

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de la Technologie
Département de Génie Mécanique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : Technologie
Filière : Génie Mécanique.
Spécialité : Génie énergétique
Thème

La méthanisation des déchets

Présenté Par :

KHELKHAL Amina

Devant le jury composé de :

Dr. BENSaad Bourassia	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Dr.SARI hassoun zakaria	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr. BELHNINI Sofian	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur

Année universitaire 2017/2018

Dédicaces

Avec tous mes respects et amour, je dédie ce modeste travail :

À ma raison de vivre, l'affable, l'honorable, l'aimable, qui représente pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi qui est ma chère MAMAN.

À mon très cher PERE, qui a été mon support durant toutes les années de mes études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

Je prie le bon ALLAH de les bénir, les préserver et les accorder santé, longue vie et bonheur.

A mes chères sœurs ; Mona, Rima, Nadia, à mon cher frère Saïd qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite, et à toute ma famille proche et loin.

A Dr. SARI Hassoun, Dr. Salimboudelaa, Dr. Abd ELAZZIZ et M. SLIMANI, qui m'ont accompagnée durant tout le déroulement de ce projet, avec beaucoup de sagesse et de perfection, qui a supportée mon humeur au moment de stress.

A mes fidèles amies Manel, Fatiha, Sara, Hayet, Djamel et Moustafa, pour les agréables moments qu'on a passé ensemble.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

KHELKHAL Amina

Remerciements

Initialement, ce mémoire n'aurait pas été réalisé sans la bénédiction d'ALLAH, qui nous a accordé le courage et la détermination nécessaire pour finaliser ce travail, et qui a récompensé nos prières « Merci ALLAH ».

Nous exprimons nos profonds remerciements à notre encadreur Dr. Bensaad Bourassia pour tout le soutien, l'aide, l'orientation, la guidance qu'il nous a apportés durant l'élaboration de ce travail, ainsi pour ses remarques pertinentes et son encouragement.

Nos remerciements vont droit à l'ensemble des employés du Centre de BELAHDJ Bouchaib d'Ain Témouchent, de l'Institut de Technologie et spécialement le Département de Génie mécanique.

Nous tenons également à exprimer notre sincère gratitude au président et membres du jury de bien vouloir accepter d'évaluer ce modeste travail.

Enfin, un grand remerciement à l'ensemble des personnes qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

« MERCI »

«وما توفيقى إلا بالله»

Résumé

La valorisation des déchets est un ensemble des procédés par les quels on transforme un déchet matériel à un produit utilisable ça ce qu'on appelle le recyclage concernant la valorisation de matière, autre cas spécifiant la valorisation énergétique dans l'objectif, de produire l'énergie électrique et thermique, grâce à les déchets organiques animales ou végétales, par la méthode de la méthanisation, et organiques et solides par la méthode de l'incinération. Alors on peut considérer La valorisation énergétique des déchets comme une solution préférable dans le but de gagner l'énergie et réduire l'utilisation de l'énergie fossile.

Abstract

Evaluating waste is done through a set of operations to recycle the trash which is able to be produced again, that is called evaluation of the material; more precisely our work is focused on how to specify the evaluation of the material in an energetic way to produce thermal and electrical energy, there exist two major operations; first fermenting operation is related to vegetarian and animal waste, second combustion operation deals with solid and organic trash, in sum, this investigation of evaluating waste is regarded as a prominent solution to produce energy and economize non-renewable energy use.

الملخص

تقييم و تثمين النفايات يتمثل في مجموعة من العمليات التي من خلالها نتمكن من تدوير النفايات القابلة لإعادة التصنيع هذا ما نسميه بتقييم المادة و من جهة أخرى إنتاج الطاقة الكهربائية و الحرارية عن طريق المهملات العضوية حيوانية كانت أم نباتية تسمى هذه العملية بالتخمير فيما فيه العملية الثانية وهي الحرق و ذلك فيما يخص النفايات الصلبة و العضوية و من هذا يعتبر تقييم المادة طاقياً كحل امثل في إنتاج الطاقة و الاقتصاد في استعمال الطاقة الغير المتجددة

Abréviation

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

FFOM : Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères

DIB : Déchets Industriels Banals

DIBC : Déchets Industriels Banals Collectés

DIS : Déchets Industriels Spéciaux

DMS : Déchets Ménagers Spéciaux

DTQS : Déchets Toxiques en Quantité Dispersée.

PEEFV : produits électroniques et électriques en fin de vie

MNU : médicaments non utilisés

PET : Polyéthylène Téréphtalate

MPR : Matières Premières de Recyclage

FCR : Fibres Cellulosiques de Récupération

CSR : Combustibles Solides de Récupération

TMB : Traitements Mécano-Biologiques

OMR : Ordures Ménagères Résiduelles

OHPA : Obligate Hydrogen Producing Bacteria

PH : Potentiel d'Hydrogène

PCS : Pouvoir Calorifique Supérieur

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur

GNV : Gaz Naturel pour Véhicule

ISDND : Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux

UMOM : Unités de Méthanisation des Ordures Ménagères

STEP : Stations d'Épuration Urbaines

C.E.T : Centre d'Enfouissement Technique

Liste de figures

N° figure	Intitulé	Page
Figure I-1	Les Déchets Inertes	21
Figure I-2	Les Déchets Ultimes	21
Figure I-3	Les Déchets Dangereux	22
Figure I-4	LES DTQD	23
Figure I-5	Les DIS	23
Figure I-6	Les DEEE	24
Figure I-7	LES DMS	24
Figure II-1	les déchets recyclables	27
Figure II-2	Cycle des matières et des produits	28
Figure II-3	silos à verre ont été installés pour la récupération matière	29
Figure II-4	collectée les déchets carton	30
Figure II-5	installation de collection bois et broyer	32
Figure II-6	station broyeur pour la ferraille	33
Figure II-7	Usine d'incinération	34
Figure II-8	schéma d'une unité de production de biogaz	37
Figure II-9	Graphe montre la répartition de la composition des déchets ménagers en Algérie	38
Figure III-1	Les différentes étapes de la méthanisation	44
Figure III-2	Intensité de la fermentation en fonction de la température	46
Figure III-3	Production de biogaz en fonction de la température et du temps de Séjour	47
Figure III-4	Equivalence énergétique du biogaz	50
Figure III-5	Élimination des digestats	51
Figure III-6	Stockage des digestats sur une dalle en béton par centrifuge	51
Figure III-7	Schéma de principe du digesteur	53
Figure IV -1	Carte présentant la situation géographique de la wilaya d'Ain T'émouchent	60
Figure IV -2	Carte présentant la situation géographique de la commune Sidi Ben Adda	61
Figure IV -3	Graphe significatif de la quantité de décharge par an pour les 7 communes de CET (sidi ben Adda)	64
Figure IV -4	diagramme de pourcentage de la matière	66

Liste de tableau

N° tableau	Intitulé	Page
Tableau I-1	déchets composables	20
Tableau II-1	Évolution des ratios d'émission des DMA	38
Tableau II-2	Composition des ordures ménagères	39
Tableau II-3	production de déchets urbains en Europe accidentelle en Kg /Hab	40
Tableau III-1	La biodégradabilité théorique des lisiers	45
Tableau III-2	Proportion de H2S selon le type de substrat	46
Tableau IV- 1	les statistiques des déchets ménagers de la wilaya d'Ain Témouchent	62
Tableau IV -2	état de récupération année 2015(en tonne)	63
Tableau IV -3	la quantité des déchets solides urbains générés de 7 communes	64
Tableau IV -4	chiffre d'affaire du CET de Sidi Ben Adda	64
Tableau IV -5	quantités de Déchets traitées Durant l'année2015	65
Tableau IV -6	chiffre d'affaire du CET de Sidi Safi	65
Tableau IV -7	les matières récupère par tri	65
Tableau IV -8	tonnage des matières stockées	66
Tableau IV -9	le tri des déchets récupérés (tonne/an)	67

Sommaire

Introduction Générale :	15
I.1 introduction :	18
I.2 Historique :	18
I.3 Définition des déchets :	19
I.4 Les types des déchets :	19
I.4.1. Les déchets biodégradables :	20
I.4.2. Les déchets inertes :	20
I.4.3. Les déchets ultimes :	21
I.4.4 .Les déchets dangereux :	21
I.5 Classification des déchets :	22
I.5.1.Les DTQD (déchets toxiques en quantités dispersées) :	22
I.5.2.Les DIS (déchets industriels spéciaux) :	22
I.5.3.Les DEEE (déchets d'équipements électriques et électroniques) :	23
I.5.4. Les DMS (déchets ménagers spéciaux) :	23
I.6 Conclusion :	24
II.1.Introduction :	26
II.2. Les type de valorisation des déchets :	26
II .2.1. Valorisation de matière (recyclage) :	26
II.2.1.1.Principes des cycles des matières et des produits :	27
II.2.1.2.Les marchés établis et les procédés de recyclage maîtrisés :	27
II.2.2. Valorisation énergétique :	33
II.2.2.1.L'incinération :	33
II.2.3.Valorisation organique :	34
II.2.3.1. Le compostage :	34
II.2.3.2. La Méthanisation :	35
II.3. Situation actuelle sur la valorisation énergétique dans l'Algérie :	36
II.3.1. Production des déchets solides urbains :	36
II.4. Situation actuelle sur la valorisation énergétique dans le monde :	39

II.4.1.La composition des déchets :	40
II.5.Conclusion :	40
III.1. Introduction :	42
III.2.Définition :	42
III.2.1. L'hydrolyse :	42
III.2.2. L'acidogènes :	43
III.2.3. L'acétogénèse :	43
III.2.4. La méthanogénèse :	44
III.3. Paramètres physico-chimiques de la méthanisation :	44
III.3.1. Le substrat :	44
III.3.2. la Température :	45
III.3.3. le Potentiel hydrogène pH :	46
III.3.4. Le rapport C/N :	46
III.3.5. L'humidité :	47
III.3.6. le Pouvoir calorifique :	47
III.4.Les Techniques de méthanisation :	47
III.5. Le biogaz :	48
III.5.1.Les Applications de biogaz :	49
III.5.2.Les principaux usages actuels du biogaz :	50
III.6.Le digestat :	50
III.6.1. Propriétés :	50
III.6.2.Digesteur :	51
III.6.3.Les technologies de conception d'un digesteur :	52
III.7. Compostage :	53
III.7.1.Les clés d'un bon compostage :	53
III.7.2.Principe du compostage Trois procédés :	54
III.8. Le biogaz dans le monde :	54
III.8.1.En Europe :	55
III.8.2.Allemagne :	55
III.8.3.France et pays francophones :	55
III.9.Avantages et inconvénients :	57

III.10. Conclusion :	57
IV.1. Introduction :	59
IV.2. Présentation de la wilaya d'Ain Témouchent :	59
IV.2.1. Définition :	59
IV.2.2. Situation géographique de la commune de Sidi Ben Adda :	60
IV.3. Statistiques de décharge de wilaya d'Ain Témouchent :	60
IV.3.1. C.E.T Sidi Ben Adda :	62
IV.3.2. C.E.T SIDI SAFI :	64
IV. 3.3. Plastiques recyclables P.E.T/P.P/P.E.H.D :	65
IV.4. Etude et calcul de déchets de la wilaya d'Ain Témouchent en 2015 :	66
IV.4.1. Dimensionnement d'une station de méthanisation des déchets de la wilaya d'Ain Témouchent :	66
IV.4.2. Les critères de choix :	67
IV.4.3. Dimensionnement des digesteurs :	67
IV.4.4. La comparaison :	70
IV.4.5. utilisation du biogaz pour la production de la chaleur :	71
IV.4.6. Estimation économique :	71
IV.4.7. Exploitation :	71
IV.5. conclusion :	71
Conclusion générale :	73
<i>Bibliographie</i>	74

(Introduction générale)

Introduction Générale :

Les déchets sont l'un des meilleurs indicateurs de la vitalité économique et du mode de vie d'une société. La croissance de la production et le développement, toujours plus rapide, de biens de consommation ont marqué en profondeur la structure socio-économique des pays industrialisés, une société de gaspillage est née en l'espace d'un demi-siècle. Les instances politiques essaient de modifier l'approche que l'on a des produits et des déchets en recourant à de nouveaux instruments, basés sur l'incitation financière. Hormis ceux que l'on conserve dans des musées, tous nos biens de consommation finissent leur vie sous la forme de déchets. Il n'y a pas de doute, la propension à la consommation et au gaspillage dépend étroitement du pouvoir d'achat et de la prospérité d'une société. La protection de l'environnement devient de plus en plus une préoccupation collective. La question des déchets est quotidienne et touche chaque être humain tant sur le plan professionnel que familial. En qualité de consommateur, producteur, usager du ramassage des ordures et trieur de déchets recyclables, citoyen ou contribuable, chacun peut et doit être acteur d'une meilleure gestion des déchets. Dans une vision intégrée de développement durable, la problématique des déchets ne peut pas être traitée comme un objet isolé, ni même se limiter aux seuls aspects de valorisation et d'élimination. Elle doit être placée dans une perspective holistique de gestion des risques et des ressources, qui couvre tout le cycle de vie du déchet, depuis sa génération jusqu'au traitement ultime. Elle anticipe le déchet dès le stade projet, inclut les stratégies de réduction à la source, de valorisation et d'élimination et vise à la maîtrise des flux tout au long du procédé aboutissant au déchet. On évitera dans la mesure du possible de produire des déchets à la source. Pour ce faire, on doit privilégier les procédés de production générant peu de déchets, fabriquer des biens à longue durée de vie et optimiser les emballages. On doit éviter ou limiter dans la mesure du possible le recours aux substances polluantes, dans les produits comme dans les procédés de recherche et de fabrication, afin de faciliter les étapes ultérieures du traitement et de la valorisation des déchets.

"Si on se concentre seulement sur l'élimination des déchets, c'est une opportunité perdue" une solution à ce problème d'épuisement des ressources naturelles est la valorisation des déchets en substitution des ressources naturelles favorisant ainsi le bouclage des cycles de matière dans l'environnement. Ainsi, une technique de production d'énergie utilisant la biomasse comme matière première a été développée depuis quelques dizaines d'années : la méthanisation ou digestion anaérobie. Cette technique a pour but la production de biogaz qui est transformé en énergie électrique et/ou thermique.

Actuellement, la méthanisation connaît un fort développement. En effet, elle présente de nombreux intérêts environnementaux, économiques et sociétaux. Elle permet le captage des émissions de méthane des déchets (boues urbaines, déjections animales, bio-déchets municipaux et d'industries agro-alimentaires), tout en produisant du biogaz valorisé en électricité et/ou en chaleur renouvelable. Pour tous ces avantages, la méthanisation a connu un développement majeur au cours des 20 dernières années, notamment en Europe.[1]

L'objectif de notre projet consiste à faire la méthanisation des déchets, Nous avons divisé notre mémoire en quatre chapitres :

Le premier chapitre : présentation générale autour des déchets,

Le deuxième chapitre : valorisation des déchets,

Le troisième chapitre : méthanisation des déchets,

Et le quatrième chapitre : étude des cas réels (exemple centre d'enfouissement technique sur l'environnement de Sidi Benaada – Ain Témouchent),

Enfin, nous achevons notre mémoire par une conclusion générale.

