



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
Abdel Hamid Ibn Badis University - Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم هندسة الطرائق
Department of Process Engineering



N° d'ordre : M2...../GPE/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie des procédés de l'environnement

Thème

Evaluation et valorisation du biogaz généré par l'élimination des déchets ménagers dans neuf grandes wilayas d'Algérie

Présenté par

1-Benmeghazi Abdelkader

2-Benarbia Abdelali

Soutenu le 13/07/ 2021 devant le jury composé de :

Présidente :	F. Abdelmalek	Pr	Université de Mostaganem
Encadrante :	I.S. Abdelli	MCA	Université de Mostaganem
Examineurs :	B. Banalioua	MCB	Université de Mostaganem
	N. Mahrez	MCA	Université de Mostaganem
	A. Dahmen	MAA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2020/20211

Remerciement

Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier toutes les personnes qui, chacune à leur manière, m'ont permis de le mener à bien.

Tout d'abord, Je remercie profondément madame ABDELI SAFIA pour son aide précieuse quant à la réalisation de ce travail ;

On exprime ainsi mes profondes remerciements aux membres du jury qui nous feront l'honneur d'évaluer notre travail Mm F.

ABDELMALEK, Mm B. BENALIOUA, Mm N. MAHREZ et Mr A. DAHMEN

Comme nous remercions toute l'équipe de laboratoire STEVA (sciences et techniques de l'environnement et de la valorisation)

Dédicace

Nous dédions ce travail surtout à nos chers parents grâce à eux nous avons trouvé le chemin de la réussite et que nous avons pu suivre convenablement de longues études. Ainsi de nous avoir supportés, dans les deux sens du terme. Sans leur travail et leur courage, rien n'aurait été possible. Nous leur serions toujours reconnaissant, ainsi qu'à nos chères frères et sœurs qui nous ont aidés énormément

Résumé

Il est connu que les déchets ménagers solides (DMS) enfouis dans les centres d'enfouissement technique (CET) ou les décharges conduisent par décomposition anaérobie des fractions biodégradables à la production des gaz à effet de serre (GES) en plus du lixiviat. Le méthane possède un pouvoir de réchauffement global 25 fois celui du CO₂ sur 100 ans. Les GES sont constitués généralement de 50% de CH₄, 45% de CO₂ de 4% de N₂ de moins de 1% d'H₂S et de 2700 ppm de composés organiques non méthaniques. La production de méthane dans les décharges et les CET commence généralement 6 à 12 mois après l'enfouissement des déchets, pour atteindre son maximum peu de temps après la fermeture de la décharge et tend à diminuer progressivement sur une période de 30 à 50 ans. Il est vivement important de récupérer ce méthane et de le convertir en énergie. Le but de notre travail est d'évaluer les quantités de CH₄ produite sur 20 CET et 20 décharges dans 9 wilayas. Les résultats obtenus montre qu'une grande quantité de CH₄ est libérée 4447,253 Gg de 2010 à 2021 soit 37060Gg/an qui attribue au réchauffement climatique. Cette perte d'énergie est estimé de 6244776 Kwh soit une perte de 520398/an qui peut être convertie en électricité et par conséquent elle permettra une autonome des CET en matière d'électricité.

Mots clés : Déchets ménagers, CET, biodégradation, méthane, IPCC, MTM, LandGem

Abstract

Solid household waste buried in technical landfills is known to lead, through anaerobic decomposition of biodegradable fractions, to the production of greenhouse gases in addition to leachate. Methane has the ability to warm the atmosphere 25 times that of carbon dioxide over 100 years. Greenhouse gases generally consist of 50% methane, 45% carbon dioxide, 4% N₂ less than 1% hydrogen sulfide and 2,700 ppm non-methane organic compounds. Methane production in landfills and TECs typically begins 6 to 12 months after landfill, peaks soon after landfill closure, and tends to decline gradually over 30 to 50 years. It is very important to recover this methane and convert it into energy. The goal of our work is to assess the quantities of methane produced at 20 technical landfill centers and 20 dump points in 9 states. The obtained results show that a large amount of methane was released 4447253 Gg from 2010 to 2021 or 37060 Gg/yr which is attributed to global warming. This energy loss is estimated at 6,244,776 kWh, or 570320 KWh/year which can be converted into electricity and will therefore allow the landfill centers to be electricity independent.

Keyword :MSW, Landfill, Methane, biodegradation,IPCC, MTM, LangGem

الملخص

من المعروف أن النفايات المنزلية الصلبة المدفونة في المطامر الفنية أو مقابل القمامة تؤدي، من خلال التحلل اللاهوائي للكسور القابلة للتحلل الحيوي، إلى إنتاج غازات الدفيئة بالإضافة إلى العصارة. يمتلك الميثان قدرة على رفع حرارة الجو 25 مرة من ثاني أكسيد الكربون على مدى 100 عام. تتكون غازات الدفيئة بشكل عام من 50٪ ميثان، 45 ثاني أكسيد الكربون، 4 أزوت أقل من 1 كبريتيد الهيدروجين، و 2700 جزء من المليون من المركبات العضوية غير الميثانية.

