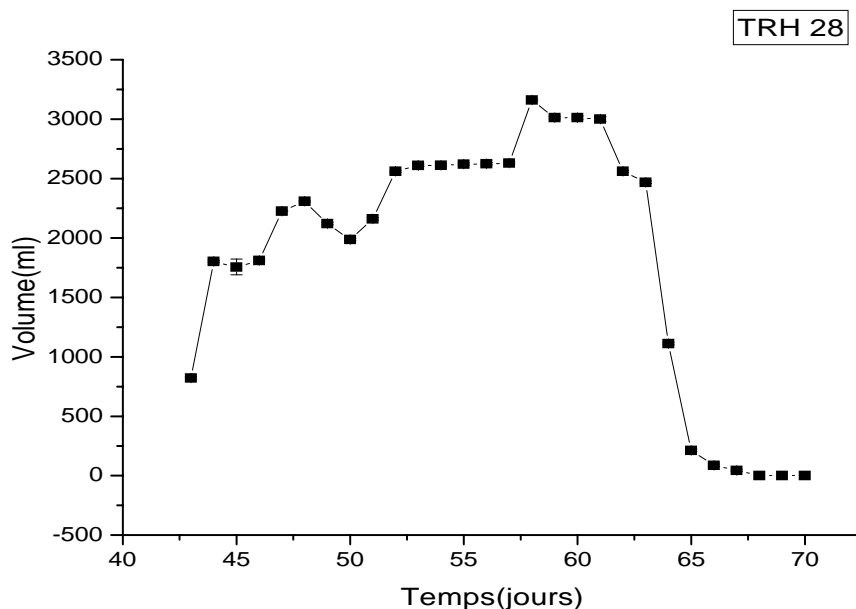


Figure16: Evolution des volumes de méthane avec le TRH 28.

D'après les figures 10, 11 et 12 pour le TRH 14 le volume a atteint le 2200ml de CH₄ après dix jours de méthanisation, et stabiliser à ces valeurs, presque les même valeurs maximales pour les TRH 21,28 et 35 avec un enregistrement de valeur de 3210ml de CH₄ par jour pour le TRH 21 et stabilisation à ces valeurs pendant les dix dernier jours(très bon condition de la méthanisation).

VI. 5 Cumulation des volumes :

Pour connaître la quantité de biogaz et de méthane produite dans le digesteur durant chaque temps de séjour nous cumulons les volumes produits dans chaque expérience. Le plus grand volume de biogaz et de méthane cumulé avec le TRH 21 et de 37322ml et 29863ml respectivement, ces valeurs reste presque constantes avec les TRH 28 .

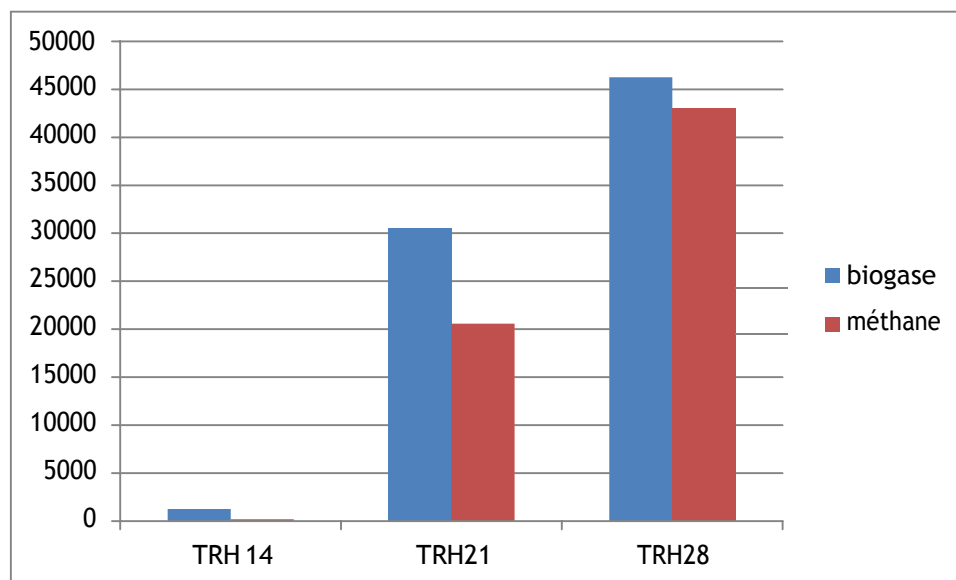


Figure 17: Les cumule des volumes (biogaz et méthane) avec les différents temps des rétentions hydrauliques.