Chapitre I :
Généralité Sur Les Déchets

I.1 introduction :

Les déchets sont l'un des meilleurs indicateurs de la vitalité économique et du mode de vie d'une société. La croissance de la production et le développement, toujours plus rapide, de biens de consommation ont marqué en profondeur la structure socio-économique des pays industrialisés ; une société de gaspillage est née en l'espace d'un demi-siècle. Les instances politiques essaient de modifier l'approche que l'on a des produits et des déchets en recourant à de nouveaux instruments, basés sur l'incitation financière. Hormis ceux que l'on conserve dans des musées, tous nos biens de consommation finissent leur vie sous la forme de déchets. Il n'y a pas de doute, la propension à la consommation et au gaspillage dépend étroitement du pouvoir d'achat et de la prospérité d'une société.[1]

I.2 Historique:

Le traitement des déchets a longtemps été pris en charge par les populations elles mêmes. Les résidus d'artisanats étaient récupérés (métaux refondus, vieux chiffons et puis papiers pour la pâte à papier, etc.), le reste n'était qu'organique (c'est-à-dire composé de matière naturelle et rapidement biodégradable) et venait en campagne compléter les engrais ou la nourriture des animaux, tandis qu'en ville les caniveaux ou autres terrains vagues récoltaient des détritiques peu polluants. La première révolution industrielle a transformé les villes qui sont devenues des sources énormes de matières premières, ce qui a entraîné l'apparition de deux métiers spécifiques le vidangeur qui récupère l'urine et les excréments dans les fosses d'aisance et les revend comme engrais aux paysans, ainsi que les boues de rues qui permettent l'essor du maraîchage, le chiffonnier qui, par le recyclage des déchets, participe à l'essor de l'industrialisation.

Alors que ces deux métiers disparaissent peu à peu au XX^e siècle (l'industrie utilisant de plus en plus les matières plastiques et l'agriculture les engrais issus de la carbochimie), le système des décharges se généralise. Il consistait à stocker dans un lieu, généralement loin des habitations, des déchets plus conséquents et non biodégradables à court terme (vieux mobilier, métaux, gravats, etc.). Dans l'antiquité, des décharges, ou dépotoirs, existaient déjà (ce qui permet aujourd'hui aux archéologues de retrouver poteries, bijoux, etc.). Mais le système des décharges est devenu au fil des siècles le moyen de se débarrasser de plus en plus des déchets, sans préoccupation pour l'environnement (odeurs, émissions de gaz comme le méthane et l'hydrogène sulfuré, risque d'incendie, pollution des terres). La France a connu une décharge

dans quasiment chaque commune, recouverte par la suite et souvent volontairement oubliée ; l'une des dernières grandes décharges est celle de Marseille.

À partir des années 1960, l'incinération s'est développée en raison d'une offre nouvelle de matériel pouvant brûler des quantités importantes de déchets, et en réponse à la difficulté croissante de trouver des sites de décharge. L'incinération a de nombreuses conséquences environnementales qui, longtemps, n'ont pas été prises en compte, et elle génère comme les décharges des oppositions fréquentes². L'idée que les déchets sont une ressource à exploiter, plus que des rebuts dont il faut se débarrasser se développe (économie circulaire, lutte contre le gaspillage). Il est possible par exemple d'en extraire des matières premières et les recycler, de composter ou méthaniser certains déchets, ou d'en brûler pour produire de l'électricité et alimenter un réseau de chaleur. Ainsi, depuis quelques années, des alternatives aux décharges et à l'incinération voient le jour, mais sont encore peu mises en place : tri mécano-biologique, pyrolyse, gazéification, etc. Dans le même temps, associations et pouvoirs publics tentent de réduire à la source la production de déchets qui est en augmentation croissante depuis l'après-guerre. La réduction des déchets est considérée par beaucoup comme l'un des meilleurs traitements existants.[2]

I.3 Définition des déchets :

Selon le Code de l'Environnement (art. L541-1), un déchet est 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. Autrement dit, tout élément qui est abandonné est un déchet. Ce n'est pas pour autant que cet élément est inutilisable, en l'état ou après modification. Seuls les déchets qualifiés d'ultimes sont réellement inutilisables et doivent être stockés pour éviter des pollutions de l'environnement. [3]

I.4 Les types des déchets :

Les déchets peuvent être divisés selon leur origine (agricoles, municipaux, industriels, des activités de soins) ou selon la typologie comme ci-dessous (composables ou biodégradables, inertes, recyclables, ultimes ou dangereux). [4]

I.4.1. Les déchets biodégradables :

Ils correspondent aux Déchets de jardin qui sont produits par les collectivités, les sociétés privées d'entretien des espaces verts et les particuliers, Déchets alimentaires qui sont issus essentiellement des métiers de la restauration et de l'industrie agro-alimentaire et les Déchets de maison qui sont produits par les particuliers ça ce qui montre le tableau suivant. [4]

Déchets de cuisine	Déchets de jardin	Déchets de maison
Sachets de thé	Pousses vertes	Mouchoirs en papier
Marc de café, de raisin	Fleurs fânées	Papiers et cartons souillés
Coquilles d'œuf	Fonds de pots de fleur	Cendre de bois

Tableau I-1 : déchets composables.

I.4.2. Les déchets inertes :

Les déchets inertes sont des déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique, chimique ou biologique de nature à nuire à l'environnement. Ils ne sont pas biodégradables et ne se détériorent pas au contact d'autres matières.

Ils proviennent principalement des filières du bâtiment et des travaux publics dans le secteur du bâtiment, on distingue les déchets issus des activités de construction, de rénovation, de démolition (béton, briques, tuiles, céramiques, carrelage...) ainsi que des activités liées à la réalisation et à l'entretien d'ouvrages publics (routes, ponts, réseaux...). Dans le secteur des travaux publics, les déchets inertes correspondent principalement à des déchets minéraux issus de la démolition d'ouvrages d'art et de génie civil mais également à des cailloux et de la terre. [4]



Figure I-1 : Les Déchets Inertes

I.4.3. Les déchets ultimes :

Un déchet ultime est défini comme n'étant plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques appartenant au processus de valorisation du déchet ou de réduction de son caractère polluant ou dangereux. La notion de déchet ultime n'est pas fonction de ses caractéristiques physico-chimiques mais plutôt du système de collecte et de traitement auquel il appartient. [4]



Figure I-2 : Les Déchets Ultimes

I.4.4 .Les déchets dangereux :

Ils contiennent des substances dangereuses pour l'homme et pour l'environnement. Leur élimination nécessite des traitements particuliers dans des centres spécialisés. Et présente une ou plusieurs des caractéristiques suivantes : explosif, comburant, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérigène, infectieux, corrosif, mutagène. [4]



Figure I-3 : Les Déchets Dangereux

I.5 Classification des déchets :

On distingue 4 classes de déchets dangereux :

I.5.1. Les DTQD (déchets toxiques en quantités dispersées) :

Les DTQD produits en petites quantités par les ménages, les commerçants qui sont chargés de les faire éliminer ou valoriser dans les installations classées pour la protection de l'environnement. On distingue deux sortes de DTQD :

- Solides : déchets banals souillés, piles, batteries usagées, résidus de peinture, ...
- Liquides : produits de coiffure, lessives et détergents, eau de javel, aérosols, huiles de vidange, liquides de frein, de refroidissement, huiles de coupe, solvants, encres, révélateurs et fixateurs photos, ...
- Les piles et batteries usagées peuvent être rapportées auprès de tout vendeur de piles, mais aussi dans certains lieux publics qui disposent parfois de conteneurs spécifiques pour cette collecte. L'intérêt de la valorisation des piles et des accumulateurs réside dans la réutilisation de métaux comme le zinc le plomb le nickel le cadmium [4]



Figure I-4 : LES DTQD

I.5.2. Les DIS (déchets industriels spéciaux) :

Correspondent aux déchets produits par les entreprises ainsi que les déchets spéciaux produits par les hôpitaux, les laboratoires et les agriculteurs. On peut les classer en trois catégories :

- Les déchets organiques : solvants, hydrocarbures, boues, etc.
- Les déchets minéraux liquides et semi liquides : bains de traitement de surface, acides,
- Les déchets minéraux solides : cendres, mâchefers, laitiers. [4]



Figure I-5 : Les DIS

I.5.3. Les DEEE (déchets d'équipements électriques et électroniques) :

Les DEEE sont composés de téléphones portables, de télévisions, d'ordinateurs et de tout appareil électroménager [4]



Figure I-6 : Les DEEE

I.5.4. Les DMS (déchets ménagers spéciaux) :

Les DMS sont séparés des déchets ménagers à cause de leur caractère toxique nuisible pour l'homme. Ils peuvent être assimilés aux DTQD car ils comprennent des produits tels que : aérosols, acides, ammoniac, métaux lourds, piles, les médicaments non utilisés (MNU), les produits électroniques et électriques en fin de vie (PEEFV), les produits phytosanitaires, en ce qui concerne les DMS, il est à noter l'existence de quelques organismes spécialisés dans leur récolte :

- Piles et batteries usagées
- Médicaments
- Huiles usagées [4]



Figure I-7: LES DMS

I.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a expliqué en détail le déchet et ces différents types qui existent (Ultimes, inertes, organique, vert, industriel banal, les déchets dangereux), puis on a parlé les classe des déchets.

Pour cela, on a conclu que Les déchets sont l'un des meilleurs indicateurs de la vitalité économique et du mode de vie d'une société. La croissance de la production et le développement, toujours plus rapide, de biens de consommation ont marqué en profondeur la structure socio-économique des pays industrialisés. Dans le chapitre suivant nous intéresserons à valorisation des déchets.

Chapitre II :
Valorisation des déchets

II.1.Introduction :

La valorisation des déchets ou revalorisation est un ensemble de procédés par lesquels on transforme un déchet matériel ou organique dans l'objectif d'un usage spécifique comme le recyclage, le compostage ou encore la transformation en énergie : dans ce deuxième cas, on parle de valorisation énergétique. La valorisation des déchets peut être considérée comme une solution préférable à la mise en décharge. Dans la Loi sur la Transition Énergétique votée en mai 2015, le gouvernement appelle ainsi à favoriser la production d'énergie issue de la valorisation des déchets lorsqu'ils ne sont pas recyclables.

D'après l'ADEME, (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie), la valorisation consiste dans : « le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie »(loi du 13 juillet 1992).[5]

II.2. Les type de valorisation des déchets :

II .2.1. Valorisation de matière (recyclage) :

La valorisation matière recouvre le réemploi, la réutilisation, la régénération et le recyclage des matériaux extraits des déchets. Les nouveaux matériaux générés sont appelés matières premières secondaires ou matières premières recyclées. On parle de valorisation en boucle quand la matière est recyclée dans le produit dont elle est issue : le verre redevient verre, les bouteilles d'eau en PET (Polyéthylène Téréphtalate) redeviennent bouteilles d'eau. Et de valorisation en cascade quand la matière est orientée vers d'autres usages : le caoutchouc issu des pneus devient un revêtement souple pour aires de jeux, ou le PET devient du textile polaire. [6]



Figure II.1 : les déchets recyclables

II.2.1.1.Principes des cycles des matières et des produits :

Chaque étape du cycle peut influencer, de manière variable, les étapes de la collecte des déchets jusqu'à la production de biens a titre d'exemple, on notera :

- l'éco-conception des produits, qui prévoit ou pas l'incorporation de Matières premières de recyclage (MPR) et/ou la recyclabilité du produit une fois usagé ;
- la collecte, qui détermine le niveau de mobilisation des gisements de déchets et produits usagés destinés au recyclage ;
- le démantèlement (démontage et dépollution), le tri (identification, extraction, et/ou la séparation des matières) et la préparation (déchetage, broyage...) des déchets et des matières qui en sont issues, qui permet d'augmenter et régulariser les flux. À ce stade, l'enjeu est d'optimiser la qualité des MPR tout en diminuant la quantité des résidus ultimes non valorisés.
- la transformation et mise en œuvre des matières issues de déchets, qui permet l'augmentation de l'intégration de MPR dans des domaines d'application existants ou nouveaux.[7]

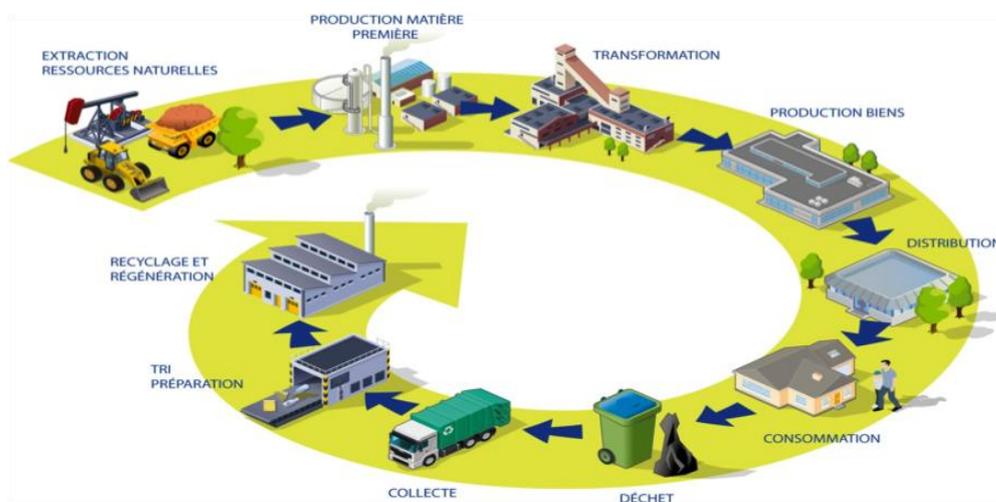


Figure II.2 : Cycle des matières et des produits

II.2.1.2.Les marchés établis et les procédés de recyclage maîtrisés :

1. Le verre :

Le verre peut être produit presque indifféremment à partir de matière minérale vierge (silice), ou de calcin (verre broyé) de récupération. C'est lors du choc pétrolier de 1974, qu'il a été découvert que la fonte du calcin revenait moins chère que la récupération des matières premières traditionnelles. Ce procédé de récupération était déjà utilisé par les verriers, mais personne n'avait envisagé de l'appliquer aux déchets. Le verre usagé peut être recyclé par

réemploi direct (consigne comme dans le système allemand), ou en re-fabriquant de la matière première (système français). Le verre récupéré, exempt de polluants, se recycle indéfiniment sans perdre ses qualités dès suivants d'origines. Il doit cependant être traité avant réutilisation, avec les procédés suivants :

- Broyage, lavage, élimination des colles, étiquettes et capsules.
- Séparation du verre des métaux ferreux par tri magnétique et des non ferreux par courant de Foucault. [8]

➤ **Avantages de recyclage :**

Le coup de production est moindre pour plusieurs raisons :

-Moins de frais de transport : le sable, la chaux et la soude ne sont pas produits sur le même site et la fabrication traditionnelle nécessite au moins trois transports distincts .dans le cas du recyclage, tous les composants sont présents.

-Les frais de fusion sont également inférieurs dans le cas du recyclage : le calcin fondant a une température inférieure à celle requise pour les matières premières, la fabrication du verre à partir de ce dernier permet une économie d'énergie de l'ordre de 30%.

On estime l'économie de fuel à 100 litres par tonne de calcin traité (40 litres pour la fusion et 60 pour l'extraction et le transport des matières premières).

Il est générateur d'emploi puisque l'on estime à 10 000 son nombre d'emplois Dans la filière.

La collecte séparative du verre permet aux collectivités locales de réaliser des économies sur le coût de traitement, celui-ci étant partagé avec l'industrie. Ce coût est divisé par cinq par rapport à celui de l'incinération. Et surtout l'aspect environnemental : les besoins énergétiques requis pour la fusion étant inférieurs, on estime à 200kg par tonne recyclée la réduction des émissions de CO₂ dans l'atmosphère.



Figure II-3 : silos à verre ont été installés pour la récupération matière

➤ Inconvénients du recyclage :

La concentration en plomb dans les emballages en verre a tendance à augmenter au cours des Traitements successifs. Cette propriété à concentrer les métaux lourds est intéressante pour la vitrification des déchets ultimes, mais moins pour les emballages ménagers.

- La collecte du verre fonctionne si bien qu'il ne s'en trouve presque plus dans les déchets destinés à l'incinération. Or la présence de verre dans les mâchefers conférerait à ces derniers des propriétés physiques intéressantes.
- Le recyclage du verre demande, de la part du public producteur, un soin particulier lors du Dépôt en effet, la présence d'impuretés comme les bouchons, débris d'autre nature, mais Assimilés à du verre (céramique, porcelaine) compromettent la bonne marche de la chaîne de production. Il y a des donc des tris automatiques pour séparer les indésirables, mais cela occasionne un surcoût supplémentaire. [8]

2. Le papier carton :

Sous cette appellation, on regroupe les produits issus de la transformation de Fibres végétales naturelles et dont la grande majorité est recyclable : emballages, Journaux, papiers de bureau, annuaires, vieux livres etc. La consommation de Papiers et de cartons est en règle générale proportionnelle au niveau de Développement et de richesse d'un pays.