عادةً ما يبدأ إنتاج الميثان في مدافن النفايات بعد 6 إلى 12 شهرًا من دفنها ويبلغ ذروته بعد إغلاق مراكز الردم التقنية بفترة وجيزة ويميل إلى الانخفاض تدريجيًا على مدى 30 إلى 50 عام من المهم للغاية استعادة هذا الميثان وتحويله إلى طاقة. الهدف من عملنا هو تقييم كميات الميثان المنتجة في 20 مركز ردم تقني و20 نقطة تفريغ في 9 ولايات تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن كمية كبيرة من الميثان تم تحريرها من النفايات تقدر ب 4447253 جيجا جرام من عام 2010 إلى 2021 جرام أو 37060 جيجا جرام / سنة جيجا مما يعزز ظاهرة الاحتباس الحراري.

تقدر خسارة الطاقة هذه بـ 6,244,776 كيلواط ساعي، أو خسارة 520398 / سنة والتي يمكن تحويلها إلى كهرباء وبالتالي ستسمح لمراكز الردم بأن تكون مستقلة من حيث الكهرباء.

الكلمات المفتاحية. الطريقة الثلاثية، النفايات المنزلية، الاحتباس الحراري، الميثان،

Sommaire :

Introduction général :	1-3
Chapitre I : étude bibliographique.....	4-19
I.1. la gestion des déchets ménagers en Algérie.....	5
I.2. contexte réglementaire et institutionnel.....	5
I.3. élimination des déchets urbains en Algérie	6
I.4.1 l'enfouissement technique des ordures ménagères	7
I.4.2 nombre de site en Algérie.....	7
I.5 flux polluant générés par l'enfouissement des déchets.....	7-8
I.5.1 Lixiviats.....	8
I.5.2 biogaz.....	8
I.6. biodégradation et stabilité des ordures ménagères enfouis.....	9
I.6.1 Production de méthane à partir des déchets	9
I.6.2 La décomposition de la matière organique.....	10
I.6.3 Influence de la composition de déchets ménagère sur les émissions de méthane .	10
I.6.4 caractérisation bio-physico-chimique des ordures ménagères	11
I.7 gestion des émissions gazeuse : le biogaz	12
I.7.1 mécanisme de production du biogaz.....	12
I.7.2 traitement du biogaz	13
a-combustion	13
b-valorisation.....	13
I.8 paramètres de suivi du biogaz.....	13-14
I.8.1 caractérisation du biogaz.....	13
I.8.2 composition du biogaz.....	14
I.8.3 quantification du biogaz.....	14

I.9 production de biogaz décharges en fonction des conditions climatique.....	15-16
I.10. Réchauffement climatique	16
I.11. Les causes du changement climatique	16-17
I.12. Les mécanismes climatiques :.....	18
II.. gaz à effet de serre	18-19
Chapitre II : Matériel et méthodes.....	20-29
I.1.Présentation de la zone d'étude.....	21-22
I.2. Composition des déchets ménagère.....	23
I.3 Modèle de calcule	23-29
I.3.1 IPCC.....	24
I.3.2 default méthode (1996.DM Tier 1).....	25
I.3.3 IPCC first order decay (FOD Tier 2).....	26
I.3.4 LandGem Model.....	27
I.3.5 méthode triangulaire modifiée (MTM).....	28
I.4 potentiel énergétique.....	29
Chapitre III : résultat et discussion	30
I.1 composition des déchets.....	31
I.2 Evaluation des quantités de méthane générés par les différents modèles	32
I.3Résultats de l'évaluation des quantités de méthane par les différents modèles.....	32-35
I.4 Total landfill gaz.....	35-39
Conclusion général	40-41
Référence	42

Abréviation

AND: agence national des déchets.

PNAE-DD Plan national d'actions environnementales et du développement durable

COD :carbone organique dégradable.

DMA: déchets ménagers assimilés

DM: méthode par défaut.

DPO: décomposition de 1^{er} ordre.

DOC: carbon organique dégradable.

DOCf: fraction de DOC.

FOD: modèle de 1^{er} ordre.

G.E.S: gaz à effet de serres

Gg: géogramme

LFG: lundfill gaz. Gaz générés par les CETs

MCF: facteur de correction de méthane.

MSW: déchets solides municipaux

MSWT: déchets solides municipaux totaux générés.

MTM: méthode triangulaire modifiée.

NOx: les oxydes d'azote.

R: recovred methane (méthane récupéré).

OX: facteur d'oxydation.