Tableau 6 : Caractéristiques du substrat après chaque temps de séjour

Désignation	Ph	Taux de Matière sèche(%)	Taux de Matière organique(%)	DCO(mgO ₂ /l)
TRH14	7.3	10.49	71.97	16071.43
TRH21	7.5	7.94	46.07	16927.08
TRH28	7.6	7.78	45.11	6361.32

D'après le tableau 6 la DCOs finale de TRH14 (16071.43 mg/l) est plus importante que la DCOs de premier jour de la digestion anaérobie (9796.44 mg/l) cette augmentation dû au début de la dégradation de substrat qui est constitué majoritairement par des macromolécules (phase d'hydrolyse et acidogénèse) [48] .

Même remarque de la DCOs finale Pour le TRH 21 et TRH 28est atteint son maximum (16927,08mg/l) à la fine de TRH 21 celle-ci est expliquée par

la dégradation de la majorité de substrat qui est bien évident par le volume de biogaz produit pendant cette période .

CONCLUSION

CONCLUSION :

Afin de trouver une solution environnementale et énergétique à la fois, et après étude théorique et l'expérimentation pratique, on peut dire que la valorisation énergétique des déchets ménagers dans la ville d'Adrar est possible.

Dans ce travail nous avons utilisé la digestion anaérobique et le test du potentiel méthanogène (BMP), pour la valorisation énergétique et la détermination de la production maximale du méthane des échantillons.

Il existe des différences de pH enregistrées lors de la digestion déchet ménagère dans la phase du développement des bactéries méthaniques, où les valeurs du pH obtenues varient de 6 à 7,8 qui représentent un environnement favorable pour les bactéries méthanogènes responsables de la production de biogaz.

L'étude des différent temps des rétentions hydrauliques sur un digesteur continu de volume réactionnelle de 12L montre que pour une meilleur consommation de matière organique et un rendement maximale de biogaz et également en méthane, il faut un temps de rétention hydraulique pas moins de 21 jours qui a donner le plus grande volume en biogaz (35L) et donner aussi le volume le plus important en CH₄ (23L), et une consommation maximum de matière organique, que de l'ordre de 51,4%.

Sur cette base, et pour gagner du temps il est recommander d'alimenter le digesteur continuer à l'échelle pilote ou semi-pilote, après un temps de séjour entre 21et 28 jours, pour une exploitation énergétique optimum de ce type de déchets.