Figure II.4 : collectée les déchets carton

a. la collecte :

Il y a trois gisements:

- Le circuit industriel : il s'agit des sous-produits de la production et de la transformation des papiers cartons (chutes de fabrication, rognures d'imprimerie)
- Le circuit commercial : il s'agit des produits qui après usage, peuvent être récupérés (Emballages, journaux invendus)
- Le circuit des déchets ménagers : il concerne les produits issus de la consommation des Ménages 93% des fibres récupérées proviennent des deux premiers circuits.

b. Traitement recyclage :

L'industrie du recyclage des vieux papiers est mature. Le circuit industriel se présente de la façon suivante :

1) prétraitement :

Détenteur (grande surface, industriel) => tri sélectif éventuel

(papiers/journaux/cartons...) => Conditionnement => transport vers une usine de recyclage=>

Deuxième tri => premier traitement physique.

2) Premier traitement physique :

Au cours de cette phase de traitement, sont éliminées les impuretés qui sont :

- Grandes que les fibres (plastique, agrafes) par procédé de grilles et densimétrie
- lourdes que les fibres (sable, verre) par gravimétrie.
- Légères que les fibres (plastiques, colles) par centrifugation.

L'opération centrale consiste dans le défibrage. Le produit est inséré dans un mixeur avec apport d'eau, qui casse les liaisons entre les fibres. Le papier carton se transforme en pâte, et les principales impuretés peuvent être éliminées par les procédés évoqués ci-dessus.

➤ Avantages de recyclage :

C'est l'économie de matière première : une tonne de papier-carton permet d'obtenir à quelques Kilogrammes près la même quantité de pâte à papier alors que trois tonnes de bois seraient nécessaires. Autre avantage, l'économie réalisée sur les moyens de traitement : les opérations de coupe, de broyage, de cuisson, de défibrage, de lavage et de raffinage, indispensables dans le cas du bois, ne sont pas nécessaires dans le cas du recyclage. Le papier recyclé se retrouve de plus en plus dans les journaux et les magazines, qui en achètent de grandes quantités à moindre coût. Paradoxalement, pour les particuliers, le papier à écrire recyclé n'est pas moins cher que le papier neuf : cela est lié à leur préférence pour la qualité du second qui entraîne une moindre consommation du premier. Néanmoins, il bénéficie d'une bonne image de marque grâce au symbole du respect de l'environnement.

3. Le bois :

Les déchets en bois ont plusieurs origines :

- Exploitation forestière : souvent brûlés sur place (branchages, écorces), ou laissés à l'abandon (sciures), la nature faisant le reste.
- Les industries de première transformation : chutes de scieries.

- Les industries de deuxième transformation (menuiseries, charpentes,...) où les déchets de bois peuvent avoir été traités et doivent alors entrer dans des circuits de traitements spécifiques. Les objets en bois ou partiellement en bois, parvenus ou non en fin de vie.
- le propriétaire se débarrasse : ces déchets peuvent être aussi composés de bois traités et la restauration de mobilier ancien, méthode de traitement d'une forme de déchet en bois qui en génère elle-même d'autres. Il peut s'agir également de bois traités.



Figure II-5 : installation de collection bois et broyeur

Les déchets en bois sont classés en trois catégories :

- La biomasse : bois naturel non traité (déchets de l'exploitation forestière et desscieries)
- Les bois faiblement traités (palettes, ameublement)
- Les bois-déchets toxiques pour l'environnement et imposant des traitements spéciaux bois traités à la créosote, au cuivre, au chrome ou à l'arsenic et bois Ignifugés (c'est partie sur polluants et toxique).

Traitement recyclage : La valorisation des déchets de bois non traités peut se faire de plusieurs manières, selon les besoins des entreprises et les différentes essences de bois :

- compostage des écorces de résineux.
- Concassage des écorces de résineux pour le paillage couvre-sol en horticulture.
- Fabrication de panneaux d'agglomérés à partir de sciures et de copeaux.
- utilisation en papeteries pour les dosses et déligneurs d'essence non tanniques.

- Production d'énergie à partir des écorces et des sciures de feuillus : ce mode de valorisation Est souvent réalise en interne par les entreprises productrices et l'énergie ainsi obtenue, Est utilisée pour le chauffage des locaux ou le séchage du bois.
- Fabrication de charbon de bois pour les dosses et déligneurs de feuillus.
- valorisation en granulés ou briquettes pour servir de combustible. [8]

4. Acier et Ferrailles :

Les métaux ferreux et plus particulièrement l'acier sont liés à l'ère industrielle, ils ont des caractéristiques particulières :

- Une propriété fondamentale, le magnétisme, utilisé pour leur séparation d'un Stock de déchets, permet de les récupérer même s'ils ne sont pas triés à la source Et quel que soit le mode de traitement de ces déchets, hormis la mise en décharge sauvage.
- La grande quantité produite
- Un traitement de recyclage qui requiert des installations moins importantes que les hauts fourneaux utilisés pour le minerai. L'acier peut, en effet, être fabriqué

Indifféremment par les aciéries qui traitent le minerai par production de fonte ou par des aciéries électriques, qui traitent les ferrailles à recycler. Cette dernière est plus économique elle consomme trois fois moins d'énergie que la filière dite de conversion exclusivement réservée aux ferrailles, elle n'utilise pas de minerai et consomme beaucoup moins d'eau.



Figure II-6 : station broyeur pour la ferraille

Traitement recyclage :L'acier est recyclable à l'infini, d'ailleurs en France, 40% de la production d'acier s'effectue à partir des ferrailles récupérées. Ces dernières sont fondues dans un four électrique Cuve garnie de réfractaires dans laquelle sont plongées des électrodes. La chaleur dégagée par l'arc électrique (1600 C°) fait fondre la ferraille.

L'acier liquide est récupéré à la sortie du four, et utilisé dans les mêmes conditions que l'acier Produit à partir de minerai. L'acier recyclé représente des avantages et des économies Substantielles : chaque Tonne d'acier recyclé représente une économie de 1,5 tonne de minerai de fer 0, 5 Tonnes de coke, et utilise 40% d'eau (pour le lavage des fumées) par rapport à l'acier issu du minerai. [8]

II.2.2. Valorisation énergétique :

La valorisation énergétique consiste à récupérer et à valoriser l'énergie produite lors du traitement des déchets sous forme de chaleur, d'électricité, de carburant. On peut distinguer deux sortes de valorisation énergétique : la valorisation par traitement thermique (incinération, Co-incinération, pyrolyse et gazéification) et la valorisation du biogaz issu notamment des installations de stockage de déchets non dangereux et de la méthanisation des déchets organiques. [9]

II.2.2.1.L'incinération :

L'incinération avec récupération d'énergie consiste à transformer en vapeur sous pression la chaleur dégagée par la combustion des déchets, vapeur qui est ensuite détendue dans un turbo-alternateur produisant de l'électricité et, lorsque cela est possible, utilisée pour alimenter un réseau de chaleur urbain ou des industriels avoisinants. Le statut d'opération de valorisation énergétique n'est accordé qu'aux incinérateurs atteignant une performance énergétique minimum. La France dispose actuellement d'un parc de 127 installations d'incinération de déchets ménagers, dont 97% en capacité produisent de l'énergie. [10]

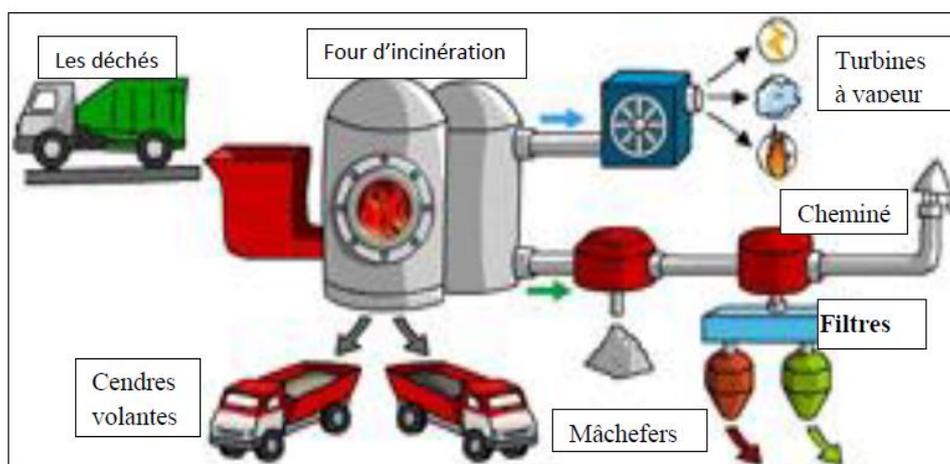


Figure II-7 : Usine d'incinération.

L'incinération fait l'objet d'une surveillance et d'un encadrement par la réglementation qui prévient ses effets sur l'environnement. Cette dernière encadre le traitement des fumées et des

résidus de traitement. Elle impose notamment le respect de valeurs limites d'émission extrêmement strictes pour les principaux polluants libérés par les déchets. [10]

II.2.3. Valorisation organique :

La valorisation organique désigne l'ensemble des modes de gestion et de valorisation des déchets biodégradables (déchets alimentaires, déchets verts, boues urbaines, boues industrielles, déchets des industries agro-alimentaires, déchets agricoles...). les déchets biodégradables peuvent être valorisés via 2 grands modes de traitement : le compostage et la méthanisation.

II.2.3.1. Le compostage :

Le compostage est un procédé de traitement aérobique (en présence d'oxygène) des déchets fermentescibles par les micro-organismes, dans des conditions contrôlées. Il produit du gaz carbonique, de la chaleur et un résidu organique stable (faible potentiel de biodégradabilité), riche en composés humiques. Il ya plusieurs techniques de compostage :

- **Le compostage individuel :**

Il caractérise l'ensemble des techniques mises en œuvre par les particuliers pour traiter à domicile leurs déchets organiques (compostage en tas, en bacs, lombricompostage). Les déchets verts représentent la plus grande part des déchets biodégradables gérés à domicile, soit entre 4,5 et 5 millions de tonnes.

- **Le compostage partagé :**

Il s'agit du compostage de quartier réalisé à proximité des immeubles. Les apports de matières à composter sont effectués directement par les habitants dans un composteur dédié.

- **Le compostage industriel :**

Le compostage industriel désigne la valorisation des déchets fermentescibles à grande échelle.

Ce type de compostage s'effectue en plusieurs étapes :

1. **Préparation des déchets :** Il peut s'agir d'un tri, d'un broyage, d'un criblage et d'un mélange des déchets afin d'obtenir une composition optimale pour les transformations biologiques.
2. **Fermentation :** C'est lors de cette étape que commence le processus biologique de transformation des déchets en compost. Les matières fermentescibles placées en andain ou en tas sont retournées, ventilées et arrosées pour activer le processus de dégradation. La montée en température lors de cette phase assure l'hygiénisation des matières.

3. **Criblage** : Cette étape peut précéder ou succéder l'étape de maturation, elle permet d'éliminer les éléments indésirables et d'atteindre la granulométrie souhaitée en fonction de l'utilisation prévue pour le compost.
4. **Maturation et stockage** : Cette étape doit permettre de stabiliser le produit et de fournir un fertilisant dont les caractéristiques agronomiques sont fixées.
5. **Le tri-compostage** : Le tri-compostage fait partie des Traitements Mécano-Biologiques (TMB). Il associe à la fois des opérations mécaniques (visant à séparer les matières fermentescibles valorisables des éléments inertes ou indésirables à éliminer) et une opération de compostage telle que décrite précédemment. Les installations de tri-compostage sont conçues pour produire du compost à partir de la fraction fermentescible des Ordures Ménagères Résiduelles (OMR). Elles permettent également d'extraire des OMR des matériaux recyclables non captés par les collectes sélectives (métaux ferreux et non ferreux...) ou de produire des CSR à partir des refus de tri. [11]

II.2.3.2. La Méthanisation :

La méthanisation est un processus de décomposition de la matière organique contenue dans les déchets biodégradables en milieu anaérobie (c'est-à-dire en absence d'oxygène), ou fermentation méthanique, qui transforme la matière organique en compost, méthane et gaz carbonique par un écosystème microbien complexe fonctionnant en absence d'oxygène. La méthanisation permet d'éliminer la pollution organique tout en consommant peu d'énergie, en produisant peu de boues et en générant une énergie renouvelable le biogaz. [12]

Il peut être utilisé en :

- Cogénération : production d'électricité et de chaleur.
- Injection dans un réseau de gaz (bio méthane).
- Chaudière pour les besoins de l'usine.
- Un traitement de finition aérobie du résiduel et de l'azote est souvent nécessaire pour le rejet dans le milieu naturel. [13]

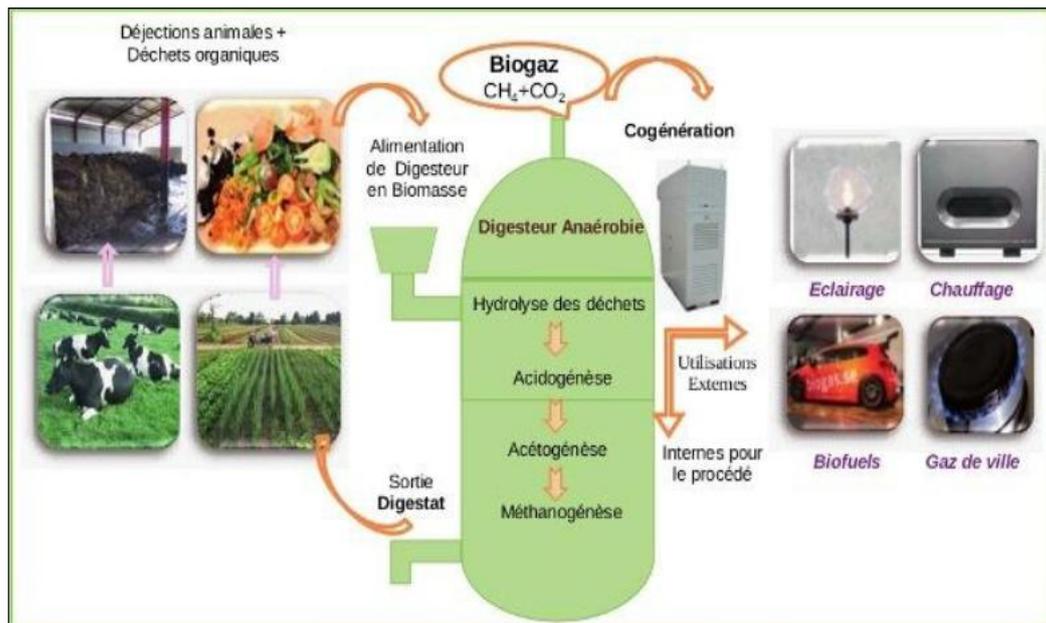


Figure II-8 : schéma d'une unité de production de biogaz

II.3. Situation actuelle sur la valorisation énergétique dans l'Algérie :

Les déchets solides urbains résultent de la consommation des ménages, des établissements publics (écoles, hôpitaux, etc.), locaux commerciaux et des entreprises. Les quantités de déchets produites varient d'une ville à l'autre dans les pays en voie de développement en fonction de plusieurs facteurs, dont le plus essentiel reste la croissance démographique. À titre d'illustration, durant l'année 2007, l'établissement Net Com a procédé à la collecte de 763 382 tonnes de déchets (ordures ménagères et assimilées) au niveau des 28 communes de la wilaya d'Alger pour lesquelles il assure la prestation. Il est à souligner que les villes du littoral algérien, plus denses en population génèrent des quantités de déchets nettement supérieures à celles des Hauts Plateaux et du Grand Sud. Quant à la capitale, elle a produit plus de 0,87 million de tonnes en 2008. Une dizaine de villes émettent entre 200 et 300 000 tonnes de déchets solides municipaux (DSM) par an : c'est le cas notamment des principales villes comme Oran à l'Ouest, Constantine à l'Est et TiziOuzou au Centre. Une vingtaine de villes moyennes produisent entre 100 et 190 000 tonnes par an. Enfin, quelques villes produisent des quantités de DSM inférieures à 50 000 tonnes par an ; celles-ci sont généralement concentrées dans le Grand Sud (Sahara) et sont caractérisées par de faibles densités de population selon le RGHP de 2008. [14]

II.3.1. Production des déchets solides urbains :

En Algérie, les ordures ménagères (O.M) représentent 67 % des DMA en 2007. Les quantités sont passées de 2.25 millions de tonnes en 1980 à 7.68 millions de tonnes en 2000, pour

dépasser le seuil des 12 millions de tonnes en 2007. Le ratio annuel par habitant est passé de 130 kg/hab en 1980 à 167 kg/hab en 2000, pour atteindre 266 kg/hab en 2007. Le tableau suivant montre une évolution des ratios d'émission des DMA.

