

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER EN CHIMIE D' ENVIRONNEMENT

Thème

Gestion et valorisation énergétique des déchets organiques

Soutenu le : 27/06/2016

Présenté par :

Mr. RAHMANI ABDRAHI

Mr. TAYEBI HACHEMI

Encadré par : Mr. SLIMANI. S

Président : Mr. HABCHI. A

Examineurs: Mr. DAHOU. Mohammed. A

Année universitaire 2015/2016

Sommaire

Liste des abréviations	i
Liste des figures	ii
Liste de tableaux	iii
Introduction	

Première partie

Partie bibliographique

Chapitre I : *Généralités sur les déchets*

I.1. Définitions	02
I.1.1. Définition juridique	02
I.1.2. Définition économique	02
I.2. Classification des déchets	03
I.2.1. Classification des déchets selon leur source	03
I.2.1.1. Les déchets agricoles	03
I.2.1.2. Déchets industriels (DI)	03
I.2.1.3. Les déchets banales (DIB)	03
I.2.1.4. Les déchets industriels spéciaux (DIS)	04
I.2.1.5. Les déchets urbains	04
I.2.1.5.1. Les déchets ménagers	04
I.2.1.5.2. Les déchets des espaces publiques	04
I.2.1.5.3. Les déchets assimilables aux déchets ménagers	05
I.2.1.5.4. Autres déchets urbains	05
I.2.1.6. Les déchets d'activité de soin (DAS)	05
I.2.2. Classification des déchets selon leur toxicité	05
I.2.2.1. Les déchets dangereux	05
I.2.2.2. Les déchets inertes	06
I.2.2.3. Les déchets non dangereux	06
I.2.3. Classification des déchets selon leur nature physique	06
I.2.3.1. Déchets solides	06
I.2.3.2. Boues	06

I.2.3.3.	Déchets liquides ou pâteux	06
I.2.3.4.	Déchets gazeux	06
I.2.4.	Classification des déchets selon leur nature chimique	06
I.2.4.1.	Les déchets basique06	
I.2.4.2.	Les déchets acides	06
I.2.4.3.	Sel résiduaires	07
I.2.4.4.	Métaux	07
I.2.4.5.	Déchets organiques	07
I.2.4.6.	Déchets minéraux	07
I.3.	les méfaits des déchets	08
I.3.1.	pollutions	08
I.3.1.1.	pollution de l'eau	08
I.3.1.2.	pollution du sol	09
I.3.1.3.	La pollution de l'air	09
I.3.2.	la chaine alimentaire	10
I.3.3.	Effets sur le paysage	10
I.3.4.	les nuisances	10
I.3.5.	Effets sur la végétation	10

Chapitre II: Techniques de gestion des déchets

II.1.	La prévention	11
II.2.	La collecte	12
II.2.1.	La pré-collecte	12
II.2.2.	Les différents modes de collecte	13
II.2.2.1.	La collecte en porte à porte	13
II.2.2.2.	La collecte par conteneur	13
II.2.2.3.	la collecte par points de regroupement	14
II.2.2.4.	La collecte des déchets encombrants	14
II.2.2.5.	La collecte sélective	15
II.3.	Transport	16

II.4.	Station de transit	16
II.5.	Déchetterie	17
II.6.	Centre de tri	18
II.7.	Modes de traitement des déchets	19
II.7.1.	Traitement biologique	19
II.7.1.1.	Le compostage	19
II.7.1.1.1.	Historique	19
II.7.1.1.2.	Définition	20
II.7.1.1.3.	Principe du compostage	20
II.7.1.1.3.1.	La phase de fermentation	20
II.7.1.1.3.2.	La phase de maturation	21
II.7.1.1.4.	avantage	21
II.7.1.1.5.	Contraintes	21
II.7.1.1.6.	Déchets concernés	21
II.7.2.	Traitement thermique	23
II.7.2.1.	Incinération	23
II.7.2.1.1.	Les avantages de l'incinération	23
II.7.2.1.2.	Les inconvénients de l'incinération	24
II.7.2.1.3.	Incinération avec récupération d'énergie	24
II.7.2.1.4.	Incinération sans récupération d'énergie	25
II.7.2.1.5.	Résidus de l'incinération	25
II.7.2.2.	La pyrolyse	25
II.7.3.	Le stockage	25
II.7.4.	La mise en décharge	26
II.7.4.1.	Les différents types de décharge	26
II.7.5.	Comparaison des traitements	26
II.7.6.	Le recyclage	28
II.7.6.1.	Les avantages du recyclage	28
Chapitre III : <i>La Méthanisation</i>		
III.1.	Introduction	29
III.2.	Historique	29

III.3.	Définition	30
III.4.	Les étapes de la biométhanisation	30
III.4.1.	L'hydrolyse	30
III.4.2.	L'acidogénèse	31
III.4.3.	L'acétogénèse	31
III.4.4.	La méthanogénèse	31
III.5.	La microbiologie de la fermentation	34
III.5.1.	Flore non méthanogène	34
III.5.2.	Flore méthanogène	34
III.6.	Les facteurs influençant la méthanisation	34
III.6.1.	Le substrat	35
III.6.2.	La température	36
III.6.3.	le pH	37
III.6.4.	Le potentiel d'oxydoréduction	37
III.6.5.	Besoins nutritionnels	37
III.6.6.	La présence des inhibiteurs	38
III.6.7.	Rapport C/N	38
III.6.8.	Degré d'humidité	38
III.6.9.	Le brassage	38
III.7.	Les systèmes de digesteur	39
III.7.1.	Le système (digestion) Batch (en discontinu)	39
III.7.2.	Le système continu « infiniment mélangé »	39
III.8.	Les avantages et les inconvénients de la méthanisation	39
III.8.1.	Les avantages	39
III.8.2.	Les inconvénients	40
III.9.	Le biogaz	40
III.9.1.	Définition	40
III.9.2.	Déchets concernés	41
III.9.3.	Composition du biogaz	41
III.9.4.	Les équivalences énergétiques du biogaz	43
III.10.	Procédés d'épuration et de valorisation du biogaz	44
III.10.1.	But de l'épuration	44
III.10.2.	Procédés d'Épuration	44
III.10.3.	Valorisation de biogaz	45
III.10.3.1.	Valorisation thermique	46
III.10.3.2.	Valorisation électrique	46
III.10.3.3.	Production de carburant	47
III.10.3.4.	Injection de biogaz dans le réseau de gaz naturel	47

Deuxième partie
Partie expérimentale
Chapitre I : Matériels et Méthodes

I.1. Introduction	48
I.2. Le dispositif experimental	48
I.2.1. Matériels utilisés	48
I.2.2. Origine des substrats utilises	48
I.2.3. Description du dispositif experimental	49
I.3. Expérience	50
I.3.1. Le substrat	50
I.3.2. Description du dispositif experimental	50
I.3.3. Le mode opératoire	51
I.4. Observation	52
I.5. Résultat et Discussion	52
I.5.1. Déchet de l'estomac	52
I.5.2. déchets de Karnaf	53
I.6. Résultats et discussions comparative	54
Conclusion	55
Références bibliographiques	

Liste des figures

Figure 01 : Origine des déchets et leur interférence avec l'environnement	08
Figure02 : schéma de la prévention au sein d'un cycle de vie d'un produit	12
Figure 03 : Logo universel des matériaux recyclables	28
Figure 04: Principe biochimique de la méthanisation	33
Figure 05: Efficience de la digestion anaérobie selon la température	36
Figure 06: Équivalence d'1 m ³ de méthane	44
Figure 07: Le substrat utilisé	50
Figure 08: Schéma simplifié du dispositif expérimental	51
Figure 09: variation de volume de biogaz produit de déchet de l'estomac en fonction du temps	52
Figure 10: variation de volume de biogaz produit de déchet de Karnaf en fonction du temps	54

Liste des Tableaux

Tableau 01: comparaison des techniques de traitement des déchets urbains.	27
Tableau 02: Pouvoir calorifique du biogaz en fonction de la proportion de méthane	35
Tableau 03: Composition moyenne du biogaz	41
Tableau 04: Composition du biogaz selon les origines	41
Tableau 05: Variation de volume et pH de déchet de l'estomac en fonction du temps	52
Tableau 06: Variation de volume et pH de déchet de Karnaf en fonction du temps.	53

Introduction générale

Pendant les dernières années, l'intérêt qui est porté à la valorisation des déchets et des sous produits est lié à la crise de l'énergie.

Pour répondre aux besoins en énergie de notre pays, et afin de réduire la pollution locale et l'effet de serre, pour la préservation de l'environnement ; la prospection et le développement de nouvelles sources d'énergie ont été entrepris et notamment l'énergie issue de la biomasse et plus précisément le biogaz. Ce dernier représente une énergie renouvelable [1] largement disponible, peu coûteuse, non polluante et utilisée pour compléter l'énergie fossile non renouvelable.

Plusieurs filières existent pour le traitement et la valorisation de ces biomasses, mais le choix doit être tributaire du coût d'installation, de l'origine des biomasses, et de l'impact que pourrait avoir la filière retenue sur l'environnement. L'incinération des déchets a un coût prohibitif et présente un risque lié à l'impact de l'émanation des gaz toxiques sur l'environnement tel que celui de la dioxine [2] ; [3]. La valorisation biologique ou agricole (production d'engrais et de compost) constitue des technologies vertes permettant de transformer les déchets en produits à haute valeur ajoutée en minimisant au maximum les risques de pollution.

Aussi, la production d'énergie à partir des déchets organiques (ordures ménagères, matière végétale, déjection animale,...) par le procédé de méthanisation (ou la digestion anaérobie) permettra une meilleure gestion des déchets, une préservation de l'environnement et un développement des ressources d'énergie.

L'objectif de ce travail, est la gestion et la valorisation énergétique des déchets organiques, pour la production de biogaz comme source d'énergie à haute valeur énergétique.

Cette étude comporte deux parties. Dans la partie théorique (chapitre I, II et III) on retrouve toutes les notions clés liées aux gestion des déchets , méthanisation et la valorisation du biogaz. Dans la deuxième partie (chapitre I) on a présenté le travail expérimental : matériels utilisé et méthodes de travail. En fin nous avons conclu notre travail par une présentation des résultats obtenus selon des méthodes que nous avons choisi, et une interprétation suivie par une conclusion générale.

I.1 Définitions :

La notion de déchets peut être définie de différentes manières selon le domaine et l'intérêt d'étude et parfois l'origine et l'état du déchet.

Parmi les nombreuses définitions existantes, nous pouvons mentionner celles qui nous paraissent les plus intéressantes :

- « Est considéré comme déchet, tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ».
- Les déchets sont des résidus de l'emploi de matières solides qui peuvent être putrescibles ou non putrescibles.
- Les déchets sont des matières normalement solides ou semi-solides résultant des activités humaines et animales qui sont indésirables ou dangereuses (PNUD.,2009).

I.1.1. Définition juridique :

Selon la loi N°01-19 du 12 Décembre 2001 parue dans le journal officiel Algérien N°77, relative a la gestion, au contrôle et a l'élimination des déchets :
« Un déchet est tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer »

I.1.2. Définition économique :

Un déchet est l'ensemble des biens, matériaux et éléments qui ne possèdent – dans les conditions de lieu et de temps de leur production- ni valeur marchande, ni état suffisant pour une valorisation éventuelle, compte tenu, soit des connaissances technologiques, soit des données économiques du moment. (Koller 2004)

I.2 Classification des déchets :

La classification des déchets peut être faite de différentes façons selon que l'on se base sur certaines caractéristique : physique ou type de matériaux concerné ou sur les différents secteurs d'activité ou de production (**Murat., 1981**).

I.2.1. Classification des déchets selon leur source :

Les déchets peuvent être classés selon leur source : déchets agricoles, déchets de productions industrielles, déchets ménagers et hospitalier etc.... (**Koller., 2004**).

I.2.1.1. Les déchets agricoles :

Les activités agricoles génèrent principalement 5 types de déchets : (**Damien., 2004**).

- Les sacs ou bidons vides d'engrais, d'herbicides, de pesticides.
- Les produits phytosanitaires non utilisables, correspondant aux stocks de produits périmés
- Les filmes agricoles.
- Les résidus liés aux activités d'élevage.
- Les déchets verts (pailles, toutes de pelouses...)

Avec 400 Mt de déchets par an, le secteur de l'agriculture (auquel est ajouté l'agro-alimentaire) présente la particularité de produire de grande quantité de déchets (**Balet., 2005**).

I.2.1.2. Déchets industriels (DI) :

Ce sont les déchets qui ne peuvent être ni admis en décharge ni ramassés avec les ordures ménagères (OM) en raison de leur quantité ou de leur toxicité.