Références bibliographiques

- [1] *Tahri A, Kalloum Sl, Zohra Baba A.* Optimization of Hydraulic Retention Time for the Methanisation of Household Waste in the Town of Adrar (the south-west of Algeria). *International Journal of ChemTech Research*. Vol.11No.01,pp75-82, 2018.
- [2] *Tahri A, Kalloum S, Zohra Baba A,* Effect of organic loading rates on methane production using household waste, *U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 81, Iss. 3,pp39-40,2019* .
- [3] *Tahri A, Mounzar H, Djaafri M, Kaidi K,* Improvement of the methane yield from the sludge by co-digestion with dromedary dung in the city of adrar in algeria”, *U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 82, Iss. 3,pp63-72, 2020*.
- [4] *Belaib .A* ,Etude de la gestion de la valorisation par compositage des déchets organiques gènes par le restaurant universitaire aicha Oum Elmouminine (willaya de contantine), Mémoire de Magister, Université de Mentouri Constantine,2012.
- [5] *Bertolini . G,* Le marché des ordures. Edition : Le harmattan , Paris ,0991 .
- [6] *Sotamen. J,* Efficacité de la collecte des déchets ménagers et agriculture urbaine et périurbaine dans la ville de Yaoundé. Mémoire de D.E.A, Université de Yaoundé II, Cameroun , 2005 ,pp 100.
- [7] *Nikita .k. A, Topanou .A,* Gestion des déchets solides ménagers dans la ville d’Abomey Calavi (Bénin) : Caractérisation et essais de valorisation par compostage, Thèse de Doctorat, Université d’Abomey-Calavi et Université d’Aix Marseille, 2012.
- [8] *El hadi .I, Mokrane . H,* Classification des déchets solides industriels au niveau de Hassi rmel’ Mel, Mémoire de master, Université Des Sciences et de la Technologie d’Oran Mohamed Boudiaf USTOMB, 2014.
- [9] *Hamzaoui .S,* Gestion et impact des déchets solides urbains sur l’environnement , mémoire de magister , Université badjimokhtar , annaba,2011.
- [10] *Sotamenou. J,* le compostage : une alternative soutenable de gestion publique des déchets solides au Cameroun, Thèse de Doctorat, université de Yaoundé ii faculté des sciences économiques et de gestion, 2010.

Références bibliographiques

- [00] *Damien .A*, Guide Du traitement des déchets, 6ème Edition, Dunod, 2013,pp7 .
-]02[*Cheniti.H*, la gestion des déchets urbains solides : cas de la ville d'Annaba, Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba- Badji Mokhtar-Annaba-Université, 2014.
-]03[*El hadi .I, Mokrane .H*, Classification des déchets solides industriels au niveau de HASSI R'Mel, Mémoire de master, Université Des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf USTOMB, 2014.
-]04[*Feszterová .M* , Dangerous substances and processes : consideration of the subject within the educational process, *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 116, pp. 1176–1180, 2014.
-]05[*Agence Nationale des Déchets*, Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-aride et aride d'Algérie, 2044.
-]06[*Stratégie de Coopération de l'OMS avec l'Algérie*, Bureau rég. NLM Classification: WA 540 HA4, 2016.
-]07[*Bound .J.P, Kitsou .K, and Voulvoulis .N*, Household disposal of pharmaceuticals and perception of risk to the environment, *Environmental Toxicology and Pharmacology.*, vol. 21, pp. 301–307, 2006.
-]08[*Moletta .R*, Le traitement des déchets, Edition Tec & Doc, Lavoisier 2009,pp 463.
-]09[*S. Dahmane. S*, Evaluation de la gestion des déchets ménagers et assimilés de la ville d'Oran, mémoire de magister, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf (USTO-MB), 2012.
-]21[*Berg.LR, Raven .P.H, Hassenzahl .D.M.* , Environnement. Edition : De Boeck, Bruxelles , 2009,pp 605-619.
-]20[*Leroy. JB* , Les déchets et leur traitement : les déchets solides industriels et ménagers. Edition : Presse Universitaires de France, Paris, 3ème édit ,1997, 127 p.
- [22] *Ademe* , Les déchets en chiffres, Données et références , 1994, pp146.