Année	1997	2000	2002	2005	2007
Population RGPH (milliers)	29.04	30.46	31.38	32.85	34.4
Ordures ménagères en Kg/Hab.	157	167	179	220	266
Emission totale des DMA en Kg/Hab.	266	281	299	360	393

Tableau II-1 : Évolution des ratios d'émission des DMA

Le flux des déchets est un mélange hétérogène de produits et matériaux dont la composition varie avec ses sources de génération, aussi bien avec la classification socio-économique en 2007. Dans les villes des pays en voie de développement, cette composition reste dominée par les déchets organiques d'origine alimentaire. Elle est de

56 % à Abuja(Nigéria) et de 45.3 % à Allahbad (Inde) Le graphique suivant fournit des données sur la composition des déchets solides produits en Algérie. Les principaux composants sont : les résidus alimentaires (organiques) avec un taux moyen de 72 %, plastique 10 %, papier/carton 9.3 %, verre 1.36 %, métaux 3.2 % et chiffons/autres 4.14 %. Cette composition reflète le mode de consommation des ménages algériens qui est basée dans une grande partie sur les produits frais (fruits et légumes) conjuguée à l'absence de tradition de produits de conserves. Le plastique est le second composant d'une poubelle-type algérienne, résultant des produits emballés dans des bouteilles de plastique, notamment les huiles, le lait et les boissons diverses (boissons gazeuses, eaux minérales et autres) et le sachet en plastique, emballage privilégié remplaçant le couffin traditionnel.[14]

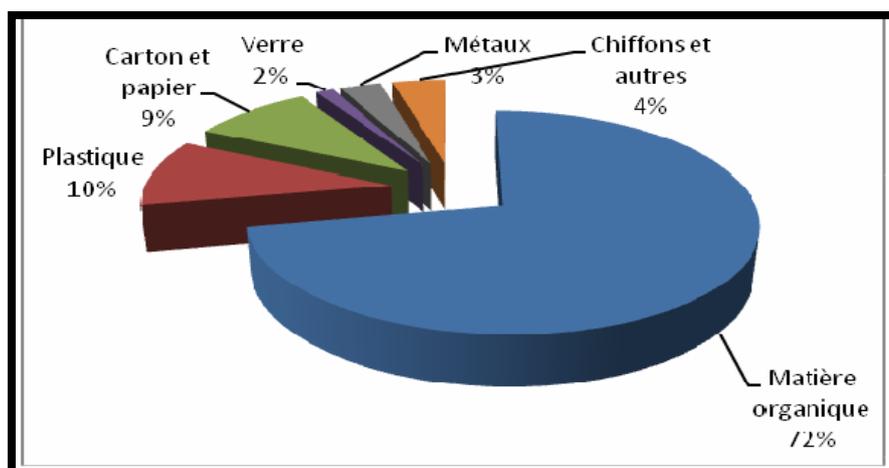


Figure II-9 : Graphe montre la répartition de la composition des déchets ménagers en Algérie

Les déchets de papier et carton sont issus des journaux, tétra-briks de boissons diverses, emballages en carton de marché en gros et demi-gros et de la fourniture scolaire et administrative (cahier, papier, etc.).

S'agissant de métaux ferreux et non ferreux (cuivre, aluminium), ils proviennent d'une grande majorité des cannettes de boissons et de vieux matériels. Le verre est issu des bouteilles de boissons notamment alcoolisés et de résidus des travaux de vitrage. Le cas des bouteilles de verre consignées est très illustratif : la pratique de la consigne ayant fortement régressée devant l'usage du plastique, les bouteilles en verre sont systématiquement rejetées dans les bacs à ordures ou carrément dans la nature. Cependant, le nombre de bouteilles en circulation demeure encore relativement élevé dans les circuits commerciaux algériens, surtout pour les boissons gazeuses, infléchissant ainsi au moins partiellement la quantité de déchets d'emballage qui devrait être potentiellement produite. Toujours dans une faible proportion, les autres types de déchets produits sont constitués de matières textiles et de bois et dérivés.

Cependant, la composition des déchets peut varier largement tant géographiquement que temporellement. Ainsi, le schéma directeur de la gestion des déchets solides urbains de l'agglomération de Constantine à l'Est du pays montre que la composition des ordures ménagères au sein de ses cinq communes est presque identique. [14]

Composant	Constantine	El-Kharoub	Hamma Bouziane	DidoucheMourad	Ain Smara
Matièreorganique	70%	74%	70%	69%	74%
Plastique	13%	10%	12%	12%	10%
Carton et papier	11%	9%	10%	8%	9%
Verre	2%	0,5%	1%	1%	1%
Métaux	3%	4%	3%	4%	2%
Chiffons etautres	1%	2,5%	4%	6%	4%

Tableau II.2 : Composition des ordures ménagères

Avec l'apparition de nouvelles habitudes de consommation des populations, l'ensemble des villes algériennes doit faire face au phénomène d'une brusque augmentation des quantités de déchets produites, l'on s'interroge alors sur les paramètres pouvant aller dans le sens de l'amélioration de l'efficacité de la politique de gestion intégrée des déchets prônée par les pouvoirs publics algériens.[14]

II.4. Situation actuelle sur la valorisation énergétique dans le monde :

En 40 ans (de 1960 à 2002), la production annuelle d'ordures ménagères en provenance stricte des ménages français a doublé pour atteindre 359 kg/hab/an en 2002. Depuis, elle connaît un léger recul et se situe à 353 kg/hab/an en 2004. A noter que la production française de déchets qui comprend les déchets des ménages, des entreprises, des industries, des collectivités, des activités de soins, de l'agriculture et de la sylviculture, s'élève à 849 million de tonnes en 2004.

Les déchets et leur gestion (collecte, recyclage, valorisation et élimination) représentent ainsi un enjeu majeur pour l'Etat et les collectivités depuis le début des années 90, lorsque la production de déchets a fortement augmenté. Outre les quantités importantes de déchets produites, la complexité de leur composition ainsi que les rejets issus de leur traitement peuvent se révéler préjudiciables pour l'environnement. En effet, de nouveaux éléments, généralement d'origine synthétique et difficile à éliminer, entrent dans la composition de produits de consommation, futurs déchets. A noter qu'avec une production de déchets urbains de 560 kg/personne en 2003, la France est proche de la moyenne de l'Europe occidentale (580 kg/personne). [15]

Pays	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Autriche	437	516	532	533	563	579	577	611	612
Belgique	443	440	474	470	475	483	461	461	446
Danemark	566	618	587	593	626	664	660	667	675
Finlande	413	410	447	466	484	503	465	456	450
France	500	509	516	523	526	537	544	555	560
Allemagne	533	542	556	546	605	609	600	640	638
Grèce	306	344	372	388	405	421	430	436	441
Irlande	513	523	545	554	576	598	700	695	735
Italie	451	452	463	466	492	502	510	519	520
Luxembourg	585	582	600	623	644	651	648	653	658
Pays-Bas	548	562	588	591	597	614	610	613	598
Portugal	391	404	410	428	432	447	462	454	461
Espagne	469	493	513	526	570	587	590	587	616
Suède	379	397	416	430	428	428	442	468	470
Royaume-Uni	433	510	531	541	569	576	590	599	610
Islande	914	933	949	967	975	993	1011	1032	1049
Norvège	624	630	617	645	594	613	634	675	695
Europe occidentale	476	499	513	518	546	556	560	575	580

Tableau II-3 : production de déchets urbains en Europe occidentale en Kg /Hab.

II.4.1. La composition des déchets :

La nature des éléments entrant dans la composition des déchets est à prendre en considération lorsqu'ils 'agit d'évaluer la nocivité des déchets et par conséquent leur incidence sur l'environnement. Les DIS, les DTQD et les Déchets Ménagers Spéciaux (DMS), du fait de leur composition (mercure, ammoniac, plomb, cadmium, solvants, métaux lourds, etc) peuvent ainsi se révéler dangereux pour l'environnement et toxiques pour la santé humaine.

A noter que les DTQD ont la particularité d'être produits en petites quantités. Il s'agit de solvants, d'acides, de sels métalliques, de produits chimiques de laboratoire, de produits phytosanitaires périmés et leurs emballages, de produits de nettoyage, d'encre, de peintures, de bains photographiques, de piles, de médicaments... Parmi les producteurs, on trouve les ménages, les commerces, l'artisanat, l'agriculture, les PME/PMI, les établissements d'enseignement, les professions médicales et les laboratoires. Ces éléments toxiques ou dangereux peuvent être de nature organique (solvants, hydrocarbures...) ou minérale (acides, bains de traitement de surface, sables de fonderies, boues d'hydroxy des métalliques...). Ces déchets dangereux doivent donc faire l'objet d'une gestion spécifique et rigoureuse puisqu'une élimination non conforme présenterait un risque pour l'homme et l'environnement. Ainsi, rejetés à l'égout, ces déchets pourraient perturber le fonctionnement des stations d'épuration et générerait alors des surcoûts de traitement ou des pollutions du milieu naturel. De plus, s'ils sont mélangés à d'autres déchets, ils se retrouvent en centre de stockage de classe 2 ou en usine d'incinération d'ordures ménagères et leurs éléments toxiques peuvent alors contaminer le sol, l'air et l'eau. Enfin, brûlés à l'air libre, certains déchets dégagent des composés qui polluent l'atmosphère et sont nocifs pour la santé. [15]

II.5. Conclusion :

La valorisation énergétique des déchets peut être une partie de la solution optimale. Il est difficile de donner des estimations précises des économies globalement réalisées étant donné la grande diversité des technologies et du pouvoir calorifique des déchets traités. On peut considérer que l'énergie issue de l'incinération joue un rôle sensible et très important dans notre approvisionnement énergétique. En respectant bien sur quelques ordres de grandeur.

Dans le chapitre suivant nous nous intéresserons à la méthanisation.

Chapitre III :
La méthanisation de déchets

III.1. Introduction :

De nos jours, avec la chute de la production de pétrole, développer les énergies renouvelables semble indispensable. La méthanisation, ou digestion anaérobie, est un écosystème fonctionnant en l'absence d'oxygène qui permet de transformer de la matière organique en compost, gaz carbonique et méthane, cette réaction présente de nombreux avantages, notamment la production d'une énergie biologique et renouvelable, le biogaz.

Dans un premier temps nous verrons de quelle façon se crée le biogaz, puis nous nous intéresseront à une unité de méthanisation et enfin nous verrons les valorisations du biogaz [16]

III.2. Définition :

La méthanisation (ou fermentation anaérobie) est un procédé biologique permettant de valoriser des matières organiques en produisant du biogaz qui est source d'énergie renouvelable et un digestat utilisé comme fertilisant. La production de biogaz s'effectue dans l'environnement de façon naturelle (ex. le gaz de marais – lieu de décomposition de matières végétales et animales où l'on peut observer la formation des bulles à la surface de l'eau.). En l'absence de l'oxygène (digestion anaérobie), la matière organique est dégradée partiellement par l'action combinée de plusieurs types de micro-organismes. Une suite de réactions biologiques conduit à la formation du biogaz et d'un digestat. Les bactéries qui réalisent ces réactions se trouvent à l'état naturel dans le lisier et dans les écosystèmes anaérobies il n'est pas nécessaire d'en ajouter, elles se développent naturellement dans un milieu sans oxygène. [17]

La méthanisation s'opère en trois étapes principales :

III.2.1. L'hydrolyse :

Cette phase concerne la dégradation de molécules organiques complexes en monomères. Les composés tels que les polysaccharides (comme la cellulose), les protéines, les lipides sont hydrolysés en sucres simples, en acides aminés et en glycérol et acides gras respectivement. Cette transformation est assurée par des enzymes extracellulaires. La plupart des molécules solubles sont facilement hydrolysables. Mais cette étape peut s'avérer délicate dans le cas des composés peu solubles ou solides, comme c'est le cas pour les déchets.

III.2.2.L'acidogènes :

Cette phase, également appelée phase fermentative, transforme les différents monomères issus de l'hydrolyse en acides organiques à courte chaîne (2 à 6 carbones) ; les principaux acides produits sont l'acide acétique, l'acide propionique et l'acide butyrique. Comme son nom le suggère, la phase d'acidogénèse se traduit donc souvent par une acidification du milieu. Elle est généralement rapide en raison du fort taux de croissance des bactéries mises en jeu. D'autres coproduits sont également générés comme le dioxyde de carbone et l'hydrogène, ainsi que de l'azote ammoniacal (sous forme NH_4^+ ou NH_3) dans le cas de l'hydrolyse des protéines.

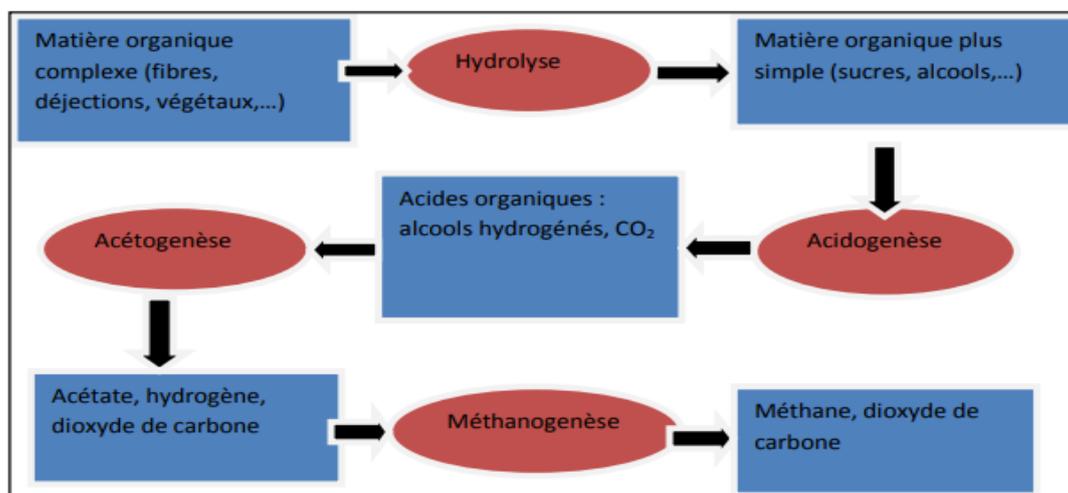


Figure III-1: Les différentes étapes de la méthanisation.

III.2.3.L'acétogénèse :

L'étape d'acétogénèse recouvre la transformation d'un petit nombre de composés simples en acétate, bicarbonate et hydrogène. Les bactéries qui réalisent cette étape sont désignées comme les bactéries productrices obligées d'hydrogène (OHPA, Obligate Hydrogen Producing Bacteria). Cependant, l'accumulation d'hydrogène bloque leur développement, et il doit être éliminé. Cette élimination est réalisée soit par les bactéries méthanogènes consommant l'hydrogène, soit par les bactéries sulfato-réductrices (réduction des sulfates en sulfures). Le groupe des bactéries acétogène est souvent désigné sous le nom de bactéries syntrophes (de *syn*: ensemble et *trophein*: manger), parce qu'elles fournissent à leurs partenaires métaboliques leur source de carbone ou leur énergie (hydrogène, bicarbonate ou acétate). Les relations de syntrophie entre les espèces sont souvent considérées comme une clef de voûte de la réaction. Ces organismes ont une production exclusive d'acétate, soit à partir du bicarbonate et de l'hydrogène, soit en hydrolysant des composés à chaîne plus

longue. Elles contribuent à la régulation de l'hydrogène dans le milieu, notamment en utilisant l'hydrogène des bactéries productrices obligées.