Les DI se différencient des déchets des ménages par la variation plus rapide de leur composition et des quantités produites et par la grande variation de leur caractère toxique en fonction du type d'activité (**Koller., 2004**).

I.2.1.3. Les déchets banales (DIB) :

Les DIB regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits, par les industries et les entreprises du commerce de l'artisanat des services de

l'administration de la métallurgie de la plasturgie, de la peinture, de la chimie et de la pétrochimie (**Koller., 2004**).

Les DIB ne présentent pas de caractère toxique et peuvent être éliminés avec les ordures ménagères (OM) (**Damien., 2004**).

I.2.1.4. Les déchets industriels spéciaux (DIS) :

Ce sont les déchets qui, par leur nature ou leur volume, font courir un risque et nécessitent un traitement spécifique dans des installations adaptées car leur élimination nécessite des précautions particulières pour la protection de l'environnement (**Koller., 2004**).

I.2.1.5. Les déchets urbains :

Selon (**Koller., 2004**) les déchets urbains est l'ensemble des déchets dont l'élimination au sens donné par les textes législatifs, relève de la compétence des communes.

Il distingue les catégories suivantes :

I.2.1.5.1. Les déchets ménagers :

Correspondant à ceux produits par l'activité domestique des ménages et comprennent :

- Les ordures ménagères (OM) ;
- Les déchets verts des ménages ;
- Les déchets encombrants (vieux meubles, textiles et vêtements, gros cartons, vélos...)
- Les déblais et les gravas ;
- Les déchets verts des ménages ;
- Les déchets ménagers spéciaux (DMS) : déchets toxiques ou dangereux produits en faible quantité pour les ménages (solvant, peinture, les huiles minérales) et qui ne peuvent pas être éliminés.

I.2.1.5.2. Les déchets des espaces publics :

Issus de l'exploitation, de l'entretien de jardin et d'espaces verts public et du nettoyage municipal.

I.2.1.5.3. Les déchets assimilables aux déchets ménagers :

Ce sont les déchets issus des commerces de l'artisanat, des bureaux et des industries, ils sont collectés par les municipalités (de la même manière que les déchets ménagers).

I.2.1.5.4. Autres déchets urbains :

- Déchets de l'assainissement collectif ;
- Déchets de chantier (bâtiment) ;
- Déchets d'origine animale ;
- Voitures usagées ;
- Batteries d'automobiles ;
- Déchets électronique.

I.2.1.6. Les déchets d'activité de soin (DAS) :

Ce sont des déchets spécifiques des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, curatif dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire ainsi que des activités de recherche et d'enseignement associés, de production industrielle et de thanatopraxie (**Damien., 2004**).

I.2.2. Classification des déchets selon leur toxicité :

Les déchets peuvent être repartis en trois catégories en fonction de leur potentiel polluant et de leur teneur élémentaire en polluant ainsi que de leur écotoxicité (**Descachy., 2001**).

I.2.2.1. Les déchets dangereux :

Ils présentent des caractéristiques dangereuses pour la santé et pour l'environnement et en raison de leur propriété dangereuse doivent faire l'objet d'une élimination particulière. Ils appartiennent à l'un des trois groupes suivants :

- Les déchets dangereux des ménages ;
- Les déchets des activités de soins et assimilés à risque ;
- Les déchets industriels dangereux (déchets dangereux de l'agriculture, du commerce et de l'artisanat, des services, des administrations et autres activités de toutes natures).

I.2.2.2. Les déchets inertes :

Ce sont les déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante ne se décomposent pas ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique ne sont pas biodégradable et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible de nuire à la santé humaine et d'entraîner une pollution de l'environnement.

I.2.2.3. Les déchets non dangereux :

Ce sont les déchets qui ne sont ni dangereux, ni inertes, ils comprennent : notamment : des déchets municipaux (déchets des ménages, du nettoyage municipal, d'entretien des espaces verts et les déchets de l'assainissement individuel ou collectif) et les déchets industries banals (DIB).

I.2.3. Classification des déchets selon leur nature physique :

Selon (Murat., 1981) cette classification comprend :

I.2.3.1. Déchets solides : OM, déchets de métaux, déchets inertes, déchets de caoutchouc et plastique, déchets de bois...

I.2.3.2. Boues : Boues de station d'épuration des eaux urbaines ou industrielle, boues d'origines diverses (de traitement, de surface, d'hydrocarbures, de peinture... .

I.2.3.3. Déchets liquides ou pâteux : goudrons, huiles usagés, solutions résiduaires diverses... .

I.2.3.4. Déchets gazeux :

Le biogaz de décharges (méthane), les gaz à effet de serre (dioxyde de carbone,...etc.).

I.2.4. Classification des déchets selon leur nature chimique :

D'après (Murat., 1981) elle comprend

I.2.4.1. Les déchets basique : soude et potasse résiduaires, liqueurs ammoniacales, chaux résiduaires (boues de carbures).

I.2.4.2. Les déchets acides : solution résiduaires, acides divers (HCl, H₂, SO₄, HNO₃, ..., acide organiques) acides à l'état de gaz.

- I.2.4.3. Sel résiduaires :** Sulfate de calcium, carbonate de calcium, sulfate ferreux,...
- I.2.4.4. Métaux :** Ferrailles, carcasses de véhicules, déchets de métaux précieux, câbles... .
- I.2.4.5. Déchets organiques :** solvants usés, huiles usagées, boues d'hydrocarbures liqueurs résiduaires phénolés... .
- I.2.4.6. Déchets polymériques :** déchets de caoutchouc et de plastique (PVC, PS, PE, poly uréthane...)
- I.2.4.7. Déchets minéraux :** déchets siliceux, déchets de silicates ou silico-aluminates (schistes houillère, déchet de verre, cendres de centrales thermiques...) déchets de calcaire (déchets de marbre, carbonate de calcium résiduaire des sucreries).

I.3. les méfaits des déchets :

Les déchets sont à la fois un risque et une ressource, mais lorsqu'ils sont éliminés sans précautions, ils risquent de dégrader les paysages, de polluer l'environnement et d'exposer l'homme à des nuisances et des dangers dont certains peuvent être très graves (**Desachy., 2001**).

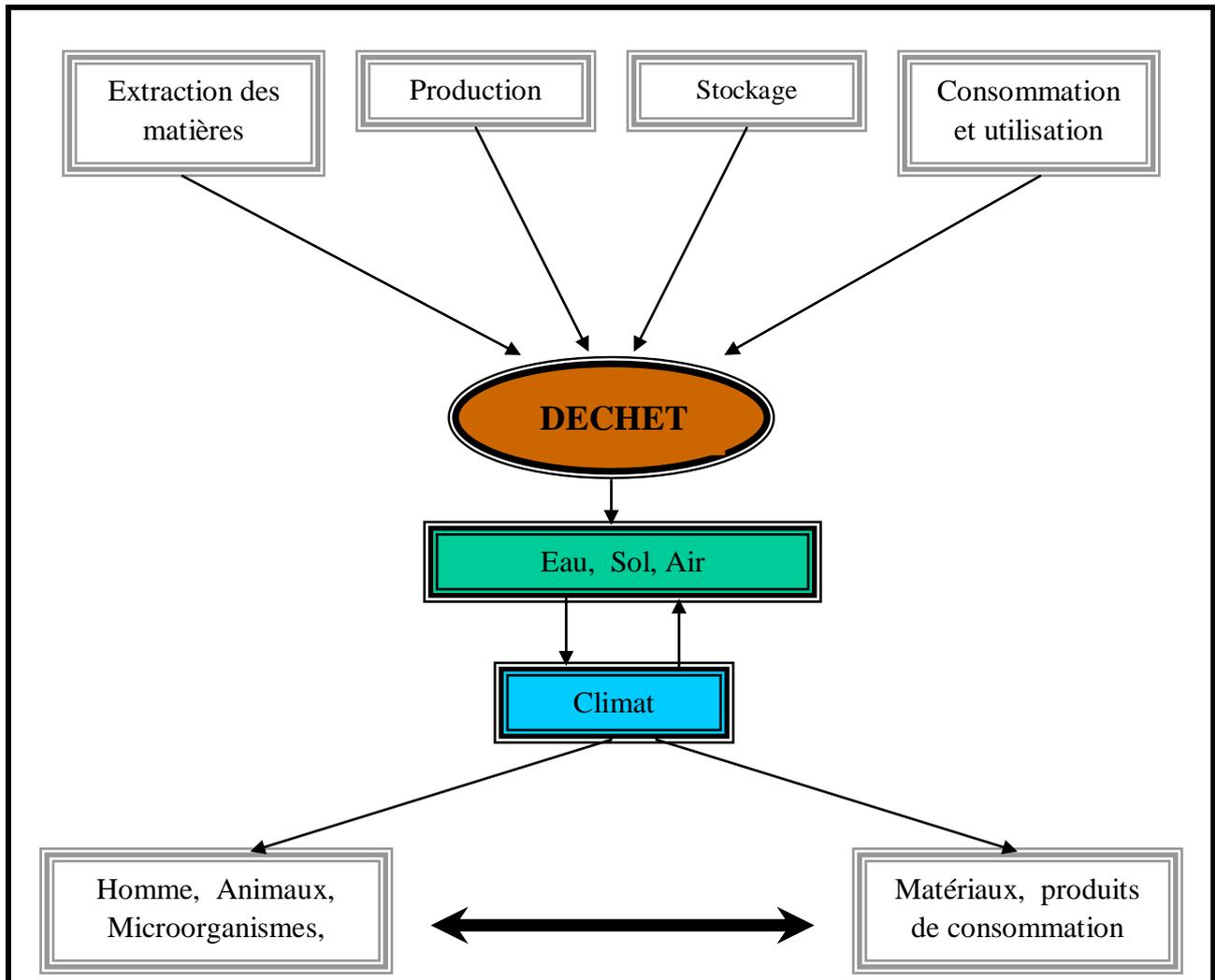


Figure 01 : Origine des déchets et leur interférence avec l'environnement

(Bleifert et Perraud., 2004).

I.3.1. pollutions :

I.3.1.1. pollution de l'eau :

L'eau est le principal vecteur de la pollution générée par les déchets abandonnés ou éliminés dans des conditions peu satisfaisantes.

La pollution d'une rivière par un rejet inconsidéré de déchets est bien connue parce que ses conséquences apparaissent sans tarder : mort des poissons, eutrophisation qui se manifeste par une prolifération des algues liée à l'enrichissement du milieu en éléments nutritifs.

La pollution des eaux de mer par le déversement de déchet est moins visible, ce qui explique peut-être pourquoi l'immersion dans les grands fonds a longtemps été autorisée par certains Etats, mais les conséquences négatives pour la flore et la faune marines ont été constatées.

Bien plus insidieuse est la dégradation de la qualité des eaux souterraines due à l'infiltration d'eaux polluées par des déchets, car elle est moins visible mais peut toucher les nappes phréatiques **(Desachy., 2001)**.

I.3.1.2. pollution du sol :

Les sols, vu la position qu'ils occupent dans les échanges avec les autres éléments de biotope, constituent des ensembles vulnérables et sont souvent exposés à la pollution par différentes particules toxiques, ils sont en effet des lieux de passage de nombreux flux de matière **(Ngo et Regent., 2004)**.

Les activités humaines sont à l'origine de nombreuses contaminations localisées ou diffuses des sols et sous-sols et cela par :

- Les activités industrielles suite à des accidents lors de l'extraction, la transformation, le stockage le transport de matière première et de produits de déchets dangereux ;
- Les dépôts de déchets sur les sites **(Colin.F., 2000)**

I.3.1.3. La pollution de l'air :

Certains déchets sont susceptibles de polluer directement l'air si au contact de l'air ou de l'eau ou d'un acide ils dégagent un gaz toxique **(Desachy., 2001)**.

La combustion incontrôlée et incomplète de déchets solides peut provoquer le dégagement dans l'atmosphère de polluants indésirables (particules solides, Dioxyde de soufre, oxydes d'azote, hydrocarbures et autres gaz délétères) qui risquent d'avoir des effets nocifs sur la santé de ceux qui les inhalent.

De ce point de vue, la principale source de pollution de l'air est la combustion provoquée, accidentelle ou spontanée de dépôts de déchets à l'air libre, qui donne naissance à de grandes quantités de fumées et d'odeurs nauséabondes. **(O.M.S., 1971)**.