COV : carbon organique volatile

SNE : Stratégie nationale environnementale

MEER : Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables

CNFE : Conservatoire National des Formations à l'Environnement

SNGID 2035 : stratégie nationale de gestion de déchet

DCO: demande chimique en oxygène,

DBO: demande biologique en oxygène,

COT: carbone organique total

AGV: acides gras volatils

COVNM: composés organiques volatils non méthaniques

CET: centre d'enfouissement technique

MTM: méthode triangulaire modifiée

LFG: Landfil gaz

N₂O: d'oxyde nitreux ,

NO_x: d'oxydes d'azote

CO: monoxyde de carbon (CO).

CO₂: dioxyde de carbon

Liste des tableaux

Tableau 1 : paramètre à analyser dans le biogaz et appareils nécessaires pour ces analyses

Tableau 2 : présentation de la zone d'étude

Tableau 3 : compositions des déchets ménagers des wilayas étudiées

Tableau 4 : les paramètres d'entrée pour les modèles ipcc-dm and fod

Tableau 5 : résultat de l'évaluation

Tableau 6 : les gaz d'enfouissement obtenus par landgam

Tableau 7 : résultat de l'évaluation (potentiel énergétiques)

Liste des figures

Figure 1 : évolution de la composition gazeuse d'une décharge

Figure 2 : mécanisme de l'effet de serre

Figure 3 : la méthode triangulaire modifiée

Introduction générale

La gestion des déchets solides représente l'un des défis les plus importants des sociétés urbaines et industrielles. Si l'enfouissement sanitaire des déchets solides produits par les centres urbains et par les industries est une pratique courante et technologiquement maîtrisée à côté d'autres pratiques de valorisation matière et énergie dans les pays industrialisés, elle est dans les pays en développement la solution par défaut pratiquée sans aucune considération pour l'environnement. De grandes quantités de déchets sont encore enfouies de façon inadéquate. Ces amas de déchets constituent encore des sources de pollution aggravée du fait de leur concentration : production de lixiviat mal drainé et non traité, production de biogaz non récupéré.

En Algérie, les déchets ménagers sont riches en matière organique, trop humides ce qui la décomposition anaérobie des fractions biodégradables des déchets ménagers enfouis dans les centres d'enfouissement techniques ou les décharges conduit et la production de sous-produits, tels le gaz de décharge (LFG) et le lixiviat. Cette dégradation est due essentiellement aux nombreuses réactions simultanées et interdépendantes biologiques, microbiologiques, chimiques et physiques. Ainsi, en fin du processus et dans des conditions favorables, les microorganismes méthanogènes convertissent l'acide acétique et l'hydrogène gazeux en CH_4 et en CO_2 connus comme étant des gaz à effet de serre participant au réchauffement climatique. Même à des concentrations plus faibles, le méthane possède un pouvoir de réchauffement global 21 fois celui du CO_2 (IPCC, 1996).

Le but de notre travail est d'évaluer les quantités de méthane produites dans 9 grandes wilaya d'Algérie (+ 1000 000 habitants) : Alger, Oran, Sétif, Blida, Batna, Tizi-ouzou, Chlef, Msila et Djelfa dont 20 CET et 20 décharges. Cette évaluation a été faite par l'utilisation de quatre modèles différents IPCC-1996, IPCC- 2006, LanGem v3.02 et la méthode triangulaire modifiée. Une valorisation énergétique a été proposée, tout en convertissant ces gaz en électricité afin de réduire son impact nocif sur l'environnement et de profiter de cette bioénergie.

Ce travail est présenté, Outre l'introduction générale, sous forme de trois chapitres :

- Le premier chapitre donne des généralités sur la gestion et l'élimination des déchets solides en Algérie ;
 - Le second chapitre est consacré à la présentation modèles et méthodes utilisés ;
 - Le troisième chapitre décrit les résultats obtenus et les discussions ;
- En fin, une conclusion générale viendra clore ce travail.

Chapitre I.
Etude bibliographies

Chapitre I. Etude bibliographique

I.1. La gestion des déchets ménagers en Algérie

La politique de gestion des déchets s'inscrit dans la Stratégie nationale environnementale (SNE), ainsi que dans le Plan national d'actions environnementales et du développement durable (PNAE-DD) qui s'est concrétisée par la promulgation de la loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, traitant des aspects inhérents à la prise en charge des déchets, et dont les principes sont :

- la prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source ;
- l'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets ;
- la valorisation des déchets par leur réemploi et leur recyclage ;
- le traitement écologiquement rationnel des déchets ;
- l'information et la sensibilisation des citoyens sur les risques présentés par les déchets et leurs impacts sur la santé et l'environnement [1];

I.2. Contexte réglementaire et institutionnel

Jusqu'à la fin de l'année 2001, le seul cadre juridique régissant la gestion des déchets en Algérie était le décret n° 84-378 du 15 décembre 1984, fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et de traitement des déchets solides urbains, texte pris en application de la loi 83-03 du 05 février 1983 relative à la protection de l'environnement.