Références bibliographiques

-]23[*Benallal .A*, Etude d'impact de centre d'enfouissement technique d'Ain T'émouchent (Sidi Ben-Adda) sur l'environnement , Université Aboubekrbelkaid Tlemcen, (2016),pp59 .
-]24[*Faurie. C, Ferra. C, Medori. P, Dereaux. J, Hemptinne , J.* Ecologie , Approche scientifique et pratique, 5ème édition , 2006 pp 343-356.
-]25[Valorisation des déchets industriels, chapitre 1.
-]26[*Bouterfas . I*, Identification et Caractérisation des déchets ménagers solides de la ville de Tlemcen. Tlemcen, université Abou bakrbelkaid-tlemcen , 2017,pp 64.
-]27[*Christelle .H*, Proposition de scénarios de gestion raisonnée des déchets en vue de leur valorisation énergétique. Université de La Réunion, 2015,pp399.
-]28[*Lopez .J* , Les composts, Le courrier de l'environnement INRA , Document INRAMELS , 2002 ,PP18.
-]29[*Couplan. F, Marmy.F* , Jardinez au naturel , jardin bio facile, Edition , Sang de la terre et groupe Eyrolles, 2009,PP 314 .
-]31[*Damien. A*, Guide du traitement des déchets. 4ème édition, Dunod, Paris ,2006 ,pp3-16., 279-293.
-]30[*Lebozec. A* , Le service d'élimination des ordures ménagères : organisation, coûts, Gestion, Edition l'Harmattan , 1994,pp 460.
-]32[*Dupriez. N, Leener. P*, Jardin et verger d'Afrique. Edition, Terre et vie, Belgique , 1987 , pp354.
-]33[*Bayard. R, Gourdon .R* , Traitement biologique des déchets. Edition , Techniques de l'ingénieur ,2007 , pp 1-23.
-]34[*Humeau .PH, Le cloirec . P.*, Emissions gazeuses et traitement de l'air en compostage. Edition. Techniques Ingénieur ,2010.

Références bibliographiques

-]35[*A. Chuanch..A and Ramaraj.R* , Sustainability assessment of biogas production from buffalo grass and dung: biogas purification and bio - fertilizer, 3 Biotech, vol. 8, no. 3, pp. 150–161, 2018.
-]36[*Caceres .E and Alca .J .J* , Potential For Energy Recovery From A Wastewater Treatment Plant, IEE Lat. Am. Trans., vol. 14, no. 7, 2016 , pp. 3316–3321.
-]37[*Askri .A* , Valorisation de déchets de méthanisation en agricole : effets sur les cycles de biogéochimie du carbone et l'azote, Thèse de Doctorat, École Doctorale Abies, 2015.
-]38[*Guide de traitement des déchets*, 3ème édition, Dannod, parais, 2004, PP 247-248p.
-]39[*Thiele .J .H*, Mixed-Culture Interactions in Methanogenesis, In Mixed-Culture in Biotechnology McGraw-Hill, Inc., New York , 1991.
-]41[*Batstone. D. J., Keller, J., Angelidaki .I, Kalyuzhny. S. V, Pavlostathis, S. G., Rozzi, A, Sanders, W. T. M., Siegrist, H. and Vavilin, V. A.* The IWA Anaerobic digestion model no 1. (ADM1) Water Science and Technology, 45, (10), 65-73 ,2002 .
-]40[*Kaseng. K., Ibrahim. K., Paneerselvam. S. V. and Hassan. R. S.* Extracellular enzyme and acidogen profiles of a laboratory-scale two-phase anaerobic digestion system Process Biochemistry, 27, 43-47 , 1992 .
-]42[*Parawira. W. Murto. M., Read. J. S. and Mattiasson . B.* Profile of hydrolases and biogas production during two-stage mesophilic anaerobic digestion of solid potato waste Process Biochemistry, 40, (9), 2945-2952 , 2005 .
-]43[*Batstone. D. J., Keller . J., Angelidaki . I., Kalyuzhny. S. V., Pavlostathis. S. G., Rozzi. A., Sanders, W. T. M., Siegrist, H. and Vavilin, V. A.* Anaerobic digestion model No. 1 (ADM1) IWA Publishing, London, UK ,2002b .
-]44[*Chyi . Y. T. and Dague, R. R.* Effects of particulate size in anaerobic acidogenesis using cellulose as a sole carbon source” Water Environment Research, 66, (5), 670-678 (1994).