I.3.2. la chaîne alimentaire :

Les déchets déposés à même le sol transmettent des polluants et substances dangereuses qui s'infiltrent par l'intermédiaire des eaux pluviales, qui les entraînent vers les profondeurs. Ainsi, les végétaux les absorberaient, ensuite ces produits toxiques migrent jusqu'à l'homme qui consomme ces végétaux devenus toxiques. Ce risque de migration tout au long de la chaîne alimentaire existe aussi pour les denrées animales issues de l'élevage et de la pêche. Par exemple, l'intoxication de Minamata entre 1953 à 1960 où plusieurs cas de contamination alimentaire ont été découverts dans cette baie du Japon. Une usine chimique déversait du mercure, dans la mer, qui s'accompagne d'une transformation par les micro-organismes en méthyle-mercure très toxique. Celui-ci est alors absorbé par le plancton qui sert de nourriture aux poissons dont les Hommes se nourrissent par la suite. Ce qui provoqua la mort de 48 personnes et l'invalidité des 156 autres (les pêcheurs en particuliers) (**Ramade., 1984 in Hammad.M et Cherbi,I., 2008**).

I.3.3. Effets sur le paysage :

Les dépôts sauvages où les ordures ménagères côtoient des encombrants, de la ferraille, des métaux de démolition, des vieux pneus, sont la source de nuisances esthétique et visuelles et participent à la dégradation de l'environnement. (**Desachy., 2001**).

I.3.4. les nuisances :

Les ordures sont la source fréquente d'incendies, par suite de la présence de matières facilement inflammables (papier, carton...) et susceptible de s'enflammer spontanément du fait de la fermentation, souvent anaérobie, entraîne toujours l'émission de gaz ou de liquides nauséabonds.

Les tas d'ordures ménagères constituent également la source de nourriture principale des mouches, des moustiques, des insectes en général, ainsi que des souris, rats, chiens et chats, et, par là, la source de transmission de maladies. (**Malchaire.J., 1982**).

I.3.5. Effets sur la végétation :

Il arrive que le mélange gazeux s'exhale à la périphérie de la décharge. Dans ce cas, il entraîne une altération de la végétation existante dans la zone avoisinante. Le même mélange gazeux peut également nuire au reverdissement d'une décharge après exploitation (asphyxie des racines) (**A.N.R.E.D., 1981**).

Introduction

Pour instaurer une politique et une gestion rationnelle des déchets, il est indispensable de disposer de données précises sur leur volume et leur composition. La gestion des déchets ou rudologie est la collecte, le transport, le traitement (le traitement de rebut), la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique ou l'agrément local. L'accent a été mis, ces dernières décennies, sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation. **(Barça A., 2009).**

La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. Les manières de gérer les déchets diffèrent selon qu'on se trouve dans un pays développé ou en voie de développement, dans une ville ou dans une zone rurale, que l'on ait affaire à un particulier, un industriel ou un commerçant. La gestion des déchets non toxiques pour les particuliers ou les institutions dans les agglomérations est habituellement sous la responsabilité des autorités locales, alors que la gestion des déchets des commerçants et industriels est sous leur propre responsabilité **(Barça A., 2009).**

Les Etats membres doivent maintenir de l' hiérarchie pour assurer la bon gestion des déchets de la façon suivante:

- Prévention ou réduction de la production;
 - Valorisation par recyclage, réemploi, récupération, valorisation énergétique
- (C.E., 2000).**

II.1. La prévention :

La prévention regroupe toutes les actions visant à réduire la qualité et la nocivité des déchets. Au niveau de la collectivité, il s'agit de favoriser l'utilisation de biens ou de produits tout en maintenant la salubrité de l'environnement; c'est-à-dire envisager le recyclage, la réutilisation et diminuer leur toxicité**(A.D.E.M.E., 2000 (a)).**

L'objectif de la prévention est la diminution des quantités de déchets produits par les ménages et les entreprises, et donc diminuer les quantités de déchets collectées et traitées. La prévention peut aussi être qualitative, c'est-à-dire diminuer la nocivité des déchets au niveau de la conception des produits, de l'utilisation de produits moins dangereux (A.D.E.M.E.a,2000).

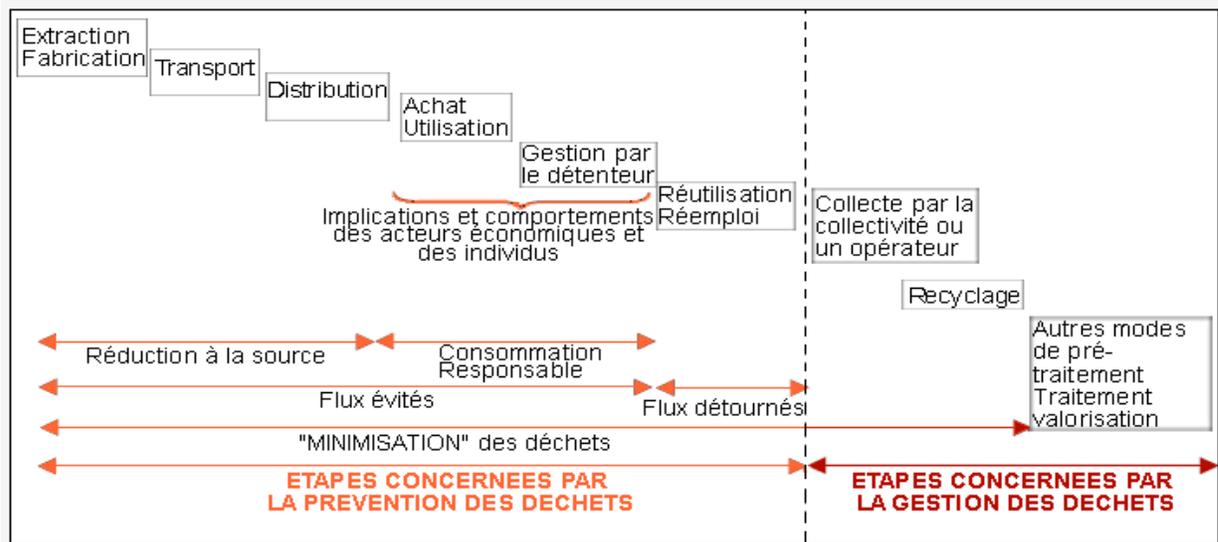


Figure 02 : schéma de la prévention au sein d'un cycle de vie d'un produit (A.D.E.M.E., a).

II.2. La collecte:

La collecte constitue la première étape d'élimination des déchets. Ce sont les communes qui sont responsables de l'élimination des déchets ménagers (Desachy, 2001).

II.2.1. La pré-collecte:

On entend par pré-collecte l'ensemble des opérations par lesquelles les habitants d'une maison, d'un immeuble ou d'une cité d'habitat collectif recueillent, rassemblent et stockent leur déchets, puis les présentent à l'extérieur aux fins d'évacuation (R.Gillet., 1983). Elle regroupe toutes les opérations nécessaires à l'évacuation des déchets ménagers (D.M) et assimilés, de puis leur

lieu de production jusqu'aux lieux de prise en décharge par les services par les services de la collecte (C.E, 2000).

II.2.2. Les différents modes de collecte:

II.2.2.1. La collecte en porte à porte:

La collecte en porte à porte pour laquelle les récipients contenant les ordures sont disposés par les habitants en bordure des voies de circulation, ou stockés dans des locaux depuis lesquels ils sont manutentionnés par le service collecteur (Desachy., 2001).

Collecte des déchets, ménage par ménage et commerce par commerce. Généralement chaque ménage, commerce ou autre, est doté d'un bac à déchets ménagers qu'il présentera devant sa porte lors du passage du véhicule de collecte (PNUD., 2009).



II.2.2.2. La collecte par conteneur:

Elle s'effectue, soit au près des habitations familiales, utilisant des sacs ou conteneurs de petites taille, soit des conteneurs routiers de grande capacité, allant de 360 L à 1700L. Ou encore des conteneurs auprès des grands usagers avec des bacs de capacités qui peuvent aller de 240 L à 360L (Balet, 2005).

La manutention des conteneurs de grande capacité est assurée par des camions spécialement équipés pour les enlever pleins et les remplacer par les vides (Desachy., 2001).



II.2.2.3. la collecte par points de regroupement:

La collecte par points de regroupement implique pour les usagers l'obligation d'apporter eux-mêmes leurs déchets aux lieux de réception. Elle consiste à établir et mettre à disposition du publique un certain nombre de lieux de récipient convenablement choisis (**Desachy., 2001**).



II.2.2.4. La collecte des déchets encombrants:

Elle est organisée par les collectivités, a l'aide des camions, organisée à jour fixe. Elle permet aux particuliers de se débarrasser des déchets encombrants (**Balet., 2005**).



II.2.2.5. La collecte sélective:

La collecte sélective des ordures ménagères est liée à la récupération des matériaux utilisables pouvant être retirés des déchets (R.Gillet., 1985). C'est la collecte de la fraction recyclable des déchets des ménages et que ceux-ci ont préalablement triés et placés dans des bacs spécifiques (PNUD., 2009). Elle permet de séparer à la source certains déchets du volume global de ceux générés par les ménages, en vue d'une valorisation, d'un recyclage ou d'un traitement spécifique (C. E., 2000).



II.3. Transport :

Après leur collecte, les déchets sont évacués vers les lieux de traitement et de stockage. Il existe une grande variété de véhicules de collecte et d'options sur les équipements de transport ;

- camion à collecte avec benne tasseuse



Photo camion à collecte avec benne tasseuse ;

- camion de collecte avec carrosserie fermée et compression des déchets ;



- camion de collecte avec équipement hydraulique de chargement et de compression ;



- camion pour collecte sélective muni d'une grue pour l'enlèvement des conteneurs spécialisés (M.A.T.E., 2001 *in* Hammad *et al*, 2009).



II.4. Station de transit :

Une station de transit ou centre de transfert est une installation intermédiaire entre la collecte par benne des déchets ménagers et leur transport vers un centre de traitement (Desachy., 2001). Le centre de transit concerne pratiquement les déchets municipaux et les déchets industriels banals (A.D.E.M.E., 2000).

II.5. Déchetterie :

La déchetterie est un espace aménagé, gardienné, clôturé, où le particulier, l'artisan et le commerçant peuvent apporter certains déchets en les répartissant dans des conteneurs spécifiques (verre, papiers-carton, plastiques,...) en vue de valoriser au mieux ou de traiter ces matériaux (Desachy., 2001). Les déchetteries permettent :

- de recevoir des matériaux qui ne sont pas collectés par les services de la voirie, en raison soit de leur volume ou de leur nature (huile, pneus), soit de leur taille ;
- une adaptation aux besoins locaux ;
- d'obtenir un tri plus « pur » (**Ballet., 2005**).

Les déchets suivants peuvent être gérés par une déchèterie :

- les plastiques (incinération ou recyclage) ;
 - les métaux, le verre, les cartons et papiers (recyclage éventuel) ;
 - les résidus verts et autres matières organiques (compostage éventuel) ;
 - les produits consommables (éventuellement pour des associations caritatives) ;
 - les piles électriques ou les batteries ;
 - les pneumatiques ;
 - les huiles de moteurs usagées ;
- certaines ampoules électriques (notamment basse consommation)
(**Barça., 2009**).

II.6. Centre de tri :

Le centre de tri est un maillon essentiel dans l'opération de collecte sélective. C'est le lieu où sont acheminés les déchets recyclables ménagers, collectés soit par porte à porte soit par rapport volontaire.

Cette installation permet de trier ces déchets afin d'en extraire des matériaux conformément à des prospections techniques minérales, qui seront ensuite recyclés par des repreneurs.

Les centres de tri contribuent à :

- atteindre des objectifs de recyclage et à la diminution de l'emploi des matières premières vierges ;
- détourner une fraction de flux d'ordures ménagères, de la mise en décharge ou d'autres traitements tel que l'incinération (**Bellazouz A., et Oussalem B., 2005**).

II.7. Modes de traitement des déchets :

II.7.1. Traitement biologique :

Les traitements biologiques ont pour effet de transformer les matières fermentescibles en un produit plus stable, susceptible d'être utilisé en tant qu'amendement organique ou support de culture. Deux modes de dégradation de la matière organique sont possibles : en présence d'oxygène (aérobiose), il s'agit du compostage et en absence d'oxygène (anaérobiose), on parle alors de méthanisation (**A.D.E.M.E., 2000 (b)**).