Avec la création du Ministère de l'environnement en 2000, la première loi adoptée était celle relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, qui fût promulguée le 12 décembre 2001. Cette loi est considérée comme le socle du dispositif juridique gouvernant la gestion des déchets. La loi 01-19 a également permis de préciser la notion de déchet et a défini les différentes catégories de déchets de même que les termes se rapportant à la gestion des déchets tels que générateur, détenteur, collecte, tri, traitement, etc. (art. 3).

Sur le plan institutionnel, outre les structures centrales du Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables (MEER) qui concourent avec les services du Ministère de l'Intérieur et Collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire (MICLAT) à la mise en œuvre de la nouvelle politique nationale en matière de gestion de déchets ménagers, la création de l'Agence Nationale des Déchets (AND) et du Conservatoire National des Formations à l'Environnement (CNFE) en 2002 vient consolider le dispositif opérationnel de gestion des déchets ménagers en Algérie [1].

Chapitre I. Etude bibliographique

I.3. Elimination des déchets urbains en Algérie

L'expérience Algérienne en matière de traitements et d'élimination des déchets reste en fait très limitée, alors que le volume de déchets ne cesse d'augmenter, sous la double pression de la croissance économique et du développement des infrastructures.

La mise en décharge ou par l'enfouissement technique reste la solution privilégiée des autorités et le pouvoir publique pour l'élimination des déchets ménagers

En matière de valorisation, Le taux de valorisation en recyclage et compostage reste à un niveau bas, ne dépassant pas 10 % (2018) pour les DMA. Si cette situation reste inchangée, elle entrainera inévitablement une augmentation substantielle des déchets destinés à l'enfouissement.

Selon ces experts les reformes structurelles proposées dans le cadre de la nouvelle stratégie nationale (SNGID 2035) ont pour objectif, d'évoluer vers une gestion intégrée et durable des déchets à l'horizon 2035. Parmi les objectifs stratégiques de la SNGID 2035, figure la limitation de la génération des DMA à 1,1 Kg/hab/jour, la prévention des déchets des autres flux et l'encouragement du tri sélectif et du tri à la source de manière à recycler ou composter 30% des DMA, 30 % des déchets spéciaux (dangereux) et 50 % des déchets inertes. Par ailleurs, une étude réalisée par l'Agence nationale des déchets (AND) estime que la valeur marchande potentielle du gisement des déchets recyclable pourrait atteindre plus 90 milliards de DA par an.

Selon cette étude, la récupération et la valorisation des déchets ménagers et assimilés seraient à même de créer de l'emploi en matière de valorisation des déchets notamment plastiques dont les bouteilles des boissons gazeuses et des eaux minérales.

Les déchets ménagers issus des bouteilles des boissons gazeuses et des eaux minérales représentent 4% des déchets ménagers, soit 470.000 tonnes/an, et la valorisation de ce type de plastique pourrait créer 7.600 postes d'emploi directs/an, selon l'AND [2]

I.4.1 L'enfouissement technique des ordures ménagères.

A ce jour, la principale voie de traitement des déchets en Algérie est la mise en décharge. Cette technique est souvent utilisée dans les PED, mais elle aboutit souvent à des décharges incontrôlées. La notion décharge contrôlée et des différents modes d'exploitation visant la protection de l'environnement apparaît pour la première fois en 1983 loi n° 83.03 du 05 février 1983, relative à la protection de l'environnement, elle précise la nocivité des déchets et demande à mettre fin à la mise en décharge brute des ordures.

Chapitre I. Etude bibliographique

La loi du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, complète et renforce le décret exécutif n° 83.378, fixe les modalités de gestion, le contrôle et de traitement des déchets, précise et identifie les déchets admis, donne une classification et introduit le terme enfouissement, le définit comme "tout stockage de déchets en sous sol". Toutefois depuis 2003, date de la promulgation de la loi n° 03.10 du 19 juillet 2003, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, le renforcement du contenu sanitaire de l'étude d'impact conduit à s'intéresser directement aux effets des décharges sur la santé de l'homme.

I.4.2. Nombre de site en Algérie.

Des centres d'enfouissement techniques de déchets, appelés actuellement centres de stockage de déchets, ont été réalisés ou sont en cours de réalisation dans divers Wilayas du pays, Les CET réalisés et exploités sont de nombre de 300 CET dont :

- 90 CET réalisés et équipés au niveau des chefs-lieux.
- 18 CET dans 15 wilayas (chef lieu et intercommunaux) sont en phase d'étude dont 6 ont fait l'objet d'une expertise du site d'implantation.

Cette politique permet d'éradiquer dans l'immédiat 4500 décharges anarchiques existantes à l'échelle nationale sur un total de 6000, et à la récupération de 157 000 hectares de terre à aménager en jardins et espaces verts. (AND, 2018).