III.2.4. La méthanogénèse :

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

1- De réduction du CO₂ : $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$ (environ 30% de méthane produit). (1)

2- De décarboxylation de l'acide acétique : $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{CO}_3$ (environ 70% de méthane produit). (2)

C'est le processus de méthanisation qui se résume en quatre grandes phases se déroulant en même temps dans le méthaniseur : l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse. Celui-ci doit être régulièrement contrôlé, car de nombreux paramètres doivent être réunis pour assurer une transformation optimale de la matière organique (température, pH, taux de charge organique, nutriments, mixage...) un équilibre doit être maintenu continuellement par l'exploitant au sein de cette chaîne de dégradation. [18]

III.3. Paramètres physico-chimiques de la méthanisation :

Plusieurs paramètres doivent être contrôlés pour le déroulement optimal de la méthanisation, et un suivi continu de ces paramètres est nécessaire pour maintenir la stabilité du processus et des qualités et quantités de biogaz et de digestat produits.

III.3.1. Le substrat :

Le type et la composition du substrat influencent directement sur le rendement et la composition de biogaz. Un produit organique ne pourra donc fournir plus que sa composition ne le permette. La biodégradabilité diffère d'un substrat à un autre, et influence directement le potentiel de production de gaz.

Substrat	Biodégradabilité% de MO	Volume m ³ /kg de MO
Lisier volaille	80	0.40
Lisier de bovin	70	0.35

Tableau III-1. La biodégradabilité théorique des lisiers

Par ailleurs, selon la qualité du substrat, le gaz obtenu sera plus ou moins riche en sulfure d'hydrogène (H₂S), mélangé à l'eau et au dioxyde de carbone, rend le biogaz beaucoup plus corrosif, nécessitant pour certaines utilisations un système de traitement et d'épuration du gaz

TYPE de substrat	Proportion de H ₂ S dans le biogaz
Fumier de bovin	Moins de 0.3%
Fientes de volaille	Proche de 1 %

Tableau III-2. Proportion de H₂S selon le type de substrat.

III.3.2. la Température :

La vie des bactéries dans le digesteur dépend rigoureusement de la température. Elle agit sur la vitesse de dégradation des substrats et de production de méthane. Dans la pratique, on distingue trois types de digestion associée à 3 familles de bactéries :

1. **Psychrophile à basse température 5°C-25°C** : utilisée normalement dans les méthaniseurs fonctionnant à la température ambiante. Cette technique exige des longs temps de rétention, et c'est pourquoi elle n'est plus utilisée en Europe.
2. **Mésophile à moyenne température 25°C-38°C** : la plupart des digesteurs anaérobies européens opèrent dans cette gamme de température.
3. **Thermophile à haute température au dessus de 50 °C jusqu'à 70 °C** : cette technique est moins utilisée en raison des besoins énergétiques importants pour maintenir la température dans le méthaniseur. Toutefois, l'intensité de l'activité des micro-organismes, dépend de la production de méthane, est en fonction de la température du milieu dans la plage de température comprise entre 23 °C et 40 °C, on considère généralement que la production augmente de 5% lorsque la température croît de 1 °C . Deux plages thermiques distinctes conditionnant la digestion ont été identifiées : la digestion optimale intervient autour de 25 °C (mésophile) et 55°C (thermophile).[18]

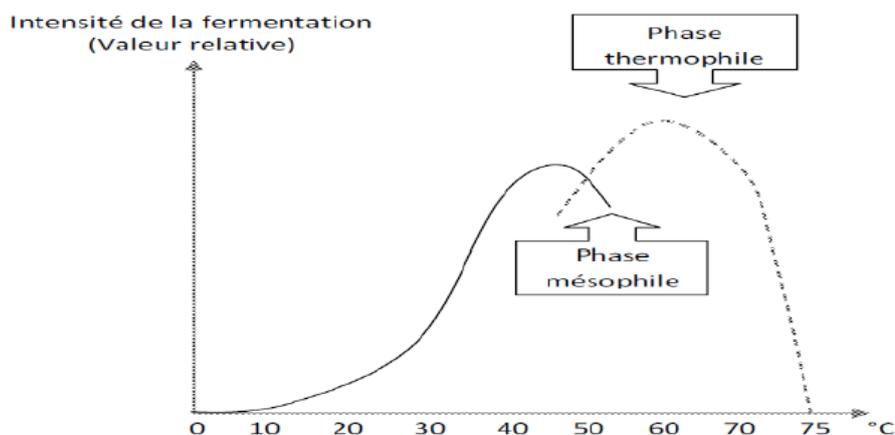


Figure III.2. Intensité de la fermentation en fonction de la température

Cette sensibilité à la température peut être due aux effets sur les bactéries méthanogènes, qui ont montré leur similitude d'adaptation pour ces deux gammes.

L'activité microbienne étant plus intense à certaines températures, donc on comprend que pour la même masse à digérer, la durée sera d'autant plus courte que la fermentation sera intense. La figure suivante présente la cinétique de production de gaz en fonction de la température.[18]

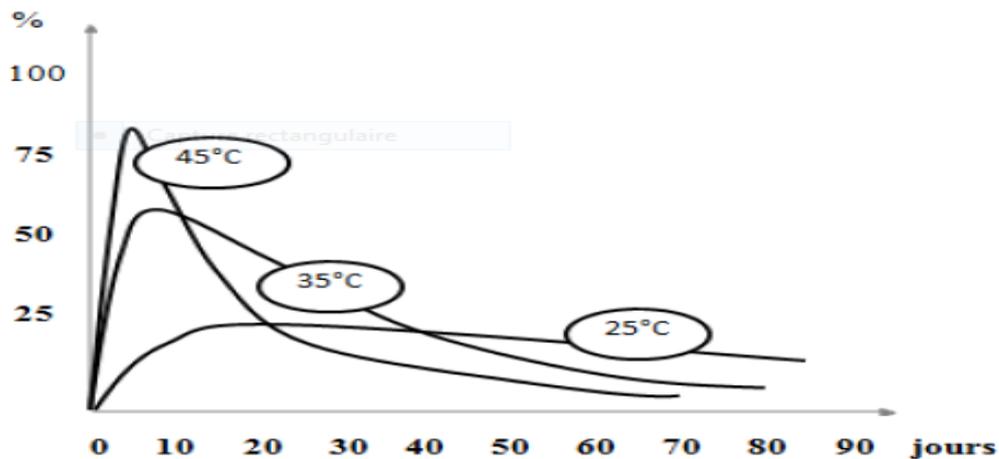


Figure III.3. Production de biogaz en fonction de la température et du temps de Séjour

III.3.3. le Potentiel hydrogène pH :

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

III.3.4. Le rapport C/N :

Les composants du stock nutritionnel sont utilisés sélectivement par différentes bactéries présentes dans le digesteur. Cela est spécialement vrai pour différents rapports entre matière organique et azotée. Les bactéries ont besoin d'un rapport C/N convenable pour leur métabolisme. Un rapport C/N de 30 est fréquemment cité comme optimal. 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, mélanges de papier et fumier, et d'autres substrats cellulosiques.

III.3.5. L'humidité :

Pour toute activité biologique, la présence d'eau est indispensable. L'humidité minimale doit être de 60 % à 70 %, eau liée ou libre. Dans le cas de produits plus secs, litière de volaille, par exemple, une humidification plus ou moins importante, doit être effectuée selon la nature du produit.

III.3.6. le Pouvoir calorifique :

Le pouvoir calorifique des ordures ménagères, quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids d'ordures brutes, s'exprime en millithermies par kilogramme d'ordures (ou en kJ/kg, 1kj = 0,239 millithermies). Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) suppose que la valeur d'eau formée est revenue à son état initial, c'est-à-dire qu'elle a été condensée en restituant la chaleur de vaporisation. Dans les installations industrielles, la vapeur d'eau formée s'échappe avec les gaz de combustion par la cheminée. La chaleur de vaporisation n'est donc pas restituée et le pouvoir calorifique que l'on constate est le pouvoir calorifique inférieur (PCI). C'est donc le PCI qui caractérise l'aptitude des ordures à être incinérées. Cette caractéristique influe sur le dimensionnement des fours d'incinération, et permet de déduire les quantités de chaleur correspondant aux tonnages collectés. Ces quantités de chaleurs multipliées par le rendement thermique de groupe four-chaudière (qui peut varier de 60 à 80%) donneront l'énergie récupérable , c'est-à-dire l'énergie maximale susceptible d'être vendue. Les PCI tendent généralement à augmenter, ce qui est due principalement à l'augmentation de la proportion de cellulose et de matière plastique dont les pouvoir calorifiques sont très élevés : de l'ordre de 4000 mth/kg pour la cellulose et de 8000 à 10000 mth/kg pour les matières plastiques.[18]

III.4. Les Techniques de méthanisation :

Il existe plusieurs Technique de méthanisation :

1. **Méthanisation des déchets solides** : La méthanisation des déchets solides s'applique à la plupart des déchets organiques. Cette technique s'applique à la fraction fermentescible des déchets qui doit être triée et recueillie par une collecte séparative, avant d'être méthanisée. Selon la provenance, on distingue différents types de déchets :

-Municipaux : déchets alimentaires, journaux, emballages, textiles, déchets verts, sous-produits de l'assainissement urbain.

-Industriels : boues des industries agro-alimentaires, déchets de transformation des industries végétales et animales, fraction fermentescible des déchets industriels banals (DIB).

-Agricoles : déjections d'animaux, substrats végétaux solides, bois déchiquetés.

-Littoraux : algues vertes.

On parle généralement de méthanisation solide lorsque les déchets à digérer ont un taux de matière sèche au-dessus de 15 à 20 %.[19]

2. Méthanisation d'effluents liquides : La méthanisation permet de traiter les effluents liquides, même lorsqu'ils sont chargés en matière en suspension. C'est par exemple le cas des effluents d'élevage (lisiers), et des boues de stations d'épuration (STEP) (souvent des boues mixtes qui rassemblent les boues primaires et les boues biologiques). La méthanisation est également largement appliquée aux traitements des effluents agro-alimentaires. Ces matières de base dont on dispose en général de façon régulière peuvent être complétées de divers déchets organiques, et en particulier de graisses dont le pouvoir méthanogène est fort (issues par exemple d'abattoirs, ou du prétraitement des stations d'épuration). L'état liquide du mélange permet un brassage pour obtenir une bonne homogénéité de la matière et de la température. la méthanisation des effluents s'est appuyée sur le développement des procédés intensifs dans lesquels la biomasse anaérobie est structurée. [19]

3.Méthanisation mixte (de déchets liquides et solides) : Des expériences ou tentatives de mutualisation de méthaniser existent pour, par exemple, co-méthaniser des déchets organiques classiques (issus des ordures ménagères résiduelles et des bios déchets) et des boues de station d'épuration, comme l'envisagent, en région parisienne, les syndicats d'assainissement (Siaap) et des déchets (Sycotm) à horizon 2018 (projet de 90 millions d'euros).[19]

III.5. Le biogaz :

Le biogaz est le gaz produit par la fermentation de matières organiques en l'absence d'oxygène. Au cœur de la transition énergétique et de l'économie circulaire, il est aussi source d'emplois locaux 1,2. La méthanisation se produit spontanément (dans les marais, les rizières, les grands réservoirs ou barrages hydroélectriques tropicaux³, les décharges contenant des déchets ou matières organiques (animales, végétales, fongiques ou bactériennes). On peut la provoquer artificiellement dans des digesteurs (en particulier pour traiter des boues

d'épuration, des déchets organiques industriels ou agricoles, etc.). Le biogaz est principalement composé de méthane (50 à 70 %), mais aussi de dioxyde de carbone (CO₂) et de quantités variables de vapeur d'eau, et de sulfure d'hydrogène (H₂S).[20]

III.5.1. Les Applications de biogaz :

Selon la source de matière organique utilisée la production de biogaz va varier tant en volume de biogaz produit qu'en teneur en méthane et les formes utiles d'énergie :

- **Gaz naturel renouvelable (bio méthane) :** Après un processus d'épuration du biogaz, vous pouvez exploiter le bio méthane de façon à ce qu'il puisse alimenter le réseau public de gaz naturel ou l'utiliser comme carburant automobile.
- **En chaleur :** Le biogaz peut être directement utilisé dans une chaudière, four, ... pour produire une énergie thermique sous forme d'eau chaude, de vapeur ou d'air chaud pour le séchage ou le chauffage.
- **En électrique :** Le biogaz peut alimenter une unité de cogénération (moteur à gaz ou turbine), qui produit simultanément deux types d'énergies directement utilisables : l'énergie électrique et l'énergie thermique.

L'utilisation de biogaz peut également alimenter une unité de tri génération pour produire simultanément trois types d'énergies : la chaleur, l'électricité et le froid.

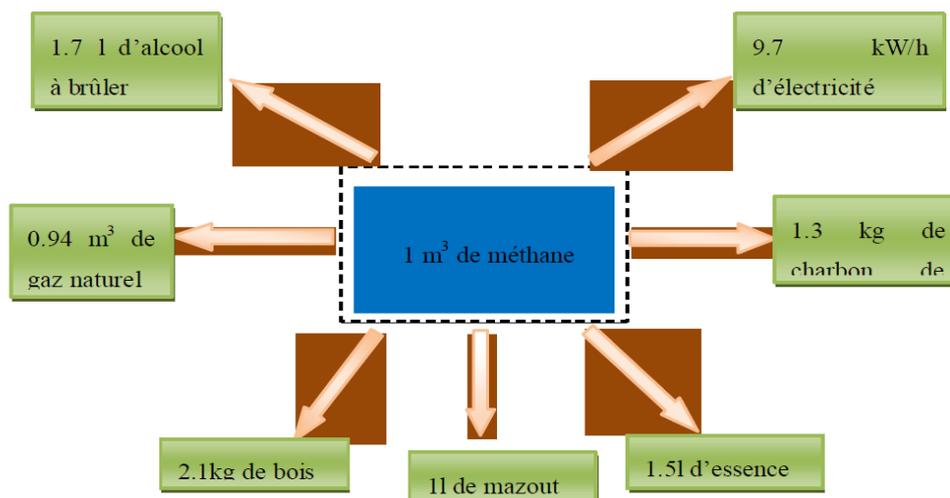


Figure III-4: Equivalence énergétique du biogaz

III.5.2. Les principaux usages actuels du biogaz :

Le biogaz est convertible en pratiquement toutes les formes utiles d'énergie, Certaines applications sont largement développées et l'offre industrielle et commerciale est solidement établie pour :

- L'utilisation directe en chaudière : production de chaleur, eau chaude ou de vapeur
- La production d'électricité
- La production combinée d'électricité et de chaleur par cogénération
- La production d'un gaz naturel après épuration
- La production du carburant automobile après épuration et compression.
- D'autres voies sont au stade de la recherche et développement : production d'hydrogène, pile à combustible, production de froid par absorption.[21]

III.6. Le digestat :

Le digestat est le produit résidu de la méthanisation, composé de matière organique non biodégradable, des matières minérales (azote, phosphore) et de l'eau. Ce digestat est stocké dans des fosses ou des dalles en béton. Le digestat est constitué de bactéries excédentaires, matières organiques non dégradées et matières minéralisées. Après traitement il peut être utilisé comme compost. [23]



Figure III-5 : Élimination des digestats



Figure III-6: Stockage des digestats sur une dalle en béton par centrifugation

III.6.1. Propriétés :

Odeurs inexistantes du fait de la digestion dans le méthaniseur des matières organiques responsables des nuisances olfactives
Germes pathogènes réduits grâce à l'hygénéisation
Valeur

amendante conservée car la fraction ligneuse contribuant à la formation d'humus n'est pas attaquée. Valeur fertilisante améliorée (l'azote se retrouve sous forme ammoniacale) plus facilement assimilable par les plantes. Cependant son état plus volatile, a des conséquences sur les modalités de stockage et d'épandage (enfouissement au printemps). Plus fluide que le lisier non traité, il pénètre plus rapidement dans le sol.