II.7.1.1. Le compostage :

II.7.1.1.1. Historique :

Le principe du compostage est très ancien mais le terme n'apparaît dans un texte réglementaire qu'au début du XX^{ème} siècle (1905). Cette technique s'est développée en France dans les années 50-60 comme un procédé de traitement global des ordures ménagères entre autres. Cependant, ce n'est qu'avec la crise énergétique de 1973 et les réflexions qui s'en suivirent que le compostage s'est imposé comme filière à part entière de traitement et de valorisation des déchets. Le compostage des O.M. a ensuite régressé avec la complexité croissante des O.M. et face à la concurrence de techniques moins coûteuses (mise en décharge) ou plus radicales (incinération) (**Ismail A.R., 2008**).

II.7.1.1.2. Définition :

Le compostage est le moyen de transformer les déchets pour mieux les valoriser et aussi un procédé biologique aérobie (en présence de l'air) de dégradation et de valorisation de la matière organique en un produit stabilisé et hygiénisé disposant des caractéristiques d'un terreau enrichi en composés humiques. Le compost obtenu est défini comme un coproduit du traitement de ces déchets. (Mustin., 1987).

II.7.1.1.3. Principe du compostage :

Le Principe de compostage de déchets organiques se divise en 2 phases principales schématisées de la façon suivante (D.E., 2000):



II.7.1.1.3.1. - La phase de fermentation

se caractérise par la dégradation aérobie de la matière organique fraîche par les micro-organismes, Ce qui donne lieu à une température qui permet l'hygiénisation du compost. Afin d'assurer cette étape, un maintien minimal de la température à 60°C pendant 4 jours est préconisé afin d'éliminer les germes pathogènes contenus dans le flux de matière organique. L'activité bactérienne et l'élévation de température qui s'en suit entraînent une consommation importante d'oxygène et d'eau. Il faut donc, pour satisfaire les besoins microbiens, effectuer un arrosage et une aération de la matière à traiter.

II.7.1.1.3.2. La phase de maturation :

est quant à elle une phase d'évolution plus lente du compost ne nécessitant ni arrosage, ni aération. Elle se traduit par la synthèse de l'humus et donnera un produit stable: le compost.

II.7.1.1.4. avantage :

Le compostage est un traitement biologique des 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, dues principalement à la présence de matières organiques biodégradables. On parle de stabilisation biologique ou biostabilisation de la matière organique.
- Réduction du gisement par diminution de la masse de déchet.
- Production d'un compost valorisable comme amendement organique des sols agricoles (**RE.CO.R.D., 2002**).

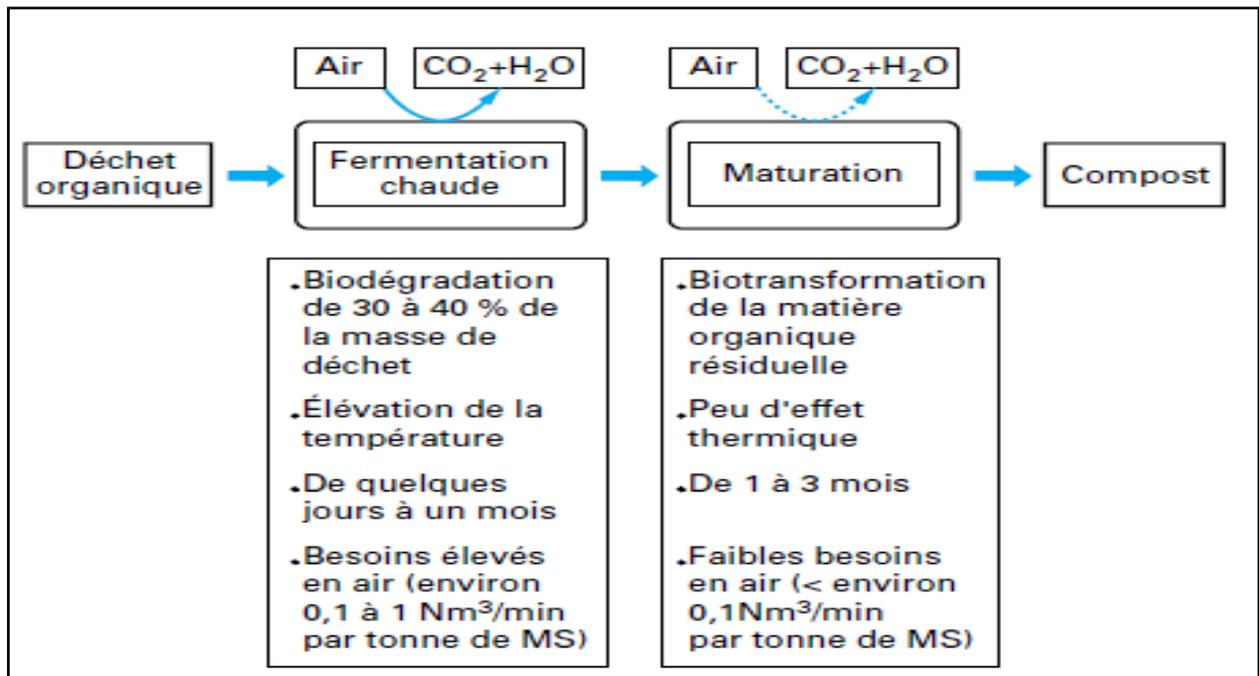
II.7.1.1.5. Contraintes :

L'existence de débouchés suffisants pour le compost constitue une contrainte majeure, d'autant plus forte que la taille de l'installation est plus importante. Il est également nécessaire de prendre en compte les contraintes d'environnement de l'installation de compostage (proximité d'habitations, risque d'odeurs...etc.) et d'écoulement du compost, dans la conception technique de l'opération (stockage du compost produit dont l'écoulement est saisonnier...etc.) (**Koller., 2004**)

II.7.1.1.6. Déchets concernés :

Le compostage de la matière organique peut être réalisé à partir de différents déchets entrants. On distingue:

- Les ordures ménagères brutes non triées ou ordures grises collectées après tri des emballages (récipients en plastique ou carton, ou boîtes de conserve métalliques).
- La fraction fermentescible des ordures ménagères (ou biodéchets des ménages) collectées sélectivement et triées à la source par les ménages (déchets alimentaires, papiers et cartons, déchets verts des ménages ou déchets de jardin).
- Les déchets verts de jardins municipaux ou privés ou d'entreprises liées à l'entretien d'espaces verts. Ils sont constitués de tontes de gazon, tailles de haies, de branches d'égavage, de feuilles mortes et de fleurs mises au rebut.
- Les boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines ou industrielles.
- Les déchets agricoles (fumiers, excréments d'animaux,).
- Les sous-produits de l'industrie agro-alimentaire. Ceux-ci peuvent être de diverses natures (marc de raisins, graisses, pulpes) (A.D.E.M.E., 2002)



II.7.2. Traitement thermique :

II.7.2.1. Incinération :

Le procédé d'incinération consiste en une oxydation et minéralisation complète de la matière organique en portant cette dernière à haute température en présence d'oxygène pendant un temps suffisant (**Baloul.H., 2008**).

Ce traitement consiste à détruire les déchets par le feu ou plus exactement par une combustion aussi complète que possible des déchets. Vis-à-vis de l'incinération, la grandeur caractéristique la plus fréquemment utilisée est le PCI, ce procédé est utilisé pour des déchets ayant un PCI élevé ($PCI > 7200 \text{ KJ/Kg}$) et une teneur en eau relativement faible ($H_u < 50\%$). L'incinération est souvent couplée à une récupération d'énergie. En effet, l'incinération d'une tonne d'ordures ménagères produit entre 1,5 à 2 tonnes de vapeur, soit un équivalent d'énergie de 300 à 350 KWh (**Ismail A.R., 2008**).

II.7.2.1.1. Les avantages de l'incinération:

- Traitement adapté à toutes sortes de déchets (dangereux et non dangereux, solides et liquides) contrairement aux autres modes de valorisation (traitement biologique par exemple);
- Diminue fortement le volume des déchets (90 % de réduction environ) et leur masse (70 % environ);
- Permet de tirer le meilleur parti du contenu énergétique des déchets en produisant de la chaleur susceptible d'alimenter un réseau de chaleur urbain et/ou d'être transformée en électricité.
- Contribue à minimiser les consommations de ressources énergétiques et certains impacts environnementaux tels que l'effet de serre du fait notamment de la valorisation énergétique.
- Emet moins de gaz à effet de serre que le stockage, qui a inévitablement des fuites de méthane (puissant gaz à effet de serre) issu de la dégradation des déchets organiques.

- Selon les équipements mis en place, l'incinération permet de récupérer les métaux ferreux et non ferreux (contenu initialement dans les déchets) et de les valoriser (**A.D.E.M.E.c**).

II.7.2.1.2. Les inconvénients de l'incinération:

- Contribue à l'émission de polluants dans l'atmosphère, dont les quantités sont limitées par la mise en place d'un système de traitement des fumées et suivies par la mise en place obligatoire d'un programme de surveillance;
- Génère des déchets classés dangereux (résidus d'épuration des fumées) à éliminer dans des installations de stockage de déchets dangereux (classe 1);
- Génère des mâchefers qui sont les résidus solides obtenus après combustion. Les mâchefers sont des déchets non dangereux qu'il est possible de valoriser en remblai ou sous-couche routière dans des conditions strictes définies par la réglementation;
- Selon les techniques choisies (neutralisation des gaz acides des fumées par voie sèche ou humide, recyclage interne total ou non des rejets liquides), l'incinération contribue dans certains cas à l'émission de polluants liquides dans le milieu naturel, dont les quantités sont encadrées par la réglementation. (**A.D.E.M.E., c**)

II.7.2.1.3. Incinération avec récupération d'énergie :

La chaleur dégagée par les incinérateurs est récupérée sous forme de vapeur, par passage des fumées à travers des tubules des chaudières. La vapeur ainsi produite peut être utilisée de trois façons :

- Alimenter un réseau de chauffage ;
- Alimenter un turbo alternateur produisant de l'électricité ;
- Pour la cogénération qui consiste à produire à la fois de la chaleur et de l'électricité (**Desachy, 2001**).

II.7.2.1.4. incinération sans récupération d'énergie :

Seules les unités de l'incinération de grande capacité sont équipées d'un système de récupération d'énergie à cause de son cout d'investissement élevé. Les installations d'incinération sans récupération d'énergie sont adaptes a des contextes particuliers où il n'est pas possible d'envisager le regroupement de tonnages justifiant la mise en place d'unités de taille suffisante (**Desachy, 2001**).

II.7.2.1.5. Résidus de l'incinération :

En plus de la pollution gazeuse et particulaire, nous avons les résidus solides de l'incinération qui sont les cendres et mâchefers.

- **Cendre** : matériaux pulvérulents constitues de particules solides de faible diamètre, produit par la combustion du fuel (carburant lourd) ou de charbon ou autres matières carbonées.
- **Mâchefers** : ce sont des résidus provenant de diverses activités métallurgiques ou de chimies lourdes produites alors par pyrolyse de diverses substances (**Boisseau.p, 2001 in Baloul**).

II.7.2.2. La pyrolyse :

Le procédé qui tend à être de plus en plus utilisé consiste en un traitement thermique (500 -800°C) du déchet dans une atmosphère exempte d'oxygène. Il en résulte des réactions de dégradation thermique, de dépolymérisation, de crackage, éventuellement de combustion très incomplète, conduisant a la formation de gaz, de liquides et de solides résiduaires (**Murat., 1981**).

II.7.3. Le stockage :

Le stockage constitue le dernier maillon de la filière de tri et de traitement des déchets. On distingue trois types de stockage selon la nature des déchets concernes ;

- **Classe 1** : réservée aux déchets industriels spéciaux ;
- **Classe 2** : réservée aux déchets ménagers et assimilés ;

- **Classe 3** : réservée aux déchets inertes.

Aujourd'hui ces centres de stockage restent une nécessité, ne vont être réservés qu'aux seuls déchets ultimes (**Balet., 2005**).

II.7.4. La mise en décharge :

La mise en décharge c'est la méthode la moins coûteuse et la plus adoptée pour l'élimination des déchets. Elle consiste en un stockage d'un mélange hétérogène, et instable chimiquement et biologiquement ; ce qui engendre un certain nombre de nuisances (dégagement de méthane, pollution de l'air), sans parler de l'impact sur l'environnement.

La mise en décharge constitue le dernier maillon des filières de gestion des déchets. Il ne doit plus concerner que, désormais, que des déchets ultimes, qui n'ont pas pu être valorisés ou traités dans les conditions techniques et économiques du moment (**A.D.E.M.E., 2005**).

II.7.4.1. Les différents types de décharge:

Il existe deux grandes familles de décharges:

- La décharge brute, appelée aussi décharge simple ou sauvage
- La décharge contrôlée avec ou sans broyage préalable, ou sous forme compactée.
- Centre d'enfouissement technique (CET), qui sont des décharges contrôlées plus élaborées.