I.5. Flux polluant générés par l'enfouissement des déchets.

I.5.1. Lixiviats

Le terme lixiviat est défini comme étant "Tout liquide filtrant par percolation des déchets mis en décharge et s'écoulant d'une décharge ou contenu dans celle - ci " qui se charge mécaniquement, bactériologiquement et surtout chimiquement de substances minérales et organiques (Mezouari) [1]

Les principaux paramètres mesurés sont la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biologique en oxygène (DBO5), le carbone organique total (COT), la teneur en matière azotée (Azote organique, NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- le pH , la conductivité illustrant la charge en ions minéraux, la concentration en métaux lourds (Fe, Zn, Cu, Cd, Pb, Hg, Ni, Ag), les teneurs en micropolluants organiques (hydrocarbures, phénols, pesticides et solvants organiques), les acides gras volatils (AGV) puis les microorganismes pathogènes et non pathogènes (ADEME, 1996)[2] , et la composition des lixiviats n'est pas constante au cours du temps ,elle évolue en fonction de l'état de dégradation des déchets (Mezouari)[1]

Chapitre I. Etude bibliographique

Les lixiviats doivent être drainés, récupérés et traités ou acheminés vers une station d'épuration avant rejet dans le milieu naturel.

I.5.2. Biogaz

Le biogaz, gaz de décharge est défini comme étant " tous les gaz produits par les déchets mis en décharge ".

Quand les ordures ménagères sont déposées en décharge et sont compactées, en anaérobie les matières organiques fermentent. Elles se composent de matières putrescibles (déchets organiques) rapidement fermentes cibles et les matières cellulosiques (papiers, bois) plus lentement fermentescibles. Vu l'hétérogénéité des déchets les principaux gaz dégagés sont le méthane (CH_4), le gaz carbonique (CO_2), et d'autres gaz sont également présents avec des proportions plus faibles : l'oxygène, l'azote, la vapeur d'eau et à l'état de trace : mercaptans RSH, les composés organiques volatils (Mezouari). [1]

La composition du biogaz évolue au cours des différentes phases de biodégradation qui se déroulent dans la décharge et l'analyse de ce dernier permettra de quantifier l'air extérieur infiltré qui contribuera à la dilution du biogaz.

Le biogaz doit être collecté et traité cela permettra la réduction des nuisances olfactives, la sécurité du site, et sa valorisation.

La production potentielle théorique est d'environ 400 m³ par tonne de déchets ; dans les conditions d'enfouissement et d'exploitation de CET des PED, on peut compter récupérer 150-200 m³ /T, mais bien sûr avec un drainage parfait ce qui est rarement le cas dans les PED.

I.6. Biodégradation et stabilité des ordures ménagères enfouis

La matière organique contenue dans les déchets est l'objet de nombreuses et complexes réactions de transformations. Parmi elles, les réactions biologiques sous l'action des micro-organismes aérobies et anaérobies conduisent à la biodégradation des substrats organiques en de nombreux produits simples de réactions tels que l'eau, le dioxyde de carbone, le méthane et de plusieurs sous-produits organiques. Les réactions mises en jeu dépendent de nombreux paramètres liés à la nature du substrat organique et aux conditions physico-chimiques du milieu. Il est important de préciser que les réactions de biodégradation concernent en grande partie la matière organique des déchets ménagers. Par conséquent, la composition de cette matière organique joue un rôle déterminant dans les réactions de biodégradation et la caractérisation détaillée des déchets est à considérer.

Chapitre I. Etude bibliographique

I.6.1 Production de méthane à partir des déchets

Le traitement et l'élimination des déchets municipaux, industriels et autres déchets solides produisent des taux importants de méthane (CH_4). En plus du CH_4 , les sites d'élimination des déchets solides (CET) produisent également du dioxyde de carbone biogène (CO_2), des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) ainsi que de petites quantités d'oxyde nitreux (N_2O), d'oxydes d'azote (NO_x) et de monoxyde de carbone (CO). Le CH_4 produit au niveau des CET représente un apport de 3 à 4% aux émissions annuelles globales de gaz à effet de serre d'origine anthropique (GIEC, 2001). Dans bon nombre de pays industrialisés, la gestion des déchets a beaucoup évolué au cours de la dernière décennie. Des stratégies de réduction et de recyclage/réutilisation des déchets ont été introduites afin de réduire le volume de déchets produits. En outre, des méthodes et des pratiques alternatives de gestion des déchets pour l'élimination des déchets solides sont mises en œuvre afin de minimiser les répercussions écologiques et environnementales de la gestion des déchets. De même, la récupération des gaz des décharges est une technique adoptée à l'effet de réduire les émissions de CH_4 de CET.

La décomposition de matières organiques issues de sources de biomasse (ex.: cultures, bois) est la principale source de production de CO_2 dans les déchets.