Le digestat peut subir un traitement de séparation de phase liquide/solide pour avoir une fraction solide riche en matière organique et en élément phosphaté qui se gère comme un amendement. Une fraction liquide contenant de l'azote ammoniacal et peu de matière organique, utilisable comme engrais liquide en remplacement des engrais minéraux azotés.[21]

III.6.2. Digesteur :

Un digesteur, aussi appelé réacteur à biogaz ou méthaniseur, désigne une cuve qui produit du biogaz grâce à un procédé de méthanisation des matières organiques. Il se présente sous la forme d'une fosse hermétique, dans laquelle sont déversées des eaux noires, des boues, et des composés organiques supplémentaires permettant de faciliter la digestion. Le gaz se forme dans les boues et remonte à la surface, mélangeant les boues par ce processus. Les boues digérées accumulées au fond, appelées digestat, peuvent être vidangées et utilisées comme engrais, les principales grandeurs qui caractérisent un réacteur de digestion anaérobie sont :

- **La charge volumique appliquée** : il s'agit de la quantité de DCO introduite dans le réacteur par jour et par unité de volume du réacteur. Elle permet de comparer la quantité de pollution traitée par différents types de réacteur.
- **Le temps de séjour hydraulique (TSH)** : correspond à la durée du contact entre l'effluent et la biomasse. Il représente le rapport entre le volume du réacteur et le débit d'alimentation. Le TSH permet de connaître le volume d'effluent qu'on peut traiter chaque jour dans le réacteur.
- **La quantité et la composition du gaz** : la quantité de gaz peut être rapportée à la quantité de matière organique éliminée (rendement) ou au volume du réacteur (productivité). La composition du gaz est variable selon l'état du réacteur.[22]

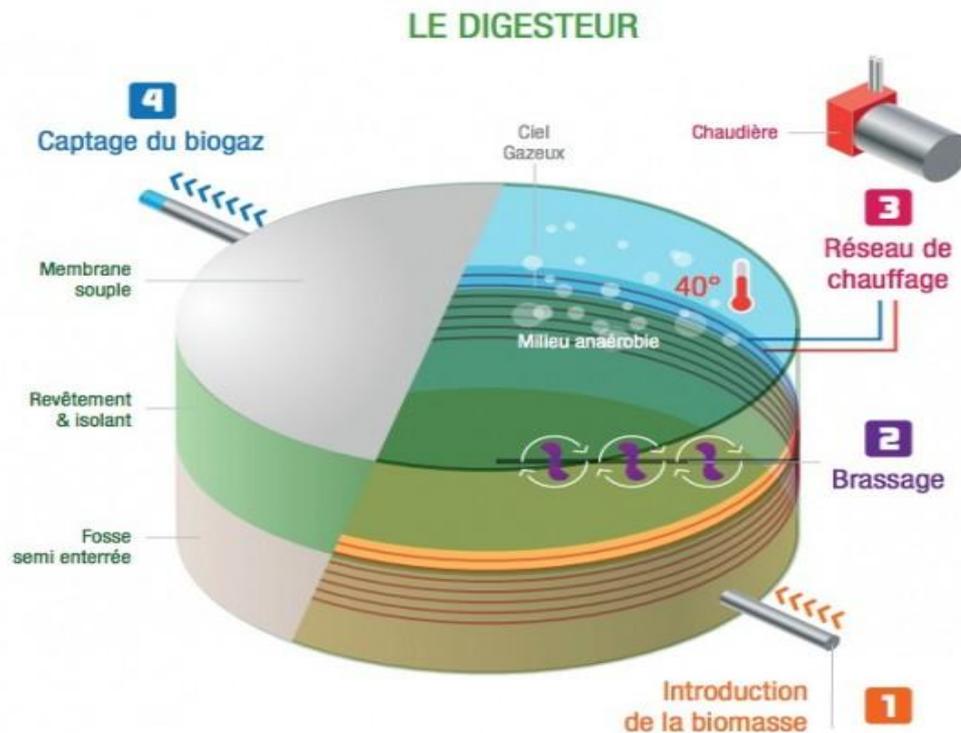


Figure III-7 : Schéma de principe du digesteur

III.6.3. Les technologies de conception d'un digesteur :

Le choix du type de réacteur à considérer dans un processus de digestion anaérobie dépend non seulement des caractéristiques de la charge à traiter (notamment de sa teneur en solide) mais aussi des contraintes technico-économiques relatives à la mise en œuvre de l'installation.

A l'heure actuelle, la classification des digesteurs permet de distinguer 3 grandes familles :

- les digesteurs discontinus.
- les digesteurs semi-continus conventionnels.
- les digesteurs continus.

La fermentation est dite continue lorsque le contenu du digesteur est renouvelé par portion, la fermentation est dite discontinue lorsque le digesteur est chargé en une seule fois et que la fermentation est prolongée jusqu'à épuisement des matières organiques.

1. Les digesteurs discontinus :

Ces digesteurs s'adaptent aux produits solides. Ils sont caractérisés par un fonctionnement par

- Une opération de chargement.
- La période de fermentation jusqu'à épuisement du substrat.
- Une opération de déchargement.

2. Les digesteurs semi-continus conventionnels :

Ces digesteurs s'adaptent à des effluents liquides ou solides à faible teneur en composés lignocellulosiques. Ils sont caractérisés par :

- Un chargement aléatoire en quantité et qualité.
- Une évacuation en continu.
- La nécessité de les arrêter pour les nettoyer.

Bien que la réalisation de ces digesteurs semi-continus présente une grande simplicité et une absence d'équipements mécaniques, ils ne sont pas performants et l'inconvénient majeur dans cette famille est que le temps de séjour hydraulique est long parfois plus de 100 jours.

3. Les digesteurs continus:

Cette famille comprend 4 principaux types de digesteurs

- Procédé à piston
- Procédé infiniment mélangé
- Cellule fixées ou lit fixé
- Procédé contact

Ces digesteurs sont caractérisés par une alimentation et une évacuation régulière des matières organiques. Ils sont plus particulièrement adaptés à des effluents liquides, excepté le procédé piston. Le procédé piston s'adapte à la fois aux effluents liquides et aux effluents solides.[24]

III.7. Compostage :

Le compostage est le recyclage des déchets organiques pour produire naturellement un fertilisant, le compost. 30% des déchets ménagers peuvent être compostés. Le compostage est à la fois écologique économique et pratique :

- Écologique : le compostage limite la quantité de déchets.
- Économique : le compost est un engrais naturel et gratuit.
- Pratique : il favorise et améliore la fertilité de votre jardin dans le temps.

III.7.1. Les clés d'un bon compostage :

Trois règles fondamentales du compostage : mélanger, aérer, humidifier. Comme suit :

- Bien mélanger : les déchets que vous voulez composter permettent de faire démarrer le processus de fermentation. Pour que la transformation s'opère, il faut à la fois des déchets secs (feuilles mortes, paille...), et des déchets humides (herbes, gazon...). Ne

dépassez pas 20 cm pour chaque couche de matière organique. Les deux premiers mois, le mélange doit être effectué toutes les deux semaines au minimum.

- **Aérer** : est important, car il apporte l'oxygénation nécessaire au mélange. L'apport d'oxygène est vital aux micro-organismes qui interviennent dans la transformation des déchets.
- **Humidifier** : il faut que le compost soit humide. S'il n'y a pas assez d'humidité, les micro-organismes meurent et la transformation s'arrête. Trop d'humidité entraîne un manque d'aération qui freine le processus.

III.7.2. Principe du compostage Trois procédés :

Le compostage est la valorisation des déchets par le biais d'une transformation naturelle à l'aide de micro-organismes. Plusieurs procédés sont utilisés pour fabriquer le compostage :

- **Le composteur**: le bac à compost ou le composteur rotatif.
- **Le bac à compost**: ou silo est plus propice aux petites surfaces. Le procédé est plus simple, car la protection des déchets permet au compost d'avoir une composition plus homogène. Il faut tout de même vérifier le compost à chaque fois que vous ajoutez des déchets.
- **Le composteur rotatif**: permet un mélange homogène des déchets. Plus simple d'utilisation, il vous garantit un compost bien aéré et bien mélangé. Il évite les mauvaises odeurs et tout cela dans un délai plus rapide (entre 1 et 2 mois).
- **Le lombricompostage** : est un autre procédé de valorisation. Les déchets sont placés dans un bac, appelé lombricomposteur, directement en contact avec les vers. Ils se nourrissent de ces déchets et leurs déjections forment le lombricompost.
- **Le compost entas**: au fond du jardin est utile pour les grandes surfaces. Le tas de déchets est à mélanger au fur et à mesure de l'apport de matière pour activer la fermentation. L'humidité naturelle et la surface permettent une meilleure aération et de fait, une meilleure oxygénation pour le compost. [25]

III.8. Le biogaz dans le monde :

La consommation mondiale de biogaz (souvent sous forme de bio-méthane) aurait progressé en moyenne de 3,5 % par an de 1965 à 2000, pendant que la demande globale en énergie primaire n'augmentait en moyenne "que" de 2,4 % par an. Il pourrait devenir un combustible non-fossile dominant au XXI^e siècle, comme l'a été le pétrole au siècle précédent et le charbon au XIX^e siècle.

III.8.1.En Europe :

Un rapport publié fin 2015 par l'EBA (European Biogas Association ou Association Européenne du Biogaz) révèle que les sites de production en biogaz ont nettement progressé comptabilisant 17 240 sites (+18% par rapport à 2013). L'EBA estime à 14,6 millions le nombre de foyers européens alimentés au biogaz. L'Allemagne est le leader européen sur le marché du biogaz. En 2016, pour l'injection de bio-méthane dans les réseaux, l'Allemagne devance largement les autres États-membres avec en 2016 déjà 165 unités injection de bio-méthane (10 TWh/a), devant la Grande-Bretagne (50 sites et 2 TWh/a), les Pays-Bas (25 sites et 0,9 TWh/a), loin devant la France. Le Danemark, l'Autriche, la Suède et la Suisse ont tous entre 10 et 20 sites de production fournissent de 130 à 360 GWh/an. La France a 19 sites et produit seulement 82 GWh/a. L'Espagne et l'Italie n'autorisent ou n'encouragent pas l'injection dans le réseau.

III.8.2.Allemagne :

Avec plus de 8000 installations dans le pays, le maïs est majoritairement utilisé (et critiqué, car l'assolement recule au profit de maïs-cultures intensives posant des problèmes écologiques d'érosion et dégradation des sols, de pollution due aux phosphates ou aux pesticides et de perte grave de la diversité biologique, à Triesdorf (Bavière) on recherche des plantes aptes à remplacer le maïs : parmi les herbacées le mauve de virginie et le silphium perfolié sont envisagés ; parmi les graminées, le panicaut érigé et le chiendent allongé issu de Sarvache en Hongrie. Ces plantes sauvages sont 20 % moins productives que le maïs et ne sont envisagées que comme complément à celui-ci. Depuis 2012 la loi allemande impose une certaine diversification des cultures (pour réduire la place du maïs).

III.8.3.France :

En France, la récupération du biogaz de décharge est obligatoire depuis l'arrêté du 9 septembre 1997 qui impose de chercher à valoriser énergétiquement ce biogaz (ou sinon à le détruire par torchage pour éviter les nuisances olfactives et l'impact environnemental du méthane sur le climat. En 2012 le gaz de décharge fournissait en France plus de 70% de la production d'énergie primaire issue du biogaz dans le pays, mais de nouvelles sources de biogaz se mettent en place. Un Atlas Bioénergie International (en France un atlas Biogaz) mettent à jour la carte des installations industrielles de production/valorisation de biogaz (sous forme d'électricité, de chaleur ou par injection directe dans les réseaux de gaz dans les pays francophones) : en 2012, 241 sites de production étaient recensés (publication 2013), en 2013,

ils étaient 848 (publication 2014), 578 en France, 200 en Flandre & Wallonie, 32 en Suisse, 25 au Canada francophone, 9 au Luxembourg, 3 à l'île Maurice et 3 en Tunisie. En 2014, la densité en installation est la plus élevée en Belgique et en Suisse. La France a accueilli le salon Biogaz Europe en mars 2015 à Nantes.

Selon le SER (Syndicat des énergies renouvelables) si tous les acteurs le voulaient, en 2030, 56 TWh de biogaz pourraient être tirés de la méthanisation de 130 millions de tonnes de matière brute (boues, effluents, déchets, cultures...) pour potentiellement fournir 100 % des besoins nationaux (400 à 550 TWh) en 2050. Pour cela les déchets méthanisés pourraient fournir 210 TWh, et la gazéification de biomasse 160 à 280 TWh de plus. 20 à 35 TWh pourraient venir de l'hydrogène-méthanation et 10 à 25 TWh de la fermentation de micro-algues. Fos-sur-Mer veut expérimenter l'approche Power-to-Gas, qui vise l'agilité énergétique par l'interconnexion en réseaux intelligents des ressources en gaz et électricité pour mieux passer de l'une à l'autre selon le besoin. La mobilité gaz pourrait aussi compléter la mobilité électrique (qui s'applique mal aux camions de livraison, camions-poubelles, bus). Parmi les facteurs favorisant figurent le tarif de rachat et/ou d'injection, une prolongation de contrats existants ; le SER propose aussi une exonération des consommateurs de bio-méthane de la contribution climat énergie ou de la taxe foncière pour les unités de méthanisation industrielle. Le bio-méthane porté pourrait aussi se développer. Au début 2018, la France ne compte que 48 sites de production de bio-méthane à partir de déchets agricoles, qui représentent l'essentiel de la production de gaz vert. Moins de 800 GWh ont été injectés dans le réseau de GRDF l'an dernier, contre plus de 10 TWh (13 fois plus) en Allemagne. Or les projets de nouveaux sites sont nombreux : GRDF en a recensé plus de 860, de quoi porter la production française à 8 TWh. Afin d'accélérer leur mise en service, le gouvernement dévoile en mars 2018 une simplification des procédures administratives pour les agriculteurs, les délais d'instruction des dossiers seront réduits de un an à six mois ; les sites de méthanisation

les plus modestes seront exemptés d'enquête publique et d'étude d'impact un guichet unique sera mis en place dans chaque département un tarif de rachat du gaz sera instauré pour les installations de taille moyenne à la place de l'appel d'offres en vigueur aujourd'hui une amélioration de la prise en charge des coûts de raccordement au réseau gazier est annoncée.

[26]

III.9. Avantages et inconvénients :

On a toujours l'habitude dans chaque sujet précis d'avoir connaître les avantages et les inconvénients :

1. Les avantages :

-Le méthane, représentant 50 à 80% du volume de biogaz produit, est utilisable comme source d'énergie

-Production d'une énergie renouvelable à partir de sous produits agricoles.

-Faibles rejets de méthane dans l'atmosphère (la combustion rejette seulement de l'eau et du CO₂ issu de la biomasse).

-Produire de l'électricité, avoir le chauffage, Production de bio fuel, et le gaz de ville.

2. Les inconvénients:

-Les installations coûtent excessivement chères.

-L'odeur du stockage des déchets. [27]

III.10. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la partie La méthanisation qui apporte déjà beaucoup à notre société en économisant de l'énergie, en la produisant et en mettant en œuvre des outils de dépollution très performants. Le fait que ce soit un processus naturel encourage son application. Son utilisation peut être facilement disséminée avec des technologies rustiques. En outre, la technologie des réacteurs permet de réduire les émissions de méthane sauvage en recyclant, de manière structurée, les déchets organiques vers notamment la production d'énergie. Le nombre d'installations progresse rapidement, ce qui contribuera à la diminution de la consommation de l'énergie, fossile. La méthanisation est souple d'utilisation et holistique grâce à la diversité des substrats possibles. Globalement, il ne peut y avoir aucun doute que la méthanisation est une technologie clé pour l'avenir de notre planète. Même si, à l'heure actuelle, l'attention est principalement orientée vers les itinéraires environnementaux (et complément d'énergie), le fait que ce processus est capable de convertir la matière organique en deux molécules de bases qui sont le CO₂ et le CH₄ est capital, techniquement et économiquement.