II.7.5. Comparaison des traitements:

Le tableau 03 résume les avantages et les inconvénients des différents types de traitements des déchets urbains.

Tableau 01: comparaison des techniques de traitement des déchets urbains.
 (Kalogo, 2002; Thonart, 2002, Rand, 2000 in Charnay, 2005).

Techniques	Avantages	Inconvénients
Mise en décharge traditionnelle	<ul style="list-style-type: none"> -simple -cout -personnel peu qualifié. 	<ul style="list-style-type: none"> -Evolution lente, longue (40-50 ans) et sujettes aux conditions locales. -émanation de biogaz. -contamination des sols et eaux. -dégagements d'odeurs nauséabondes. -difficulté de contrôle de la stabilisation. -réhabilitation couteuse. Occupation importante des sols. -évolution lente.
Mise en décharge contrôlée	<ul style="list-style-type: none"> -cout d'implantation. -site réutilisable dans certaines conditions. -contrôle de la stabilisation. 	<ul style="list-style-type: none"> -limitation et contrôle des rejets (biogaz et lixiviats). -réhabilitation couteuse. -occupation importante des sols. -évolution lente.
Incineration	<ul style="list-style-type: none"> -destruction des déchets solides de toute nature. -élimination des déchets biologiquement contaminés. -valorisation des mâchefers en remblais routiers. -peu d'espace (implantable en milieu urbain) -récupération d'énergie. 	<ul style="list-style-type: none"> -cout. -personnel qualifié. -traitement des fumées exigé avant rejet dans l'atmosphère. -présence d'eau. -traitement des REFIOM (refus d'épuration des fumées des incinérateurs d'ordures ménagères). -élimination des mâchefers.
Compostage	<ul style="list-style-type: none"> -peu d'équipements -personnel peu qualifié. -amendements pour l'agriculture. 	<ul style="list-style-type: none"> -étape minutieuse de prétraitement. -présence éventuelle de métaux lourds.

	-destruction des pathogènes.	-mélange des déchets. -variations de composition du substrat.
--	------------------------------	--

II.7.6. Le recyclage :

C'est un procédé par lequel les matériaux qui composent un produit en fin de vie sont réutilisés en tout ou en partie. Ils seront donc réintroduits dans le cycle de production dont le produit est issu.

Le ruban de Möbius est le logo universel des matériaux recyclables depuis 1970.



Figure 03 : Logo universel des matériaux recyclables (Ruban de Möbius)

II.7.6.1. Les avantages du recyclage :

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et à économiser les matières premières.

III.1. Introduction

L'ensemble des déchets organiques produits, lors de sa décomposition, d'énormes quantités de méthane et de gaz carbonique. Ces gaz contribuent à l'augmentation de l'effet de serre.

La méthanisation est une activité de dépollution car elle apporte une réponse énergétique et écologique au problème du traitement des déchets organiques. En brûlant, le biogaz issu de la méthanisation réduit en effet de 20 fois la pollution des gaz issus de la fermentation.

III.2. Historique

La production de méthane à partir de la matière putrescible est connue depuis des siècles. Vers 1630, Van Lemond découvre que la fermentation de la matière organique dégage un gaz inflammable. En 1776, Alessandro Volta démontre que le gaz émis par les marais est combustible. En 1787, Lavoisier prouve que ce gaz inflammable est le gas hidrogenium carbonatrum, c'est-à-dire le même gaz qui sera appelé, à partir de 1865, méthane .

Les premières recherches sur la digestion anaérobie, effectuées à la fin du XIXème siècle étaient descriptives : il s'agissait alors d'effectuer des expériences et des mesures afin de mieux comprendre les processus. Dans les années 1920, l'allemand Imhoff met au point un système de digestion continu, qui équipe quelques années plus tard plusieurs villes allemandes. Les premiers systèmes fonctionnels discontinus de biométhanisation ont été développés en Algérie dès 1939, puis en France par Isman et Ducellier. Ces techniques ont été oubliées avant d'être redécouvertes dans les années 70, lorsque les chocs pétroliers ont montré la nécessité de rechercher des sources d'énergies alternatives.

III.3. Définition

La bio-méthanisation, aussi appelée méthanisation ou la digestion anaérobie consiste en une dégradation naturelle de la matière organique par des microorganismes vivants en l'absence d'oxygène.

Les produits résultant de la dégradation peuvent être classés en deux catégories :

Le biogaz, est un gaz combustible constitué principalement de méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂).

Le digestat est le résidu liquide de la digestion contenant les matières non dégradées.

III.4. Les étapes de la biométhanisation

Comme il s'agit d'un procédé de fermentation en absence d'oxygène, il doit être réalisé à l'intérieur d'un réacteur, appelé biodigesteur, qui contient les différents microorganismes nécessaires au déroulement de la réaction biochimique. Généralement, quatre phases impliquant des microorganismes spécifiques sont requises pour réaliser une méthanisation, les deux premières sont souvent regroupées car effectuées par les mêmes populations de microorganismes.

III.4.1. L'hydrolyse

Cette première phase consiste à dégrader les molécules organiques complexes (les polymères) telles que glucides, lipides et protéines à l'aide d'enzymes en molécules simples (monomères): sucres, acides aminés et acides gras. L'hydrolyse de la cellulose et des lipides est parfois lente et peut limiter le taux global de dégradation par le procédé de méthanisation.

Cette phase est caractérisée par une :

- Chute du potentiel d'oxydoréduction.
- Augmentation de la charge organique.

III.4.2. L'acidogénèse

Les monomères issus de l'étape d'hydrolyse, sont transformés en acides gras volatils (AGV) et alcools avec une libération d'ammonium (NH_4^+), de dioxyde de carbone (CO_2) et d'hydrogène (H_2).

III.4.3. L'acétogénèse

L'étape d'acétogénèse permet la transformation des divers composés issus de la phase précédente en : ion de l'acétate (CH_3COO^-) d'une part, et le dioxyde de carbone ainsi que l'hydrogène, d'autre part.

III.4.4. La méthanogénèse

La méthanogénèse conduit à la formation de méthane par deux voies distinctes : la voie de l'hydrogène combiné et du dioxyde de carbone ainsi que celle de l'acétate. Cette phase est anaérobie stricte et requiert une faible agitation de l'effluent. Les bactéries qui procèdent à cette phase ont une croissance plus lente que les bactéries acidogènes et sont sensibles à la température de fonctionnement et au pH.

La production de méthane se fait selon les deux réactions suivantes :

La première, dite hydrogénophile, synthétise du méthane à partir d'hydrogène et de gaz carbonique selon la réaction :



(Environ 30% de méthane produit)

La deuxième, dite acétoclastique où l'acide acétique est transformé en méthane :



(Environ 70% de méthane produit)

On note au cours de cette phase :

- Une augmentation du pH sous le contrôle de la capacité tampon des carbonates.
- Une valeur minimale du potentiel redox.
- Une complexation et précipitation des espèces métalliques.
- Une diminution de la charge organique avec l'augmentation de la production du biogaz .

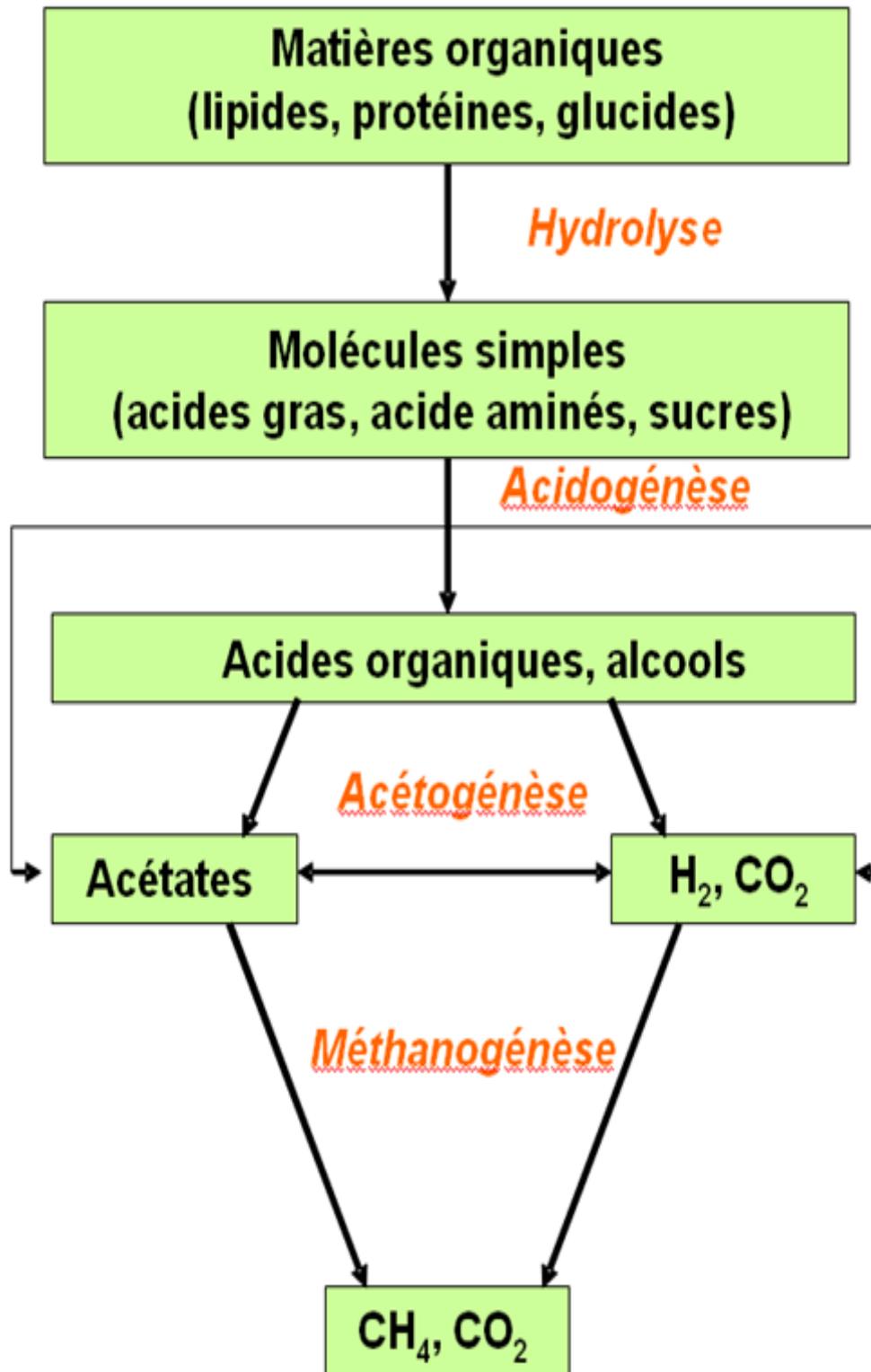


Figure 04: Principe biochimique de la méthanisation

III.5. La microbiologie de la fermentation

La transformation de la matière organique en composés gazeux énergétiques est appelé biogaz, et fait appel à un ensemble de micro-organismes très dépendants les uns des autres qui assurent des activités complémentaires .

III.5.1. Flore non méthanogène :

Regroupe les micro-organismes aéro-anaérobies facultatifs, et se subdivise en deux groupes:

Bactéries hydrolytiques : transforment la matière organique complexe en composés plus simples. Parmi ces bactéries :

Bactéries hémicellulolytiques (Bactéroïdestyminicola)

Bactéries amylolytiques (Clostridium butircum)

Bactéries protéolytiques (Clostridia)

Bactéries acidogènes : produisent des composés simples (alcools, acides gras volatils, H₂, CO₂), utilisés comme substrats par les bactéries méthanogènes.

III.5.2. Flore méthanogène :

Dans la dernière phase, les bactéries méthanogènes hydrogénophiles (Methanobrevibacter et Methanobacterium) sont majoritaires dans le milieu et utilisent le H₂ présent pour réduire le CO₂ en méthane. L'acétate présent est également réduit par d'autres bactéries méthanogènes acétoclastes (Methanosarcina, Methanococcus et Methanosaeta) qui décomposent et réduisent l'acétate en méthane .

III.6. Les facteurs influençant la méthanisation

La méthanisation a lieu grâce à des bactéries qui vont dégrader la matière organique en transformant les différents éléments et produire du biogaz, pour assurer la croissance des bactéries, et par conséquent une bonne production de biogaz, il faut assurer certaines conditions physico chimiques.

Les principaux facteurs physico-chimiques qui affectent le procédé de digestion anaérobie : le pH, la température, le potentiel d'oxydoréduction et les besoins nutritionnels.