I.6.2 La décomposition de la matière organique

La décomposition principalement anaérobie des fractions de déchets solides municipaux biodégradables enfouies dans des décharges ou des décharges à ciel ouvert conduit à la production de sous-produits, tels que des gaz de décharge et des lixiviats. Cette dégradation est principalement due à de nombreuses réactions biologiques, microbiologiques, chimiques et physiques simultanées et interdépendantes. Ainsi, à la fin du processus et dans des conditions favorables, des microorganismes méthanogènes convertissent l'acide acétique et le gaz hydrogène en CH_4 et CO_2 connus en tant que gaz à effet de serre contribuant au réchauffement planétaire. Même à des concentrations inférieures, le méthane a un potentiel de réchauffement global 21 fois supérieur à celui du CO_2 (GIEC, 1996) [3] (21 fois supérieur à celui du CO_2).

Le CH_4 généré dépend de la composition, de la fraction de la matière organique dégradable, de l'humidité, de la valeur pH, du climat (aride, semi-aride, humide, météorologique, atmosphérique, etc.) de la température sur le site et de certains facteurs. non physico-chimiques, telles que la taille de la population, la quantité et le type de déchets ménagers microstables (Gyalpo T, 2008) [4]. En règle générale, les gaz d'enfouissement sont composés de 35 à 65% en vol. de méthane et 15-40% vol. De dioxyde de carbone, d'eau, d'azote et de

Chapitre I. Etude bibliographique

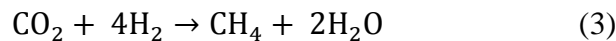
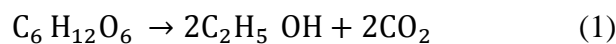
traces de divers composés chimiques tels que des composés aromatiques, des composés organiques chlorés et des composés soufrés (Khalil, 1999) [5]

Les émissions de gaz à effet de serre, y compris le méthane, résultant des processus d'élimination et de traitement des déchets ménagers sont considérées comme la principale source d'émissions anthropiques mondiales

I.6.3 Influence de la composition de déchets ménagers sur les émissions de méthane

Connaître la composition des déchets ménagers est l'un des facteurs les plus importants dans l'évaluation du potentiel de production des gaz générés par les CET (LFG). En effet, la quantité de LFG est directement liée à la matière organique biodégradable contenue dans les déchets. Juste après la décharge de déchets municipaux, les matières organiques commencent dans une première étape (hydrolyse) pour se dégrader à travers les bactéries (agents de fermentation qui hydrolysent les matières organiques en composés solubles) (Tchobanoglous et al, 1993, Addou, 2009) [6,7]. Cette étape d'hydrolyse n'est efficace qu'en présence d'une forte teneur en humidité. S'il n'y a pas assez d'humidité, la formation de gaz devient problématique et peut ne pas se former ; la biodégradation est sérieusement réduite lorsque la teneur en humidité est inférieure à 25% ;(Oonk, 2012) [8]. Comme indiqué ci-dessus, la teneur en humidité de la matière organique dégradable des déchets ménagers en Algérie est très élevée, dépassant souvent 60% (AND, 2014, Abdelli, 2015) [9,10] est un facteur contributif.

Dans la seconde période (acidogénèse), les bactéries acidogènes transforment ces molécules simples en acides et alcools de faible poids moléculaire (acide lactique, acides gras volatils et éthanol), ainsi qu'en hydrogène moléculaire. La troisième phase (acétogénèse) implique des bactéries réductrices acétogènes et sulfato-réductrices avant la synthèse du méthane (équation 1). Enfin, dans la quatrième étape (méthanogénèse), le méthane est formé de bactéries méthanogènes, par décomposition des acides en méthane et en dioxyde de carbone et par réduction du dioxyde de carbone avec de l'hydrogène (équations 2 et 3) [6,7]



I.6.4. Caractérisation bio-physico-chimique des ordures ménagères

Le contrôle des déchets entrants dans les sites d'enfouissement est l'un des points majeurs de leur bonne gestion, il s'agit principalement d'une part du contrôle de tonnage de déchets destiné à l'emplacement, et d'autre part, du contrôle ponctuel, qualitatif et seulement visuel du contenu des bennes de camion. Ce type de contrôle ne permet pas de connaître exactement la

Chapitre I. Etude bibliographique

nature et les propriétés bio-physico-chimiques des déchets destinés à l'encaissement cette caractérisation du gisement est cependant indispensable dans un objectif d'évaluation du comportement des déchets aux conditions d'enfouissement. Les caractéristiques à considérer sont les suivantes :