Références bibliographiques

- [45] *Batstone . D. J., Keller. J. Newell. R. B. and Newland. M.* Modelling anaerobic degradation of complex wastewater I: Model development *Bioresource Technology*, 75, 67-74 , 2000.
- [46] *Converse. A. O. and Optekar. J. D.* A synergistic kinetics model for enzymatic cellulose hydrolysis compared to degree-of-synergism: Experimental Results. *Biotechnology and Bioengineering*, 42, (1), 145-148 ,1993.
- [47] *Sanders. W. T. M., Geerink . M., Zeeman. G. and Lettinga . G.* Anaerobic hydrolysis kinetics of particulate substrates” *Water Science and Technology*, 41, (3), 17-24 , 2000.
- [48] *Vavilin . V. A., Rytov. S. V. and Lokshina . L. Y.* A description of hydrolysis kinetics in anaerobic degradation of particulate organic matter. *Bioresource Technology*, 56, (2-3), 229-237 ,1996.
- [49] *Pavlostathis . S. G. and Giraldo-Gomez. E.* Kinetics of anaerobic treatment: A critical review *Critical Reviews in Environmental Control*, 21, 411-490 , 1991 .
- [51] *Angelidaki . I. and Ahring . B. K.* Effect of the clay mineral bentonite on ammonia inhibition of anaerobic thermophilic reactors degrading animal waste . *Biodegradation*, 3, 409-414 ,1993 .
- [50] *Balk . M., Weijma . J. & Stams . A.J.M.* *Thermotoga lettingae* sp nov., a novel thermophilic, methanol-degrading bacterium isolated from a thermophilic anaerobic reactor *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 52, 1361-1368 , 2002 .
- [52] APHA, *Standard Methods for the Examination and Water and Wastewater*, twenty first ed. American Water Works Association an Water Environment Federation, Washington DC . 2005.
- [53] *Vavilin . V. A., Lokshina . L. Y., Rytov . S. V., Kotsyurbenko . O. R., Nozhevnikova . A. N. and Parshina . S. N.* Modelling methanogenesis during anaerobic conversion of complex organic matter at low temperatures. *Water Science and Technology*, 36, (6-7), 531-538 ,1997.

Références bibliographiques

-]54[*Björnsson. L., Murto, M., Jantsch . T. G. and Mattiasson. B.* Evaluation of new methods for the monitoring of alkalinity, dissolved hydrogen and the microbial community in anaerobic digestion *Water Research*, 35, (12), 2833-2840 , 2001.
-]55[*Oles. J., Dichtl . N. and Niehoff . H.* Full scale experience of two stage thermophilic/mesophilic sludge digestion” *Water Science and Technology*, 36, (6-7), 449-456 , 1997.
-]56[*Ramsay. I. R. and Pullammanappallil . P.* Protein degradation during anaerobic wastewater treatment: Derivation of stoichiometry *Biodegradation*, 12, (4), 247-257 2001.
-]57[*Pauss . A., Andre . G., Perrier, M. and Guiot . S. R.* Liquid-to-gas mass transfer in anaerobic process: Inevitable transfer limitations of methane and hydrogen in the biomethanaton process” *Applied and Environmental Microbiology*, 56, (6), 1636-1644 , 1990.
-]58[*Puñal . A., Palazzotto . L., Bouvier, J. C., Conte, T. and Steyer, J.-P.* Automatic control of volatile fatty acids in anaerobic digestion using a fuzzy logic based approach. *Water Science and Technology*, 48, (6), 103-110 , 2003 .
-]59[*Stams. A. J. M., Plugge. C. M., De Bok, A. F. M., Van Houten, B. H. G. W., Lens . P., Dijkman, . and Weijma. J.* Metabolic interactions in methanogenic and sulfatereducing ioreactors *Water Science and Technology*, 52, (1), 13-20 , 2005.
-]61[] *Fey. A. and Conrad. R.* Effect of temperature on carbon and electron flow and on the archaeal community in methanogenic rice field soil *Applied and Environmental Microbiology*, 66, 4790-4797, 2000.
-]60[*McHugh . S., Carton. M. Mahony. T. and O'Flaherty. V.* Methanogenic population structure in a variety of anaerobic bioreactors *FEMS Microbial Ecology*, 219, (2), 297-304 , 2003.