III.6.1. Le substrat

Il a une influence sur la composition du biogaz et sur le rendement de la réaction. Un effluent de volaille donnera un gaz beaucoup plus riche en méthane qu'un fumier moins riche en azote obtenu à partir d'un élevage de bovins.

Ainsi la proportion de méthane exerce une grande influence sur le pouvoir calorifique du biogaz. En effet, celui-ci augmente quand cette proportion est plus importante.

Tableau 02: Pouvoir calorifique du biogaz en fonction de la proportion de méthane .

(%) en CH ₄	PCS (kWh*/Nm ³)	PCI (kWh*/Nm ³)
50	4,80	4,30
60	5,75	5,25
70	6,70	6,20
80	7,65	7,15
90	8,60	8,10
100	9,55	9,05

(*) kWh \approx 860 kcal

❖ **Pouvoir Calorifique Supérieur (PCS)** : C'est l'énergie thermique libérée par la réaction de combustion d'un kilogramme de combustible. Cette énergie comprend la chaleur sensible, mais aussi la chaleur latente de vaporisation de l'eau, généralement produite par la combustion. Cette énergie peut être entièrement récupérée si la vapeur d'eau émise est condensée, c'est-à-dire si toute l'eau vaporisée se retrouve finalement sous forme liquide.

- ❖ **Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) :** C'est l'énergie thermique libérée par la réaction de combustion d'un kilogramme de combustible sous forme de chaleur sensible, à l'exclusion de l'énergie de vaporisation (chaleur latente) de l'eau présente en fin de réaction.

III.6.2. La température

La digestion anaérobie de la matière organique ne produisant pas assez de chaleur, il est nécessaire de chauffer les digesteurs pour maintenir une température compatible avec une bonne activité microbienne.

Deux plages de températures optimales peuvent être définies : la zone mésophile (autour de 35°C) et la zone thermophile (entre 55-60°C) avec une décroissance de l'activité de part et d'autre de ces températures.

La figure 2 indique les performances de la digestion anaérobie par rapport à la température. Cette performance est calculée en fonction de la production de biogaz, de la vitesse de croissance des microorganismes et de la performance de dégradation du substrat.

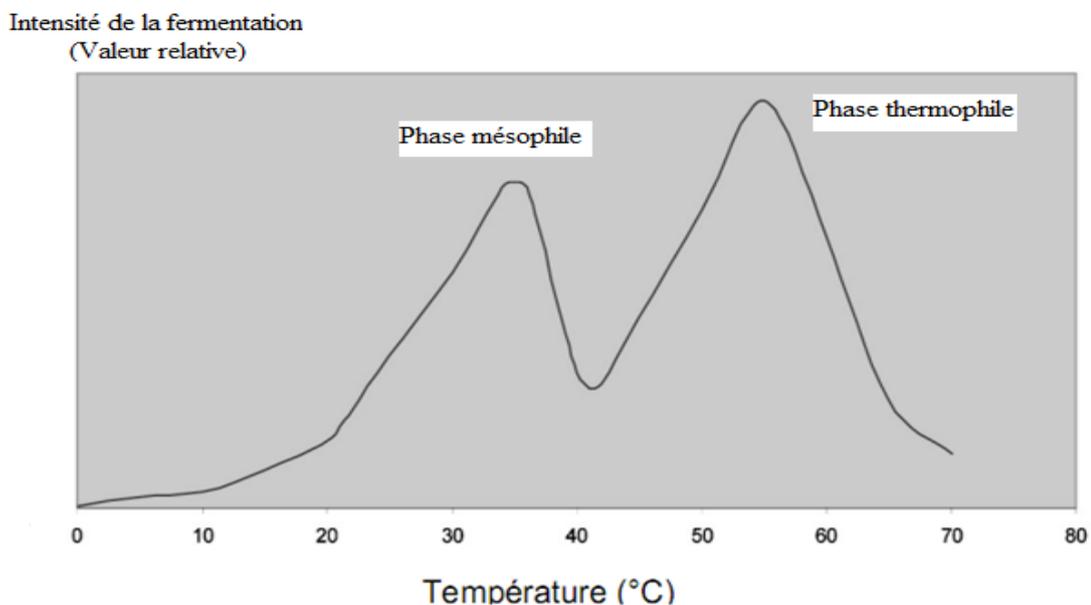


Figure 05. Efficacité de la digestion anaérobie selon la température

III.6.3. le pH

Le pH est un des paramètres les plus importants pour la méthanisation et un contrôle accru de sa variation est fondamental pour le bon fonctionnement des réacteurs.

La zone optimale de pH pour la méthanisation est située aux alentours de la neutralité (pH=7). Les bactéries méthanogènes sont fortement inhibées en dessous d'un pH de 6. Les bactéries acidogènes supportent mieux les pH inférieurs à 6. Une chute de pH est donc le signe d'un dysfonctionnement.

Dans la plupart des cas, le pH est autorégulé dans le digesteur avec des valeurs optimales comprises entre 6,8 et 7,4 mais un ajout de bicarbonate de soude peut être nécessaire pour le maintenir.

III.6.4. Le potentiel d'oxydoréduction

Ce paramètre représente l'état de réduction du système, il affecte l'activité des bactéries méthanogènes. Ces bactéries exigent en effet, outre l'absence d'oxygène, un potentiel d'oxydoréduction inférieur à 330 mV pour initier leur croissance .

III.6.5. Besoins nutritionnels

Comme tout micro-organisme, chaque bactérie demande un apport suffisant de nutriments (phosphore, manganèse, calcium, cobalt, potassium) pour sa croissance.

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 .

III.6.6. La présence des inhibiteurs

La fermentation anaérobie peut parfois être ralentie par la présence d'inhibiteurs. Ces phénomènes sont généralement connus et évitables et sont souvent liés aux élevages ou l'utilisation d'antibiotiques et de désinfectants est massive.

Par exemple l'ammoniac peut parfois devenir un élément toxique pour l'activité bactérienne au-delà d'une dose de 3g.L^{-1} .

III.6.7. Rapport C/N

Comme pour la digestion aérobie, la proportion entre le carbone et l'azote présents dans la matière organique est importante pour le bon fonctionnement des réacteurs. Des études indiquent que la proportion désirable se situe entre 20 et 30, 25 étant le ratio idéal.

Ainsi, si le rapport C/N est trop grand ($C/N > 35$), la décomposition est lente par déficience en azote, par contre, si le rapport C/N est faible ($C/N < 5$) l'azote est libéré sous forme d'ammoniac.

III.6.8. Degré d'humidité

L'humidité a une grande influence sur l'action des bactéries, principalement dans le cas où ces valeurs sont basses. Des études montrent que des taux d'humidité supérieurs à 60 % augmentent la production de gaz, qui atteint un maximum environnant 80%. Au-delà de cette concentration, la production se stabilise dans ce plateau élevé.

III.6.9. Le brassage

Une bonne agitation permet de maintenir les matières solides en suspension, d'éviter la formation de mousse et de croûte, d'accroître les contacts entre bactéries et substrat, d'assurer le transfert de chaleur et de faciliter le dégagement des bulles de biogaz.

III.7. Les systèmes de digesteur

Un digesteur est semblable à une grande cuve fermée, dont la géométrie peut varier selon les matières traitées. Son volume dépend à la fois de la quantité de matières à traiter et du temps nécessaire pour que les étapes de dégradation aboutissent au méthane.

Les digesteurs sont classés selon leur mode d'alimentation .

III.7.1. Le système (digestion) Batch (en discontinu)

Le système Batch est le plus simple et le plus vieux procédé élaboré. C'est un système à digestion discontinue surtout utilisée pour les déchets solides de type fumier. Les déchets à traiter sont placés dans une enceinte close pendant une durée comprise entre 8 semaines et 5 mois avec ou sans système d'agitation. La production de biogaz est irrégulière (rapide au début de la fermentation, beaucoup plus lente vers la fin). Ce système nécessite d'autre part beaucoup de main d'œuvre pour le transport de la biomasse et aussi d'entretien.

III.7.2. Le système continu « infiniment mélangé »

Ce système est le procédé le plus utilisé. Le substrat introduit de manière continue, est digéré et déplacé soit mécaniquement, soit sous la pression des nouveaux entrants vers la sortie sous forme de digestat. L'agitation permet de conserver une vitesse de production de gaz permanente. Le fonctionnement en continu, est bien adapté aux installations de grande taille. Il existe trois principaux types de digesteurs continus : système à cuve verticale, système à cuve horizontale et système à cuve enterrée.

III.8. Les avantages et les inconvénients de la méthanisation

III.8.1. Les avantages

La méthanisation de déchets organiques présente de nombreux avantages, notamment:

- Le biogaz issu par la méthanisation est source d'énergie renouvelable car il se substitue à l'énergie fossile.
- une double valorisation de la matière organique et de l'énergie ; c'est l'intérêt spécifique à la méthanisation par rapport aux autres filières,
- une diminution de la quantité de déchets organiques à traiter par d'autres filières,
- une réduction de l'effet de serre : le méthane est un gaz à effet de serre 25 fois plus dangereux que le dioxyde de carbone .
- limitation des émissions d'odeurs : la digestion permet de détruire la matière biodégradable responsable de l'émission des mauvaises odeurs.
- Réduction des risques pathogènes.

III.8.2. Les inconvénients

- Ce pendant, un certain nombre d'inconvénients majeurs limitent leur utilisation. Notamment, la durée des traitements biologiques est généralement plus longue que celle des traitements thermiques. Par ailleurs, les activités microbiennes sont sensibles aux conditions de milieu et peuvent être perturbées voire inhibées par la présence (chronique ou accidentelle) dans le déchet de composés particulièrement toxiques pour les micro-organismes utilisés .
- En fin, la digestion anaérobie est souvent insuffisante pour rejeter directement les effluents dans le milieu naturel : un post-traitement aérobie de finition est nécessaire pour achever l'élimination du carbone et éventuellement de l'azote et du phosphore .

III.9. Le biogaz

III.9.1. Définition

- Le biogaz est un gaz combustible, mélange de gaz carbonique et de méthane, qui provient de la dégradation des matières organiques mortes, végétales ou

animales, dans un milieu en raréfaction d'air dit " fermentation anaérobie ". Cette fermentation est le résultat de l'activité microbienne naturelle ou contrôlée. C'est également un gaz riche en méthane.

III.9.2. Déchets concernés.

- Le biogaz peut être produit spontanément, dans des conditions naturelles (marais, décharges d'ordures ménagères.....) ou bien dans des installations spécifiques appelées digesteurs. La digestion est une technique de dépollution et de conditionnement des déchets, qu'ils soient liquides ou solides .
 - **Les déchets solides :**
 - Les déchets d'ordures ménagers.
 - Les déchets organiques non ménagers : industries agro-alimentaires.
 - Les déjections animales.
 - Les boues de station d'épuration, stabilisées puis conditionnées.
 - **Les déchets liquides :**
 - Les effluents domestiques.
 - Les effluents industriels traités par fermentation anaérobie : industries agroalimentaires, papeteries et certaines industries chimiques.

III.9.3. Composition du biogaz

Les sources différentes de production conduisent à des compositions spécifiques différentes.

Le biogaz est un mélange composé essentiellement de méthane (CH_4), du gaz carbonique (CO_2) ainsi que de quelques autres éléments à l'état de traces tels que l'hydrogène sulfureux (H_2S), l'hydrogène (H_2), l'eau (H_2O), l'oxygène (O_2), l'ammoniac (NH_3) et l'azote (N_2).

Tableau 03 Composition moyenne du biogaz [16];[19].

Gaz	%
méthane (CH ₄)	55 à 65%
carbonique (CO ₂)	35 à 45 %
l'hydrogène sulfureux (H ₂ S)	1 à 2%
l'hydrogène (H ₂)	1 à 2%
l'ammoniac (NH ₃)	1 à 2%
Vapeur d'eau (H ₂ O)	6%
Monoxyde de Carbone (CO) l'azote (N ₂) Oxygène (O ₂)	< 1%

La composition du biogaz formé dépend de la nature du déchet et des conditions opératoires.