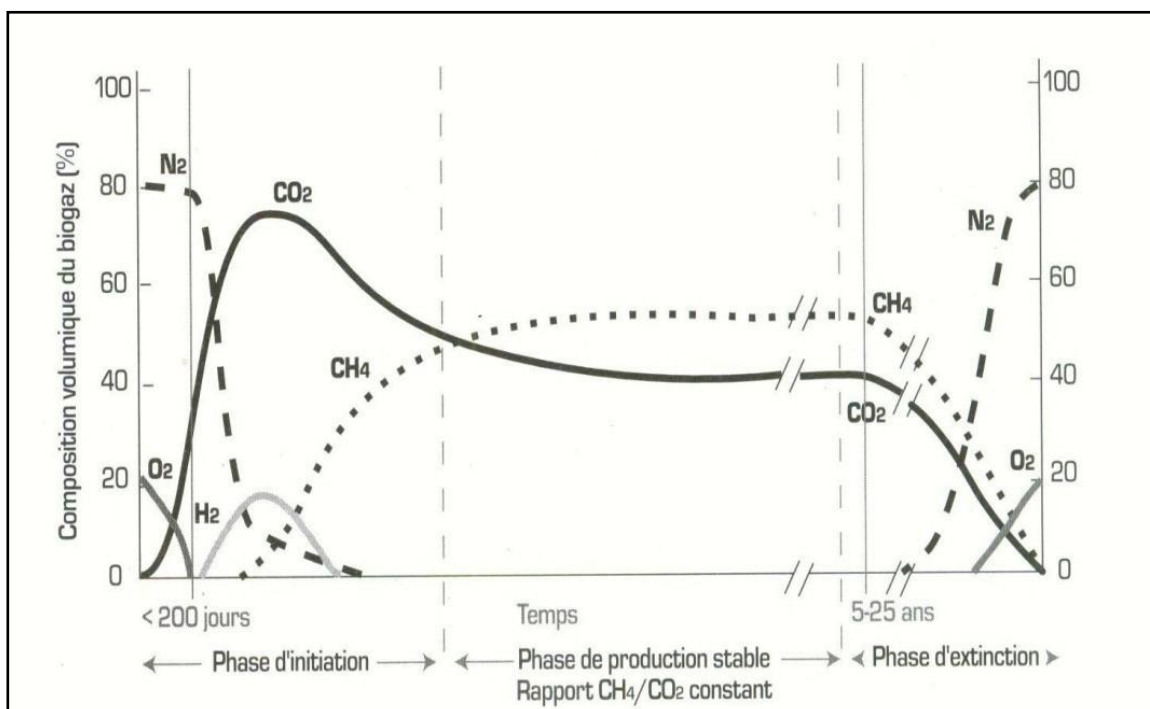
- caractéristiques physiques,
- caractéristique chimique (analyse élémentaire et fraction soluble)
- caractéristiques biochimique (cellulose, lignine, lipide)
- caractéristiques biologiques (biodégradabilité)

I.7. Gestion des émissions gazeuses : le biogaz

La gestion du biogaz des décharges a pour but de maîtriser les impacts sur l'environnement et les risques pour les personnes et les biens (ADEME, 2001). [11]

I.7.1. Mécanisme de production du biogaz

La production de biogaz est un phénomène naturel et provient de la fermentation de la matière organique (Figure 1). Au départ l'oxygène et l'azote ainsi que le gaz carbonique produit par la dégradation de la matière organique sont les composants essentiels. La production de biogaz atteint un maximum puis décroît et dure plusieurs dizaines d'années. Dès que la production de biogaz devient très faible, l'air pénètre à nouveau dans le casier et le reste des matériaux biodégradables, les fermentations produiront du gaz carbonique [4].



Chapitre I. Etude bibliographique

Figure 1: Evolution de la composition gazeuse d'une décharge. (ADEME, 2001).

Le potentiel calorifique du biogaz de décharge, est estimé à 5,9 KWh/m³, soit les deux tiers du gaz naturel, si la concentration volumique de méthane dans l'atmosphère est comprise entre 5,3 et 14 %, il y a risque d'inflammabilité, et il y aura risque d'exploitation dans un volume fermé, dont la limite supérieure d'inflammabilité passe à 15 %.[12]

I.7.2. Traitement du Biogaz

a) Combustion

Le traitement du Biogaz par combustion est fait par l'intermédiaire d'une torchère. Deux types de torchère existent actuellement [4] :

- La torchère à combustion externe ou à flamme qui dépasse le fût, et dans laquelle le gaz est incinéré à une température de 800 à 850°C;
- La torche à combustion interne ou à la flamme, se situe dans un fût de 6 à 8 m de haut et dans laquelle le gaz est incinéré à environ 1000°C. Le temps de rétention du gaz est supérieur à 0,3 secondes, ce qui permet une destruction complète des hydrocarbures halogénés.

b) Valorisation

Différents types de valorisation sont envisageables :

- La production d'électricité;
- La production de chaleur;
- La vente du gaz.