**Chapitre IV :
Étude des cas**

IV.1.Introduction :

Les origines de cette pollution urbaine sont diverses (activités domestiques et industrielles, circulation automobile), les déchets urbains ont une part importante dans la Pollution de notre environnement le plus proche. Les activités domestiques et industrielles engendrent une augmentation continue de la quantité des déchets solides domestiques qui se manifestent sous la forme de dépôts sauvages à travers les différents quartiers de la ville (Ain-Temouchent) ainsi que la décharge publique actuelle, ce qui a impliqué des risques de contamination de l'homme et de son environnement.[14]

Comme l'objectif principale de ce travail consiste à faire la méthanisation des déchets dans ce chapitre nous allons faire les différents statistiques de décharge de wilaya Ain t'émouchent et dimensionnement d'une station de méthanisation des déchets puis utilisation du biogaz pour la production de la chaleur donc on pourra économiser l'énergie fossile grâce à l'énergie renouvelable ainsi les gains l'argent.

IV.2. Présentation de la wilaya d'Ain T'émouchent :

IV.2.1.Définition :

La wilaya d'Ain T'émouchent est située entre les wilayas d'Oran, Tlemcen et Sidi BelAbbes. Sa superficie est d'environ 2 377 km² pour une population de 384565 habitants. 162 habitant /km² , Elle limitée à l'est par la wilaya d'Oran, au Sud-Est par la wilaya de Sidi-Bel-Abbès, au Sud-ouest par celle de Tlemcen, et au Nord-Ouest par la mer Méditerranée qu'elle borde sur une distance de 80 km environ. [28]



Figure IV -1 : Carte présentant la situation géographique de la wilaya d'Ain T'émouchent

IV.2.2. Situation géographique de la commune de Sidi Ben Adda :

Le centre d’enfouissement technique (C.E.T) se trouve à proximité du village de Sidi Ben Adda environ 1 km du tissu urbain, localisé à 4 km au Nord-Ouest de la ville d’Ain T’émouchent, latitude : 35° 18° 19° Nord et longitude : 1° 10 °53° Ouest. Cette commune s’étend sur 72.9 km2 et compte 14086 habitants.



Figure IV-2 : Carte présentant la situation géographique de la commune de Sidi Ben Adda

IV.3. Statistiques de décharge de wilaya d’Ain T’émouchent :

La quantité annuelle de déchets générés au niveau national est estimée à environ, 23 millions de tonnes, A titre d’exemples, nous citons les déchets suivants :

- Déchets d’emballages et de plastique environ 1.2 million de tonnes/an
- Pneus usagés plus 2 millions d’unités/ an
- Déchets des huiles et des huiles lubrifiantes 110000 tonnes/an
- Déchets électroniques, électriques et électroménagers 173.800 tonnes/an [29]

Au niveau local, les estimations des déchets générés par les 28 communes sont présentées sur le tableau N°1.

Commune	Nom dépôt	Type de décharge	Quantité des déchets générés t/j	Total/CET %
Ain Temouchent	CET Sidi ben Adda	contrôlée	65.38	35.19%
El Malah			16.38	
CaabatLeham			12.73	
Sidi Ben Adda			12.18	
Targa			7.24	
OuledKihal			3.11	
Beni Saf	CET de Sidi safi	Contrôlée	37.91	24.60%
Oualhasa			13.81	
Ain Tolba			11.18	
Ain Kihal			8.29	
Sidi Safi			6.72	
E Abdelkader			3.93	
H Bou Hdjar	De sidi Boumedienne	Non Contrôlée	30.40	21.36%
Ain Arbaa			13.56	
OuadeSabbah			9.42	
Tamazoura			8.59	
OaudBarkeche			3.75	
Sidi Boumadiene			2.92	
Chantouf	2.52			
El Amria	Rouiba	Non Contrôlée	19.52	5.86%
Hassi El ghella	Acoté de moulay AEK d'El Amria	Non Contrôlée	10.47	3.14%
Aghlal	Hai sidi lakhdar	Non Contrôlée	6.17	1.85%
O Boujamaa	Baaliche d'El Amria	Non Contrôlée	5.38	1.61%
Sidi Ouriache	Sidi Ouriache	Non Contrôlée	5.25	1.57%
Augbellile	En allant vers berkeche	Non Contrôlée	4.22	1.26%
Boujedjar	A Côté de madagh d'El Amria	Non Contrôlée	3.92	1.20%
M'SAide	Toief d'El Amria	Non Contrôlée	3.90	1.17%
Hassasna	Ouest de la commue Hasasna	Non Contrôlée	3.61	1.08%

Tableau IV- 1 : les statistiques des déchets ménagers de la wilaya d'Ain Témouchent

Les statistiques de tris des déchets en 2015 fournis par l'entreprise publique de la wilaya chargée de la gestion des CET:

TRI DES DECHETS PAR MATIERE	TOTAL (tonne/an)
plastique [(p.e.t) ;(p.e.h.d)]	120
Cuivre	0.080
Aluminium	0.402
Carton	80.23
Bois	61
Verre	95.35
Hôpitaux	630
Dangereux	462.27
Acier	75.11
Somme	1524.442

Tableau IV-2: état de récupération année 2015(en tonne)

D'après le recensement établi par la direction l'environnement de l'année 2015, les déchets de la wilaya d'Ain Témouchent sont orientés vers 2 types de décharges :

- Contrôlé : c'est la décharge avec trie des déchets.
- Non contrôlé : c'est la décharge sans trier les déchets vers l'opération d'enfouissement.

Alors on trouve plusieurs décharges dans la wilaya: sidi ben Adda; sidi safi, sidi Boumedienne, El Amria, Hai sidi lakhdar, Sidi Ouriache. Parmi ces groupements on trouve deux Centre d'Enfouissement Technique, ce sont des décharges contrôlées, qui sont classés en première position en capacité [29]

IV.3.1. C.E.T Sidi Ben Adda :

Le CET de sidi ben Adda été inauguré le 07/02/2010, Ce CET se site à Sidi ben Adda commune de la wilaya Ain Témouchent, il s'étale sur une superficie de 10 0000 m² concernant l'estimation de la quantité de déchets générés est de 30000 tonnes/an, avec un volume de casier de 219819m³, ainsi une durée de vie de 12 ans, la quantité des déchets solides urbains générés en 2010 est estimée à 38051 tonne/ an. A cela, s'ajoute la quantité des déchets industriels qui est de 1206 tonne/an d'où un total général de 39257 tonne / an. Soit 71% la quantité de déchet organique parmi la quantité total de déchets ménagers 34 940.31 Tonnes[29]

Sur le tableau IV-3 on présente les quantités de déchets par les différentes années et les leur population :

Communes	Année 2005	Année 2010	Année 2014	Année 2015
	Déchets T/AN	Déchets T/AN	Déchets T/AN	Déchets T/AN
Ain Témouchent	1628	17300	21599.9	22001.5
Chabet el hem	3783	4020	2669.98	2782.20
Sidi ben adda	3484	3502	3577.66	1009.50
El malah	4620	4909	2478.76	4098.8
Terga	2047	2173	484.98	2358.6
Ouled el kihel	2401	2552	715.07	1039.20
Ain tolba	3195	3395	3737.85	12523
Total	35809	38051	35264.2	45812.8

Tableau IV -3: la quantité des déchets solides urbains générés de 7 communes.

Ce graphe ci-dessous représente, le tableau précédent avec la différence quantité de déchets au cours des années.

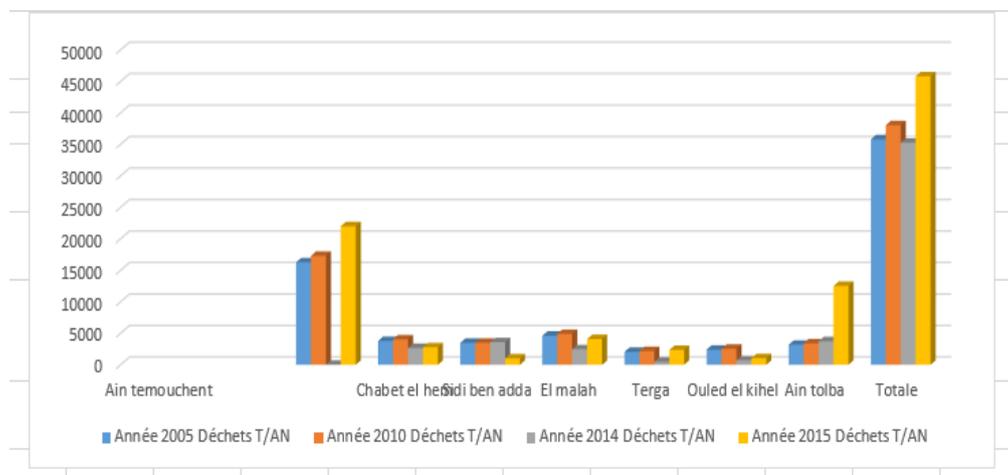


Figure IV-3 : Graphe significatif de la quantité de décharge par an pour les 7 communes de CET (sidi ben Adda).

Durant l'année 2015, la quantité de déchets ménagers reçue dans les deux CET de Sidi ben Adda et de Sidi Safi est de 61188.50 Tonnes ,ces déchets sont générés par douze (12) communes, soit une augmentation de 1046.55Tonnes par rapport a l'année 2014 soit augmentation correspond à :

- L'évolution de la population
- Fermeture des décharges sauvages
- Augmentation de capacité de ramassage de l'ordure ménagère.[29]

Les matériaux récupérés sont valorisés et vendus le tableau IV.1 donne le chiffre d’affaire du CET de Sidi Ben Adda.

Désignation	C.E.T Sidi Ben Adda
Chiffre d’affaire	33 193 294.50 DA
Billetteri	120 000.00 DA
Total	33 313 294.50 DA

Tableau IV-4 : chiffre d’affaire du CET de Sidi Ben Adda

IV.3.2.C.E.T SIDI SAFI :

Le C.E.T de Sidi Safi est rentré en fonctionnement le 17/02/2010, se situe à la commune de Sidi Safi, daïra de Béni Saf de la wilaya Ain Témouchent. Ce C.E.T occupe une superficie de : 110000. m2. La capacité d’accueil est de 20000 tonnes de déchets par an avec un volume de casier de 190000m3, ainsi une durée de vie de 10 ans. le tableau IV.5 présente la quantité de déchets ménager récupérés en tonnes par les sept communes durant l’année 2015 pour le CET de Sidi Safi a 27125.6 tonnes

Communes	Quantité(Tonne)
BENI SAF	15901.32
SIDI SAFI	2115.82
AIN KIHHEL	2428.74
AIN TOLBA	2403.80
EL AMIR ABD	1290.87
OULHASSA	2435.05
AUTRES	550
TOTAL	27125.6

Tableau IV-5: quantités de Déchets traitées Durant l’année2015

Les déchets récupérés et valorisés par le C.E.T de Sidi Safi permettent de réaliser un chiffre d’affaire.

Désignation	C.E.T Sidi Safi
Chiffre d’affaire	24033280.50DA
Billetteri	390 000.00DA
Total	24 162 780.50DA

Tableau IV-6 : chiffre d’affaire du CET de Sidi Safi

La récupération est assurée par (13) agents de tri et la quantité des récupérés est de 103.45 Tonnes réparti en :

Produits	Quantité(Tonne)
Plastique	37.588
PET BROYE	64.37
PEHD /ALUMINIUM	1.50

Tableau IV.7 : les matières récupère par tri

Le diagramme représente les pourcentages de chaque matière récupérée par tri de la charge :

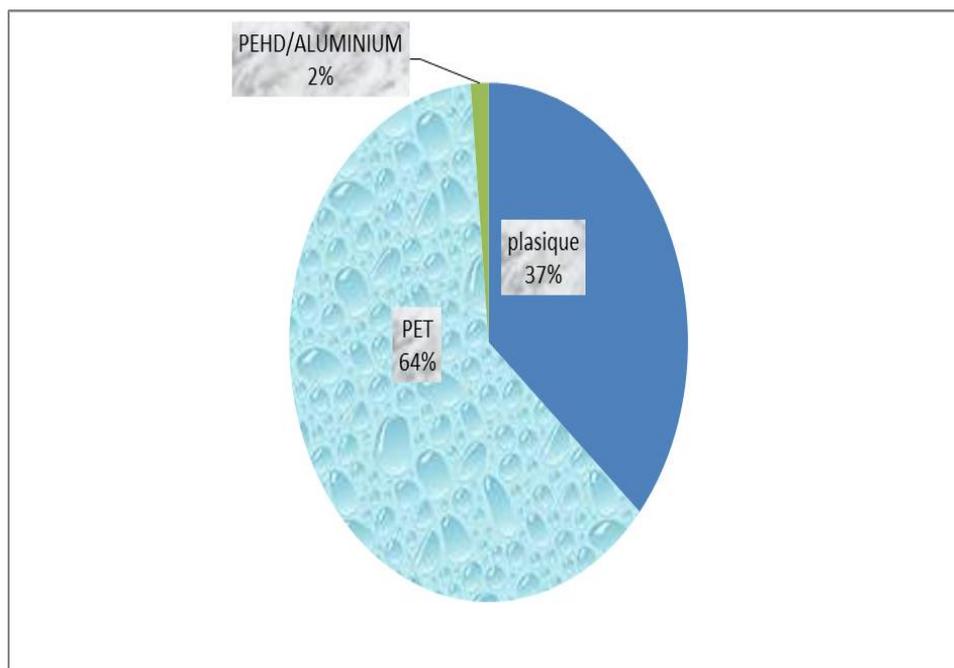


Figure IV-4 : diagramme de pourcentage de la matière

La composition des ordures ménagères récupérer est :

Produit	Quantité(Tonne)
Plastique	15
PET	05
PEHD	10
Aluminium	02
Métaux ferreux	08
Carton	04
Total	64

Tableau IV-8 : tonnage des matières stockées

IV. 3.3. Plastiques recyclables P.E.T/P.P/P.E.H.D :

Polyéthylène Téréphtalate (P.E.T),souvent utilisé pour les bouteilles de boissons gazeuses, d'huile de cuisine, pour sa transparence, sa résistance aux chocs, son faible poids et son imperméabilité à l'eau, aux gaz et aux arômes. S'il est actuellement le plastique le plus recyclable, une étude italienne récente a démontré qu'au-delà d'un certain temps de stockage

de l'eau dans une bouteille en PET, un phtalate probablement cancérigène pourrait s'y développer. C'est un produit uniquement à base de pétrole ou de gaz naturel. Il faut environ 1.9 kilo de pétrole brut pour obtenir 1 kilo de PET

Le Polyéthylène haute densité (P.E.H.D), qui représente 50% du marché et se retrouve dans les bouteilles de jus de fruits, de détergents. Il est opaque ou translucide, rigide, résistant aux chocs, étanche, imperméable aux corps gras et barrière aux produits chimiques.

Le Polypropylène (P.P) présent essentiellement dans les objets plus durs comme de la vaisselle en plastique, des récipients alimentaires réutilisables, des gourdes, les emballages de margarine...De faible densité (environ 0,95), il concilie des propriétés chimiques, thermiques et électriques. Il n'est actuellement pas recyclable en dehors de l'industrie.