Tableau 04.Composition du biogaz selon les origines

Composants	Ordures ménagères	Boues de STEP	Déchets agricoles	Déchets de l'industrie agro-alimentaire
CH ₄ % vol	50-60	60-75	60-75	68
CO ₂ % vol	38-34	33-19	33-19	26
N ₂ % vol	5-0	1-0	1-0	-
O ₂ % vol	1-0	< 0,5	< 0,5	-
H ₂ O % vol	6 (à 40 ° C)	6 (à 40 ° C)	6 (à 40 ° C)	6 (à 40 ° C)
H ₂ S mg/m ³	100 – 900	1000 – 4000	3000 – 10 000	400
NH ₃ mg/m ³	-	-	50 – 100	-

III.9.4. Les équivalences énergétiques du biogaz

Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) d'un 1m^3 de biogaz brut qui a une composition moyenne contenant 70% en méthane (CH_4) vaut environ 6000 kcal et est semblable

à celui de :

- 0,66 litre de gaz naturel.
- 0,7 litre de mazout.
- 0,9 kilogrammes de charbon.
- 1,5 kilogramme de bois de chauffe.
- 0,81 litre d'essence.
- 1,2 litre d'alcool à brûler.
- 6,8 kWh d'électricité.

Après sa purification (élimination en grande partie du CO_2 et du gaz corrosif H_2S), le pouvoir calorifique supérieur (PCS) d'un (Nm^3 *) de biogaz peut atteindre les 9,55 kWh/ Nm^3 ce qui représente l'équivalence de :

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

(*) Nm^3 = normal m^3 , correspond à un volume occupé par le gaz dans les conditions dites 'normales', c'est-à-dire à 273.15 °K et 101 325 Pa. Selon la loi des gaz parfaits, une mole de gaz occupe $22.4 \cdot 10^{-3} \text{m}^3$ dans les conditions normales. Connaissant la masse molaire du gaz, on peut en déduire le volume occupé par une masse déterminée de gaz dans les conditions normales.

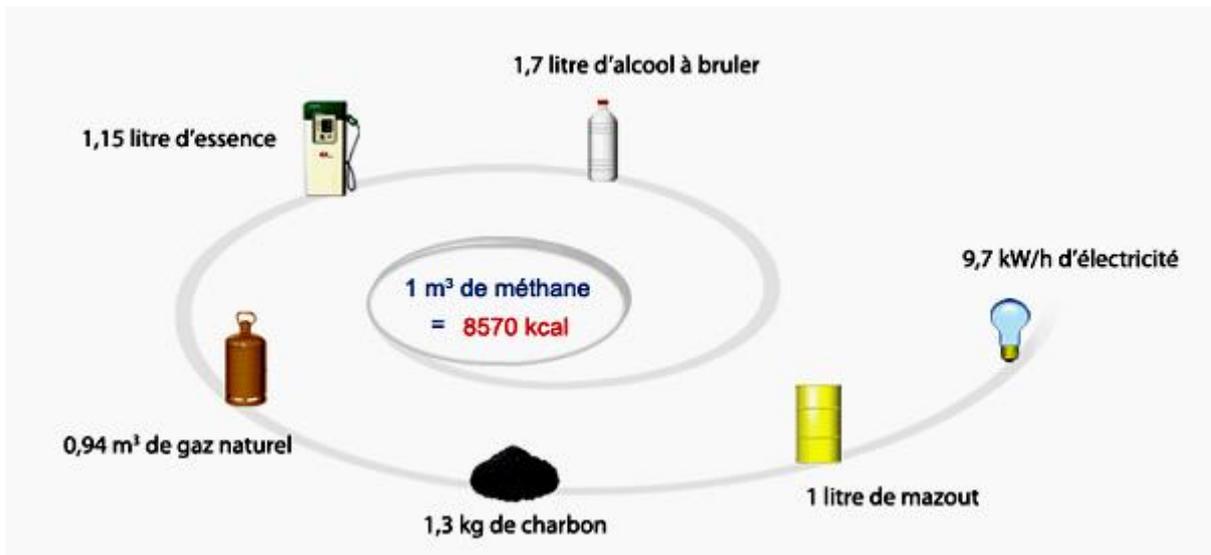


Figure 06.Équivalence d'1 m³ de méthane

III.10. Procédés d'épuration et de valorisation du biogaz

III.10.1. But de l'épuration

Le biogaz est un mélange composé principalement de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2). Il contient également, à l'état de trace, des composés, tels que le sulfure d'hydrogène (H_2S), l'ammoniac (NH_3) et d'autres composés organiques volatils.

Pour pouvoir atteindre les spécifications du gaz naturel, le biogaz doit être composé de 95 à 98 % de méthane et ne doit pas contenir d'eau, d'ammoniac, de sulfure d'hydrogène ni de gaz carbonique. Le CO_2 , en grande concentration, diminue la capacité énergétique du biogaz. Le H_2S est toxique et corrosif. Le NH_3 lors de sa combustion produit des oxydes d'azote (NO_x) dangereux.

L'eau en présence de NH_3 , CO_2 et H_2S est susceptible de provoquer une corrosion des conduits.

III.10.2. Procédés d'Épuration

Le procédé d'épuration du biogaz comporte généralement trois étapes : la déshydratation, la décarbonation et la désulfuration :

A. Elimination de l'eau :

Différentes méthodes proposées sont basées sur la condensation de l'eau ou le séchage du gaz.

B. Elimination du sulfure d'hydrogène :

Les protéines et autres composés soufrés produisent du sulfure d'hydrogène durant la digestion, il s'enlève assez facilement par passage sur de l'oxyde de fer ou du charbon actif, ce dernier étant plus facile à régénérer. Mais on peut également effectuer un lavage à l'eau sous pression, qui élimine aussi le CO₂.

L'équation de la réaction de l'absorption chimique avec l'oxyde de fer est la suivante :



On peut faire l'épuration de sulfure d'hydrogène le piégeant dans de l'eau et de la chaux:



C. Elimination du gaz carbonique :

Le procédé le plus simple pour abaisser la teneur en gaz carbonique est le lavage à l'eau, car ce gaz est très soluble dans l'eau.

Le gaz carbonique peut être piégé par l'eau de chaux ou une solution alcoolique ;



III.10.3. Valorisation de biogaz

Le biogaz, de par son contenu en méthane, est un gaz énergétique peut être utilisé selon plusieurs modes de valorisation. On distingue quatre filières:

Valorisation thermique (produire de la chaleur);

- Valorisation électrique ;
- Valorisation en carburant automobile ;
- Valorisation par injection dans le réseau de gaz naturel ;

III.10.3.1. Valorisation thermique

Brûler du biogaz sous chaudière ou en four est la voie de valorisation la plus ancienne, la mieux maîtrisée et la plus courante. La chaleur de combustion du biogaz peut servir pour la production d'eau chaude, de vapeur à moyenne ou haute pression.

III.10.3.2. Valorisation électrique (avec ou sans cogénération)

La voie classique pour produire de l'électricité à partir de biogaz est d'utiliser une chaudière à gaz suivie d'une turbine à vapeur. Cette voie est techniquement fiable et les contraintes liées à l'épuration du biogaz ne sont pas lourdes.

Une seconde voie consiste à installer des moteurs à gaz, soit à étincelles, soit dual fuel (injection d'un gaz pilote qui est généralement un gazole). Le procédé dual fuel, bien que plus souple et plus durable, exige des spécifications particulières et une teneur en méthane d'au moins 40 %. Les exploitants optent encore souvent pour la voie classique qui évite de traiter le biogaz.

La cogénération : Il s'agit de la production combinée de chaleur et d'électricité.

La chaleur peut être utilisée pour le chauffage des digesteurs et le reste peut servir à tout autre usages : séchage du digestat, séchage de foin, production d'eau chaude, alimentation d'un chauffage domestique. Dans le cas de la solution " moteur à biogaz ", il nécessitera en principe une désulfuration et une déshydratation, dont les performances dépendront des spécifications des

motoristes. Dans le cas de la solution turbine à vapeur, on peut se contenter d'un traitement par simple filtre dévésiculeur à l'entrée du surpresseur, de façon à enlever les particules en suspension dans le biogaz.

III.10.3.3. Production de carburant

Pour cette application, les spécifications de pureté du gaz sont très sévères, puisque le biogaz utilisable comme carburant doit contenir un minimum de 96 % de méthane. Il faut en outre que le point de rosée soit inférieur à -20°C (ce qui correspond à une teneur en eau inférieure à 15 mg/m^3), que la teneur en H_2S soit inférieure à 100 mg/m^3 , et que la teneur en hydrocarbures liquides soit inférieure à 1 %, avec une taille de poussières limitée à 40 microns.

III.10.3.4. Injection de biogaz dans le réseau de gaz naturel

La composition finale du biogaz injectable ainsi que sa pression dépendent évidemment des spécifications imposées par le gestionnaire du réseau. Le biogaz injecté doit en outre être épuré et odorisé avant l'injection.

I.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter l'ensemble des dispositifs expérimentaux et la méthode de production de biogaz, ainsi que l'origine des substrats utilisés pour l'alimentation des digesteurs.

I.2. Le dispositif expérimental

I.2.1. Matériels utilisés

Pour mener à bien les manipulations, nous avons utilisés les équipements suivants :

- Flacon en verre ;
- Thermomètre ;
- Agitateur magnétique et Barreau magnétique ;
- Bain marie ;
- Burette;
- Bécher . Burette;
- Etuve
- PH-mètre
- Eprouvette graduée
- Mortier
- Seringue

I.2.2. Origine des substrats utilisés

Pour réaliser le projet de valorisation énergétique des déchets, des sorties de prospection ont été effectuées sur terrain afin de choisir le substrat pour notre étude.

De ce fait, nous avons effectué plusieurs sorties de prospection dans :

- L'abattoir ;
- La décharge publique de la ville d'Adrar;

I.2.3. Description du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est constitué de deux parties principales :

- **D'un bioréacteur** de type batch (discontinu) est constitué d'un flacon en verre d'une capacité de 2000 millilitres, il est réservé pour la digestion anaérobie du substrat organique.

Le digesteur doit être muni des dispositifs suivants :

- ✓ **Un système de chauffage** : le digesteur est chauffé par bain-marie.

Car les bactéries impliquées travaillent de manière plus efficace entre 30 et 60 °C.

- ✓ **Un système d'agitation** : le digesteur est brassé par agitateur magnétique ;pour:

- Maintenir les matières solides en suspension ;
- Eviter la formation de mousse ;
- Assurer le transfert de chaleur ;
- Faciliter le dégagement des bulles de biogaz ;

Sur les bouchons de digesteur nous avons confectionné une sortie pour permettre au biogaz produit de s'échapper. Cette sortie est reliée au dispositif de récupération de volume du biogaz.

- **D'un gazomètre** : est constitué d'une éprouvette tremblante dans un récipient carré rempli de l'eau de robinet et utilisé pour le stockage du biogaz produit.

I.3. Expérience

I.3.1. Le substrat

Le premier substrat utilisé est constitué essentiellement de **déchet de l'estomac** du mouton élevé dans le village Tamantit wilaya d'Adrar. Ce déchet de consistance peux solide ; recueilli et séché à l'air ambiant pendant deux semaines.

Le deuxième substrat est **le karnaf** ;partie intéressante des palmes, composant le lien avec la tige du palmier et formant une couverture sèche ainsi . ce déchet de consistance solide est découpé et haché en petit morceau. Avant du lancement de la réaction, les deux substrats ont été pesés et séchés dans l'étuve pendant 72 heures à 110°C .

L'eau utilisée pour la dilution est l'eau distillée.



Figure 07.Le substrat utilisé

I.3.2. Description du dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés dans des réacteurs de type discontinu (batch) ; il s'agit d'une flacon en verre d'un volume de 2 litre. Le réacteur est muni de deux sorties, la première est pour le prélèvement des échantillons liquides à l'aide

d'une seringue, et l'autre permet au gaz produit de s'échapper pour la mesure du volume.