Références bibliographiques

-]62[*Murto. M.* Anaerobic Digestion: Microbial ecology, improved operational design and process monitoring Ph.D. dissertation, Department of Biotechnology, Lund University, Sweden , 2003 .
-]63[*Schink . B.* Synergistic interactions in the microbial world *Antonie van Leeuwenhoek*, 81, 257-261 , 2002.
-]64[*Kotsyurbenko. O. R.* Trophic interactions in the methanogenic microbial community of low-temperature terrestrial ecosystems *FEMS Microbial Ecology*, 53, (1), 3-13 , 2005.
-]65[*Petersen, S. P. and Ahring, B. K.* Acetate oxidation in thermophilic anaerobic sewage sludge digester : the importance of non-aceticlastic methanogenesis of acetate *FEMS Microbial Ecology*, 86, 149-158 , 1991.
-]66[*Batstone. D.J, Keller. J, Angelidaki. I, Kalyuzhnyi. S, Pavlostathis, S.G, Rozzi. A, Sanders. W, Siegrist. H, Vavilin. V.A,* The iwa anaerobic digestion model n°1 (adm1).
-]67[*. Bollon. J,* Etude des mécanismes physiques et de leur influence sur la cinétique de méthanisation en voie sèche : essais expérimentaux et modélisation ,thèse de doctorat , Ecole doctorale de Chimie de Lyon (Chimie, Procédés, Environnement). 2012 .
-]68[*Marache. L. E ,* La méthanisation des effluents et déchets organiques : état des connaissances sur le devenir pathogène', thèse de doctorat, université Paul-Sabatier de Toulouse, France , 2001 .
-]69[*Ouedrago .R..B ,* Traitement des ordures ménagères au Sénégal, Thèse vétérinaire Dakar , 1994 .
-]71[*Almansour . E,* Bilans énergétiques et environnementaux de filières biogaz: thèse de doctorat université de bordeaux .France , 2011.
-]70[*Chen Y, Rößler B, Zielonka S, Lemmer A, Wonneberger A, Jungbluth A.,* The pressure effects on two-phase anaerobic digestion, *Appl. Energy*, vol. 116, p409–415, 2014.

Références bibliographiques

]72[Boutouta .I , valorisation énergétique des déchets solides urbains de la ville de Blida, mémoire de master Université de Blida, Blida, Algérie ,2012 .

]73[*Guendouz. J*, Contribution à la recherche d'outils pour l'étude et le suivi des réacteurs de méthanisation par voie sèche, Montpellier, Montpellier II, Énergétique et Génie des procédés , (2008).

]74[*Han .G, Shin .S.G, Cho .K, Lee .J, Kim .W, and Hwang .S*, Temporal variation in bacterial and methanogenic communities of three full-scale anaerobic digesters treating swine wastewater, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 112, 2018 , pp. 3–12 .

]75[*Benamirouche .R, Hadjkouider .R.A* ,La valorisation des déchets organiques pour la production de l'énergie renouvelable : le biogaz, Colloque sur : Les politiques d'utilisation des ressources énergétiques : entre les exigences du développement national et la sécurité de besoins internationaux.

]76[*lima amarante J.A*, biométhanisation des déchets putrescibles municipaux technologies disponibles et enjeux pour le Québec, essai effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement, 2010 .

]77[*Ben smail . L* , Contribution à la production du biométhane à partir des déchets ménagers de la ville de Bechar, Thèse Doctorat. Université de Bechar , 2014 .

]78[*Harchaoui .M.EL A* , Eude de biométhanisation des déchets d'abattoir et conurbation expérimentale, mémoire de master, université kasdimerbahouargla, 2013.

]79[*Gülzow*, Guide sur le biogaz de la production à l'utilisation, 5e édition, 2010, p21.

]81[*Benlensar . L, Abdounew .Z* , Méthanisation des déchets organiques de restaurant de la résidence universitaire de l'université Africaine ADRAR , mémoire de master, Université Africaine Ahmed Draïa , 2017 ,pp 59 .

]80[*Str .S, Achu .I, Nistor.M , B. Wang .B and A. Bj .A*, Evaluating the influences of mixing strategies on the Biochemical Methane Potential test, *J. Environ. Manage.*, vol.

Références bibliographiques

185, 2017pp. 54–59 .