Le recyclage du PET et du P.E.H.D ce fait après le tri effectué par les habitants, les bouteilles sont envoyées dans un centre de tri où elles sont séparées par type de plastique. Conditionnées ensuite en balles, elles sont dirigées vers les différentes usines de recyclage où, broyées et mélangées à la matière plastique vierge, elles deviendront de nouveaux objets.[30]

IV.4. Etude et calcul d'une solution de valorisation par méthanisation des déchets de la wilaya Ain t'émouchent l'année 2015:

A partir l'année 2015, la somme de quantité de déchets ménagers reçue dans les deux CET de Sidi ben Adda et de Sidi Safi est :

CET	Type de traitement	Procédé de valorisation	Quantité tonne/an	Totale tonne/an
Sidi ben Adda /sidi safi	Déchets organiques	Méthanisation	34940.31/27125.6	62065.91

Tableau IV-9 : le tri des déchets récupérés (tonne/an).

IV.4.1. Dimensionnement d'une station de méthanisation des déchets de la wilaya d'Ain Témouchent :

A. Estimation de la quantité de déchets à méthaniser :

Un pourcentage de méthanisation égale à 71%. Donc $M = 62065.91 \text{ t} = 62065910 \text{ kg}$.

B. Estimation du volume des déchets à travers la masse volumique :

Maintenant on va calculer le volume des déchets par rapport la masse volumique ($\rho = 264,7$ Kg/m³)

$$\rho = \frac{M}{v} \implies V = \frac{M}{\rho}$$

$$V = \frac{6206591}{264,7} \implies V = 234476.43 \text{ m}^3$$

C. Estimation du temps de séjour des déchets dans les digesteurs :

-On prendre la production du biogaz a de 38 jour, dont 2 jours de déchargement et chargement d'apprêt l'expérience donc [31] :

$$N = \frac{T}{M} \implies N = \frac{365}{38} = 10 \text{ cycle}$$

N : le nombre de cycle

T : le nombre de jour par an

M=le nombre de jour de production

IV.4.2.Les critères de choix :

Dans cette travail on a quatre cas et pour choisir celui le plus favorable on se base sur le plusieurs critères qui sont :

- Coût de construction
- Complexité de l'installation
- Facilité de maintenance
- Consommation énergétique
- Facilité de chargement déchargement
- Facilité de nettoyage
- Production de biogaz

IV.4.3.Dimensionnement des digesteurs :

Dans le présent travail, on considère que la méthanisation se fait par voie solide donc nous choisissons un méthaniseur de type discontinu. On a supposé les 4 cas pour la comparaison après divisé le volume par le nombre de digesteur (parce que les digesteurs identique), enfin on a choisit un digesteur le plus idéal.

Premier cas : deux digesteurs identiques de hauteur H=2m

Pour calculer le diamètre de deux digesteurs identiques de hauteur de 2 mètres, on divise le volume des déchets par le nombre de digesteur :

$$\frac{2344.76}{2} = 1172.38\text{m}^3$$

On a les digesteurs en forme cylindrique, on calcule le diamètre et les rayons comme suit :

$$V = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h \implies d^2 = \frac{4 \times V}{\pi \times h}$$

$$d^2 = \frac{4 \times 1172.38}{\pi \times 2} \implies d = 27.32\text{m} \quad ; \quad r = \frac{d}{2} = 14\text{m}$$

Pour ce cas, on a trouvé que le diamètre de chaque digesteur est de 27.32 m, on note que dans ce cas, l'un de ces digesteurs soit en service, et l'autre en attente.

Il faut noter, qu'il ne faut pas remplir le digesteur tous au haut (espace de sécurité est indispensable, pour éviter les chocs thermiques), aussi l'utilisation alternées afin d'assurer la continuité de traitement en cas des interventions de maintenance sur l'unité fonctionnelle est nécessaire.

Donc, le cas de deux digesteurs identiques d'une hauteur de 2 mètres est une solution optimale.

Deuxième cas : trois digesteurs identiques de hauteur H=2m

Pour calculer le diamètre de deux digesteurs identiques de hauteur de 2 mètres, on divise le volume des déchets par le nombre de digesteur

$$\frac{2344.76}{3} = 781.586\text{m}^3$$

On a les digesteurs en forme cylindrique, on calcule le diamètre et les rayons comme suit :

$$V = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h \implies d^2 = \frac{4 \times V}{\pi \times h}$$

$$d^2 = \frac{4 \times 781.586}{\pi \times 2} \implies d = 22.31\text{m} \quad ; \quad r = \frac{d}{2} = 11.15\text{m}$$

Pour ce cas, on a trouvé que le diamètre de chaque digesteur est de 22.31 m, on note que dans ce cas, l'un de ces digesteurs en attente qui sera mise en service lors d'une intervention de maintenance sur l'une des deux unités opérationnelles.

Troisième cas : deux digesteurs identiques de hauteur H=4m

Pour calculer le diamètre de deux digesteurs identiques de hauteur de 4 mètres, on divise le volume des déchets par le nombre de digesteur

$$\frac{2344.76}{2} = 1172.38\text{m}^3$$

On a les digesteurs en forme cylindrique, on calcule le diamètre et les rayons comme suit ;

$$V = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h \quad \Leftrightarrow \quad d^2 = \frac{4 \times V}{\pi \times h}$$

$$d^2 = \frac{4 \times 1172.28}{\pi \times 4} \quad \Longrightarrow \quad d = 19.32\text{m} \quad ; \quad r = \frac{d}{2} = 10\text{m}$$

Pour ce cas, on a trouvé que le diamètre de chaque digesteur est de 19.32 m, on note que dans ce cas, l'un de ces digesteurs soit en service, et l'autre en attente.

Il faut noter, qu'il ne faut pas remplir le digesteur tous au haut (espace de sécurité est indispensable, pour éviter les chocs thermiques), aussi l'utilisation alternées afin d'assurer la continuité de traitement en cas des interventions de maintenance sur l'unité fonctionnelle est nécessaire.

Quatrième cas : trois digesteurs identiques de hauteur H=4

Pour calculer le diamètre de deux digesteurs identiques de hauteur de 4 mètres, on divise le volume des déchets par le nombre de digesteur

$$\frac{2344.76}{3} = 781.586\text{m}^3$$

On a les digesteurs en forme cylindrique, on calcule le diamètre et les rayons comme suit :

$$V = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h \quad \Longrightarrow \quad d^2 = \frac{4 \times V}{\pi \times h}$$

$$d^2 = \frac{4 \times 781.586}{\pi \times 4} \quad \Longrightarrow \quad d = 15\text{ m} \quad ; \quad r = \frac{d}{2} = 7.5\text{m}$$

Pour ce cas, on a trouvé que le diamètre de chaque digesteur est de 15 m , on note que dans ce cas, l'un de ces digesteurs en attente qui sera mise en service lors d'une intervention de maintenance sur l'une des deux unités opérationnelles.

• **Données de calcul :**

Les nombre des cas	Les nombre des digesteurs	Hauteur (m)	Volume (m ³)	Diamètre (m)	Rayon (m)
Premier cas	2	2	1172.38	27.32	14
Deuxième cas	3	2	781.586	22.31	11.15
Troisième cas	2	4	1172.38	19.32	10
Quatrième cas	3	4	781.586	15	7.5

Tableau IV-10 : la donnée de calcul de quatre cas

IV.4.4. La comparaison :

Après les calculs on a remarqué que la 1^{ère} et la 3^{ème} cas sont les plus simples, parce qu'elles contiennent moins de tuyauteries des systèmes de chauffage et de la récolte du biogaz, système de contrôle simple nombre des chaudières et des pompes réduit. Cela facilite les tâches de la maintenance et réduit le nombre des pannes. Comme il réduit aussi la consommation énergétique.

La 1^{er} et le 3^{ème} cas possèdent le temps de chargement déchargement et de nettoyage le plus court parce qu'elle contient 2 réacteurs par contre les autres installations contiennent 3.

On compare le 1^{er} avec le 3^{ème}, on constate que le 3^{ème} cas est le plus convenable pour notre choix (coût de construction minimiser et idéal).

-Pour faire les calculs on choisit la troisième configuration chaque digesteur discontinu de genre garage avec remplissage en haut et d'une capacité de 1172.38M^3 par cycle.

-On a un kilogramme de matière organique (M.O) « $3, 78 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3$ d'M.O » donne 0.8562m^3 de biogaz, dont 60% de gaz méthane (CH₄), dans un cycle de 38 jours. [32]

Donc le volume de biogaz produit est :

$V_{\text{biogaz}} = 1172.38 \times 0.856 / (3,78 \times 10^{-3}) = 265491.34 \text{ m}^3$ de biogaz par cycle pour un seul digesteur donc 6986.61 m^3 de biogaz par cycle.

Le taux de CH₄ dans la composition du biogaz est de 60% Donc :

$V_{\text{CH}_4} = 6986.61 \times 0.6 = 4191.972 \text{ m}^3$ de CH₄ par cycle

IV.4.5. utilisation du biogaz pour la production de la chaleur :

-le PCI de méthane est $\text{PCI} = 803.3 \text{ KJ/mol}$.

-la masse volumique de méthane $\zeta = 0.6709 \text{ Kg/m}^3$.

-La masse molaire $M = 16.0425 \times 10^{-3} \text{ Kg/mol}$.

Donc on doit convertir le PCI en kJ/m^3 :

$\text{PCI}_{\text{CH}_4} = 803.3 \div 16.0425 = 50.1 \times 10^3 \text{ KJ/Kg}$.

$\text{PCI} = 50.1 \times 10^3 \times 0.6709 = 33.59 \times 10^3 \text{ KJ/m}^3$.

Alors la quantité de chaleur produite de méthane est de :

$Q = V_{\text{méth}} \times \text{PCI}_{\text{méth}} = 4191.972 \times 50.1 \times 10^3 = 210017797.2 \text{ J} = 2.10 \times 10^{10} \text{ KJ}$ par cycle

IV.4.6. Estimation économique :

On a le pouvoir calorifique inférieure de gaz naturel $\text{PCI} = 38,1 \text{ MJ/kg} = 38100 \text{ KJ/Kg}$ d'ou la masse volumique du gaz naturel 0.8 kg/m^3 le PCI vaut $38100 \times 0.8 = 30480 \text{ kJ/m}^3$ [32]

Alors on va calculer comme bien on pourra économiser de m^3 gaz naturel :

$$V = 2.1 \times 10^{10} \div 30480 = 6.40 \times 10^5 \text{ m}^3. \text{ paruncycle (38jours)}$$

IV.4.7. Exploitation :

Le méthane apporte une solution au problème de l'énergie dans les zones rurales, c'est un gaz combustible qui peut être placé à la cuisine ou il se peut que le bio méthane être employé comme carburant dans des moteurs pour faire fonctionner des tracteurs agricoles ou encore alimenter des moteurs thermiques.

IV.5. conclusion :

Finalement et après les résultats des calculs sur l'énergie qu'on peut l'obtenir dans notre wilaya, on voit comme bien elle est important énergie produite par jour, et les estimations économiques qui font développer la wilaya à travers les deux opérations l'incinération et la méthanisation, grâce à des déchets qui sont toujours en augmentation sans savoir les utiliser, alors il faut bien exploiter tous énergies renouvelables afin de réduire la consommation de l'énergie fossiles pour une durée plus longue.

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'objectif de notre étude consiste à faire le développement d'une méthanisation des déchets connaît un succès indéniable. Mais, comme le rappelait un article à l'intention des élus¹ soulignant l'intérêt récent des collectivités pour la méthanisation des déchets, cette technique impose en général, pour s'appliquer à un contexte spécifique, quatre conditions préalables, à savoir :

- Un gisement de déchets ménagers et assimilés suffisamment important compte tenu du seuil de rentabilité des installations.
- Une filière de valorisation agronomique des amendements organiques produits (compost et jus de digestat).
- Un site d'implantation permettant la valorisation énergétique (chaleur ou électricité) du biogaz produit pour satisfaire des besoins industriels ou alimenter un réseau de chaleur domestique.
- Enfin, une volonté politique de promotion des énergies renouvelables et du retour au sol des matières organiques résiduelles.

Par ailleurs, la méthanisation doit être mise en œuvre en étroite relation avec les autres procédés disponibles sur un territoire (valorisation matière, compostage, incinération, stockage...) dans le cadre d'une gestion globale des déchets. [17]

Ce projet nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine d'énergétique et bien comprendre le fonctionnement de méthanisation peut être une option viable de traitement et de valorisation matière-énergie des déchets organiques fermentescibles. Les procédés de digestion anaérobie généralement utilisés dans les PED (pays en développement) sont relativement simples de conception, faciles d'utilisation.

En fonction du choix de procédé, du type de digesteur et du contexte, certains facteurs, paramètres et conditions d'ordre environnemental, technique, socio-économique et politique constituent des leviers plus ou moins déterminants de la réussite des programmes de diffusion de cette technologie. Ces digesteurs demandent des compétences minimales pour leur mise en œuvre. [16]

Ce travail reste, comme toute œuvre humaine, incomplet et perfectible, nous recommandons d'en améliorer la conception. Enfin, nous estimons avoir fourni dans ce rapport les éléments nécessaires à la clarification de l'utilité et de l'élaboration de notre projet.

Bibliographie

Les Sites Internet :

- [1] : cusstr.CH/repository/34PDF
 - [2] : https://fr.wikipedia.org/wiki/gestion_des_dechets.
 - [3] : <https://www.futura-sciences.com/planete/.../developpement-durable-dechet-5725/>
 - [4] : <http://www.economiedenergie.fr/Les-dechets--les-typologies.html>
 - [5] : <https://www.senat.fr/rap/o98-415/o98-4152.html>
 - [6] : www.sita.fr/lexique/valorisation-matiere/
 - [7] : [www.ademe.fr/expertises/...matière/.../chaîne-recyclage-produit-produit-passant](http://www.ademe.fr/expertises/...matiere/.../chaîne-recyclage-produit-produit-passant)
 - [8] : www.chemphys.u-strasbg.fr/mpb/teach/LeRecyclage/LeRecyclage2008Corrige.pdf
 - [9] : www.fnade.org/fr/produire-matieres-energie/valorisation-energetique
 - [10] : <https://www.fnade.org/fr/produire-matieres-energie/valorisation-energetique>
 - [11] : <https://www.fnade.org/fr/produire-matieres-energie/valorisation-organique>
 - [12] : www.methanisation.info/methanisation.html
 - [13] : www.otv.fr/fr/expertise/industries/effluents-industriels/methanisation-liquide/
 - [14] : http://www.ons.dz/IMG/pdf/C_S_Num_172_Environfinal_okok.pdf
 - [15] : <http://www.planetoscope.com/dechets/363-production-de-dechets-dans-lemonde>.
- Html
- [16] : tpe-la-methanisation.e-monsite.com/pages/introduction/
 - [17] : www.biogaz-energie-renouvelable.info/methanisation_definition.html
 - [19] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Méthanisation>
 - [20] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Biogaz>
 - [21] : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/methanisation>
 - [22] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Digesteur>
 - [23] : https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/.../digestat.p4
 - [24] : <http://www.beep.ird.fr/collect/thies/index/assoc/HASH0127/86bd30ec.dir/pfe.gm.0507Pdf>

[25] : <https://compost.ooreka.fr/comprendre/compostage>

[26] : <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Biogaz>

[27] : <http://colver35gr1f.over-blog.com/article-les-avantages-et-les-inconvenients-47384283.html>

[29] : Direction de l'environnement d'Ain Témouchent.

[30] : <HTTPS://WWW.ECOSAPIENS.COM/LABEL17PLASTIQUESRECYCLABLES-PET---PP---PEHD.HTML>

[32] : <Methanisation-eplefpa-marmilhat.fr>

Les Mémoires :

[18] : Etude sur la bio-méthanisation des déchets organiques. Contribution expérimentale

- UNIVERSITE KASDI MERBAH, OUARGLA Présenté par : - GuitounWafa

[28] : Etude d'impact de centre d'enfouissement technique d'Ain Témouchent (Sidi Ben-Adda) sur l'environnement -UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID- TLEMCEM Présenté Par BENALLAL Abdelheq

[31] : thèse de modélisation des dispositifs de revalorisation énergétique des déchets solides et liquides (séchage, méthanisation, incinération) mise en œuvre d'un outil d'aide à la conception multi – systèmes et multi – modèles.