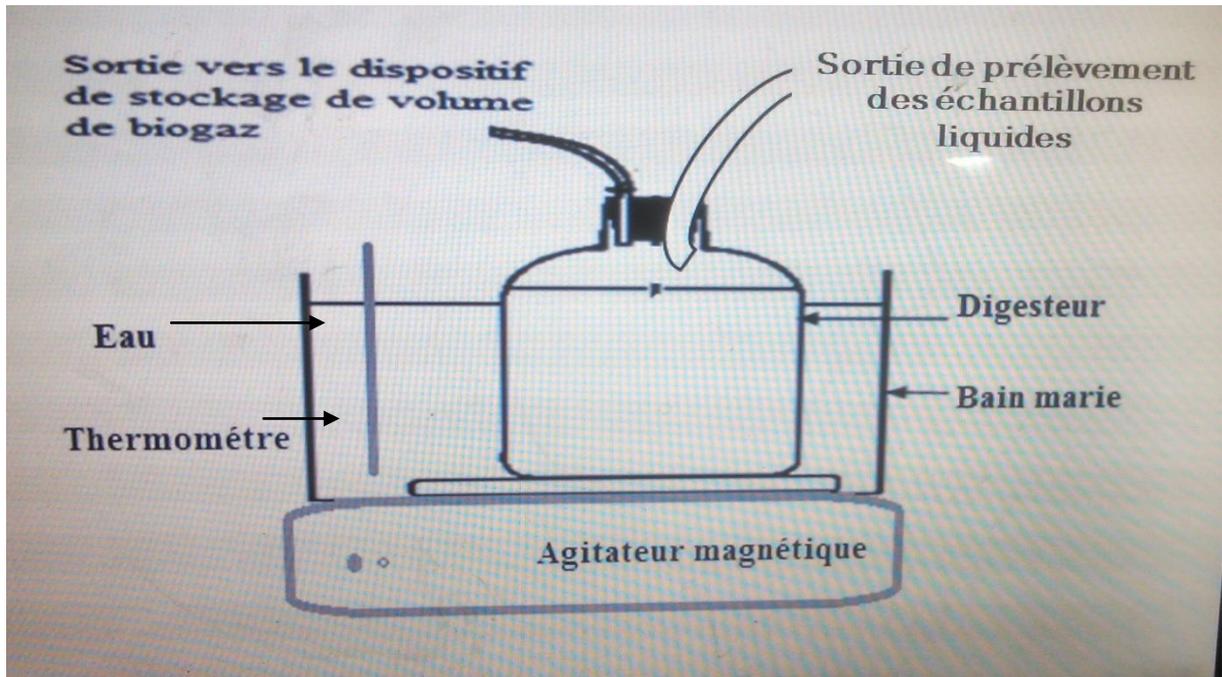


Figure 08. Schéma simplifié du dispositif expérimental

I.3.3. Le mode opératoire

Après sa récupération de l'étuve, on prend (250 ml) de déchet de l'estomac et leur dilution à raison de 750ml, le substrat de digestion permet d'alimenter le digesteur. Celui-ci est fermé hermétiquement pour favoriser la digestion anaérobie (sans apport d'oxygène) du substrat.

Pour optimiser ce processus de la biométhanisation, le substrat est chauffé à une température moyenne de 37°C ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) et homogénéisé par un agitateur magnétique (50 tours/min). Le biogaz produit dans le haut du digesteur est récupéré dans le gazomètre.

Quinze jour après, on a ajouté 50ml d'une émulsion de microorganisme en pleine d'activité anaérobie pour faire accélérer l'opération ; en favorisant toutes leurs conditions de vie « pH neutre surtout » qu'on a le mesuré plusieurs fois

On applique le même mode opératoire pour le substrat de karnaf.

I.4. Observation

Nous avons lancé les deux expériences en parallèle le 16/05/2016 à 10:34. La manipulation présente une défaillance en ce qui concerne le volume de substrat et le changement de sa couleur, et son odeur ainsi. Après quinze jours, on observe une remontée considérable de volume du biogaz suite à une surcharge du digesteur par ce dernier. et qui s'est décroît à une valeur de 4500 ml quatorze jours de prélèvement après .

Nous avons aussi marqué la neutralité du milieu de réaction pendant chaque prélèvement et mesure de pH .

I.5. Résultat et Discussion

I.5.1. Déchet de l'estomac

Le résultat de l'expérience est résumé dans le tableau 3

le tableau suivant représente la variation de volume et pH de déchet de l'estomac en fonction du temps

Tableau 05 : Variation de volume et pH de déchet de l'estomac en fonction du temps

	Déchet de l'estomac									
Durée/jour	15	17	20	23	24	27	29	31	34	35
Volume/ml	7200	1215	2385	1440	900	2655	4500	2880	1080	27000
	0	0	0	0	0	0		0	0	
pH	7.33	7.38	7.47	7.56	7.25	7.18	7.08	7.19	7.25	7.25

Pour plus de clairance ,la courbe suivante démontre les résultats obtenus :

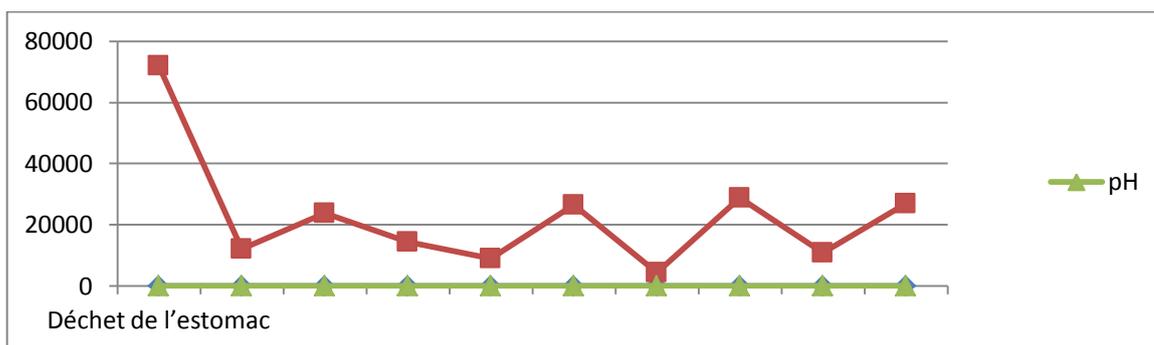


Figure 9: variation de volume de biogaz produit de déchet de l'estomac en fonction du temps

La diminution ou la chute du volume de biogaz qui a été intense en premier lieu dans les quinze jours révèle la consommation considérable et trop rapide du substrat par les micro-organismes qui l'ont trouvé en état de digestion .

Dans les reste des jours, on remarque une fluctuation vis avis la production de biogaz est du au condition de stabilité tels que la température et le pH du milieu avec une moyenne de 6544,286 ml.

I.5.2. déchets de Karnaf

Le résultat de l'expérience est résumé dans le tableau 4

Le tableau suivant représente la variation de volume et pH de déchet de karnaf en fonction du temps.

Tableau 06: Variation de volume et pH de déchet de Karnaf en fonction du temps.

	Déchet de Karnaf									
Durée/jour	15	17	20	23	24	27	29	31	34	35
Volume/ml	4905	5220	2070	1845	1125	3375	450	2880	1080	27000
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
pH	7.36	7.09	7.47	7.19	7.72	7.76	7.76	7.80	7.86	7.89

la courbe suivante résulte la variation de volume de biogaz produit de la dégradation anaérobie de déchet de Karnaf.

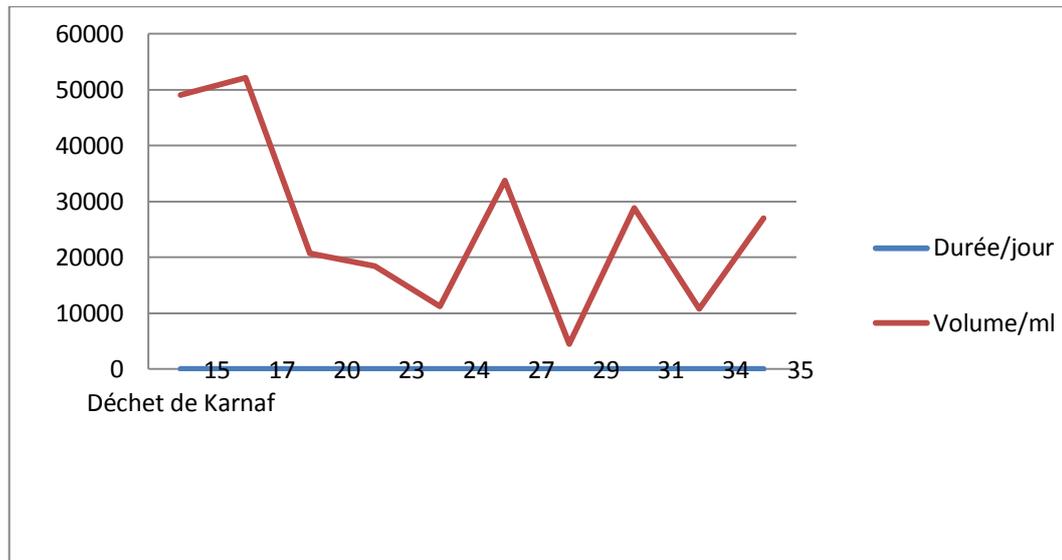


Figure 10: variation de volume de biogaz produit de déchet de Karnaf en fonction du temps

Le lancement et l'accroissement de la courbe dans les premiers quinze jours est dû à l'activité rapide et énorme des micro-organismes ce qui produit un volume important du biogaz brut. Au-delà de 15^{ème} jours le réacteur fonctionne d'une façon normale avec peu de rendement en qualité volume par rapport aux premiers jours, cela est expliqué par les réactions chimiques dans la partie acétogénèse ou la production de gaz CO_2 sera minimisée.

I.6. Résultats et discussions comparative

Les déchets d'abattoir présentent une biodégradabilité parfaite vu au volume de biogaz obtenu. Alors que le substrat contenant les déchets de Karnaf présente une biodégradabilité moyenne pour la même durée d'incubation.

Conclusion générale

L'objectif de notre travail est de gérer valoriser la biomasse par digestion anaérobie. On a utilisé comme matière première les d'abattoir « déchets de l'estomac » et les déchets de la décharge publique de la ville d'Adrar.

On a préparé deux échantillons comme se suit : le premier est un déchet d'abattoir correspond (250 ml) de déchet de l'estomac et leur dilution à raison de 750ml .et le deuxième échantillon « Déchet de Karnaf » avec les mêmes mesures de celui du premier. Les deux échantillons sont mis à fermenter dans des digesteurs dans des conditions d'anaérobiose pendant 35 jours.

La production du biogaz dépend de plusieurs paramètres, parmi lesquels nous pouvons citer la nature du substrat initial, sa quantité, la dilution , le pH et la température.

Cette étude, a permis de démontrer clairement la possibilité de produire une énergie à partir d'un déchet indésirable qui est le déchet organique.

La méthanisation, peut être considérée comme la technologie la plus avantageuse pour le traitement des déchets. Elle permet de valoriser les déchets et de produire une énergie renouvelable sous forme de biogaz. Ce biogaz a une valeur énergétique proche du gaz naturel, donc il peut être valorisé dans les applications domestiques comme la cuisson et la production d'électricité.

Donc ,on peut dire comme conclusion de ce travail que le rendement de la production de biogaz dépend de la nature des déchets utilisés (matière organique) et les conditions de fonctionnement de réacteur, ainsi que la durée d'incubation de micro organisme de système.

Résumé :

La méthanisation est un procédé biologique naturel permettant de valoriser des matières organiques. Ces matières sont placées à l'intérieur d'une cuve, le digesteur, qui est chauffée et brassée en l'absence d'oxygène. Elle produit une énergie renouvelable, le biogaz, et un fertilisant, le digestat.

Le biogaz peut être valorisé sous différentes formes. Il peut être brûlé pour produire de l'électricité ou de la chaleur et épuré afin d'être utilisé sous forme de carburant pour les véhicules.

Dans notre modeste étude nous avons contribué à l'étude de la production et de la caractérisation du biogaz produit à partir des déchets ménagers et les déchets d'abattoir de la ville d'Ouargla. Ainsi de mettre en évidence la biodégradabilité des déchets urbains et afin de d'initier une pensée de leur réexploitation énergétique d'une part et l'assainissement de l'environnement et la limitation de l'effet de serre d'autre part.

Mots Clés :

Biogaz, méthanisation, déchets organiques, valorisation énergétique, digestion anaérobie.

المخلص :

التخمير الميثاني هو عملية طبيعية وبيولوجية، تسمح بتثمين المواد العضوية، حيث توضع هذه الأخيرة في وعاء الهضم اللاهوائي الذي يسخن و يبرج في غياب الأوكسجين، ينتج لنا في الأخير طاقة متجددة، عبارة عن الغاز الحيوي ، ومخصبات للتربة متمثلة في السماد. يمكن تثمين الغاز الحيوي بطرق مختلفة، في توليد الكهرباء أو إنتاج الحرارة، واستخدامه كوقود للسيارات وذلك بعد تنقيته.

في دراستنا المتواضعة ساهمنا في دراسة إنتاج الغاز الحيوي من النفايات المنزلية ونفايات المذبح لمدينة ورقلة. وتسلط الضوء على مدى إمكانية التحلل البيولوجي للنفايات، وإعطاء فكرة لإعادة استغلالها طاقياً هذا من جهة، ومن جهة أخرى تطهير البيئة والحد من الاحتباس الحراري.

كلمات مفتاحية :

الغاز الحيوي، التخمير الميثاني، النفايات العضوية، التثمين الطاقي، الهضم اللاهوائي.