]82[*Slimane.K , fathya .S, Assia .K , Hamza .M*, Influence of inoculums / substrate ratios (ISRs) on the mesophilic anaerobic digestion of slaughterhouse waste in batch mode : Process stability and biogas production, *Energy Procedia*, vol. 50, 2014, pp. 57–63 .

]83[*Alzate .M.E , Muñoz .R , F. Rogalla .F* , Biochemical methane potential of microalgae: Influence of substrate to inoculum ratio, biomass concentration and pretreatment, *Bioresource Technology*, vol.123, 2012, pp.488-494 .

]84[*Elreedy .A, Fuji .M, and A. Tawfik .A*, Factors affecting on hythane biogeneration via anaerobic digestion of mono-ethylene glycol contaminated wastewater: inoculum-to-substrate ratio, nitrogen-to-phosphorus ratio and pH, *Bioresour. Technol.*, vol. 223, 2016 ,pp. 10–17 .

]85[*Sunyoto .N.M .S, Zhu .M, Z. Zhang .Z and D. Zhang .D*, Effect of Biochar Addition and Initial pH on Hydrogen Production from the First Phase of Two-Phase Anaerobic Digestion of Carbohydrates Food Waste, *Energy Procedia*, vol. 105, 2017, pp. 379–384 .

]86[*Ejhed.H et al* , The effect of hydraulic retention time in onsite wastewater treatment and removal of pharmaceuticals , hormones and phenolic utility substances, *Sci. Total Environ.*, vol. 618, 2018 , pp. 250–261.

]87[*Salem .A.H , Brunstermann .R, and Mietzel .T*, Effect of pre-treatment and hydraulic retention time on biohydrogen production from organic wastes, *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 43, no. 10, 2018, pp. 4856–4865 .

Résumé

Résumé

La plupart des déchets organiques contiennent une fraction élevée du substrat facilement dégradable, qui donne un rendement élevé de méthane possède un pouvoir énergétique élevé et peut être utilisé dans la vie quotidien.

Notre travail consiste optimisation de temps de rétention hydraulique pour digestion anaérobie des déchets ménagers de la ville d'Adrar . Durant cette étude, nous avons aussi suivi l'évolution le volume du biogaz et de méthane produit en fonction du temps, ainsi que l'évolution de pH. les résultats ont montré que il faut un temps de rétention hydraulique pas moins de 28 jours qui a donné le plus grande volume en biogaz et donné aussi le volume le plus importante en CH₄ .

Mots Clés : Déchets ménagers, Digesteur contenu, Biogaz ,CH₄ , TRH .

Summary

Most organic waste has a high content of easily degradable substrate, which gives a high yield of methane and has high energy and we can use it in everyday life.

Our work consists of improving the hydraulic retention time for anaerobic digestion of household waste in the city of Adrar. During this study, we also followed the evolution of the volume of biogas and methane produced over time, as well as the evolution of pH. The results showed that it takes a hydraulic retention time of at least 28 days, which gave the largest volume in biogas and also gave the largest volume in methane CH₄.

Keywords : Household waste , Continuous digester , Biogas, CH₄,TRH .

ملخص

تحتوي معظم النفايات العضوية على نسبة عالية من الركيزة القابلة للتحلل بسهولة ، مما يعطي مردودًا عاليًا من الميثان وله طاقة عالية ويمكن استخدامه في الحياة اليومية .

يتكون عملنا من تحسين وقت الاحتفاظ الهيدروليكي من أجل الهضم اللاهوائي للنفايات المنزلية في مدينة أدرار . خلال هذه الدراسة ، تابعنا أيضًا تطور حجم الغاز الحيوي والميثان المنتج بمرور الوقت ، بالإضافة إلى تطور الأس الهيدروجيني. أظهرت النتائج أنه يستغرق وقتًا للاحتفاظ الهيدروليكي لا يقل عن 28 يومًا مما أعطى أكبر حجم في الغاز الحيوي وأعطى أيضًا أكبر حجم في الميثان

الكلمات المفتاحية : النفايات المنزلية ، هاضم مستمر ، الغاز الحيوي ، الميثان ، وقت الاحتفاظ الهيدروليكي .