La loi 01-19 impose la collecte et le traitement du biogaz afin de protéger l'environnement par la réduction des nuisances olfactives et émissions de gaz à effet de serre, afin d'assurer la sécurité du site (incendie, asphyxie). De plus pendant l'exploitation, l'analyse du biogaz permet de quantifier l'air extérieur infiltré qui contribue à la dilution du biogaz (Abdeli 2020) [12]

I.8. Paramètres de suivi du biogaz

I.8.1. Caractérisation du biogaz

Le biogaz est produit par la décomposition anaérobie de la matière organique contenue dans les déchets. La directive européenne 1999/31/CE définit le gaz de décharge "comme étant tous les gaz produits par les déchets mis en décharge "d'autres produits sont également présents tels le sulfure d'hydrogène, l'hydrogène, les mercaptans et des composés organiques

Chapitre I. Etude bibliographique

volatils .Il est produit par la décomposition anaérobie de la matière organique contenue dans les déchets.

I.8.2. Composition du biogaz

Le biogaz est un mélange gazeux hétérogène et évolutif, résulte de la dégradation de la matière organique. En condition anaérobie il est constitué de 40% à 60% de méthane, de 35% à 50% de dioxyde de carbone, de composés sulfurés (mercaptan et hydrogène sulfuré) et de nombreux autres éléments à l'état de traces, sa composition chimique dépend de la nature des déchets, le taux de compactage , l'humidité, la température.... Le tableau 1 résume les paramètres et les appareils à utiliser pour l'analyse du biogaz

Tableau 1: Paramètres à analyser dans le biogaz et Appareils nécessaires pour ces analyses.

Classes	Paramètres	Méthode de mesure
Propriétés chimiques : Composés inorganiques	CO ₂ , CO, O ₂ , N ₂ , NH ₃ , H ₂ S.....	- Analyse infrarouge (IR) pour le CO ₂ - Capteur électrochimique pour O ₂ - Chromatographie gazeuse pour tous les gaz
Propriétés chimiques : Composés organiques	CH ₄ , Alcanes, Alcènes, Composés Organiques Volatils (COV) : Hydrocarbures Aliphatiques Polycycliques (HAP), Composés sulfurés ou aromatiques...	- Analyse infrarouge (IR) pour CH ₄ et pour CO ₂ - Chromatographie gazeuse pour tous les gaz
Propriétés physiques	Température, Pression, Débit et Humidité	- Capteurs utilisés dans l'industrie : Thermocouple - Capteurs de pression, sondes ou anémomètres pour la pression et le débit

I.8.3. Quantification du biogaz

Le calcul de la production de biogaz d'un site a pour objectifs :

- L'évaluation du potentiel de pollution atmosphérique d'un site;
- L'évaluation du potentiel de valorisation d'un gaz.

Jusqu'aux années 80 les émissions de LGF n'étaient pas considérées comme un problème important lié au réchauffement climatique mais beaucoup plus à une source énergétique. Il

Chapitre I. Etude bibliographique

apparaît donc que les premiers modèles simulant la production des LFG étaient orientés vers la récupération de gaz pour une utilisation énergétique. C'est au début des années 90 que les modélisations ont été dirigées vers la quantification des GHG, juste avant la déclaration par United Nations Framework Convention on Climate Change

Depuis, plusieurs modèles mathématiques pour le calcul des LFG générés par la matière organique biodégradable contenue dans les déchets ménagers ont fait leur apparition. On peut citer les plus importants :

- IPCC default model (DM (Inter governmental Panel on Climate Change)
- IPCC First order decay (FOD) model,
- First order model (FOD),
- Multi-phase model,
- Landfill Gas Emissions Model LandGEM,
- Modified Triangular Method (MTM),
- GasSim (Environment Agency UK and Golder Associates)
- EPER model France (ADEME)
- EPER model Germany (Umwelt Bundesamt).

I.9. Production de biogaz décharges en fonction des conditions climatiques

Dans les pays humides tels qu'en Algérie, l'évolution des décharges est guidée par une activité microbiologique importante. Celle-ci, comme tout processus microbiologique, est directement tributaire de la teneur en eau de la décharge. Le taux d'humidité dans la décharge est un paramètre très important qui va conditionner le type d'évolution de la décharge. Il est essentiellement défini par les conditions climatiques et l'hydrogéologie locale. Par exemple, en Algérie, le nord est défini sur la base du régime des pluies: pluviométrie et répartition sur l'année. Ceci peut amener certains wilaya particulièrement grands à être divisés globalement en deux ou plusieurs zones climatiques avec leurs exigences propres en matière de gestion des décharges. Les villes situées en zone climatique désertique ne présentent ni réserves d'eau, ni humidité au sol. On s'attend à n'observer aucune dégradation microbiologique de déchets de décharges ainsi situées.

Climat

Les conditions climatiques (précipitations, température et vent) jouent un rôle certain dans l'étude de l'implantation d'un CET dans une région donnée

La pluviométrie

Chapitre I. Etude bibliographique

La pluviométrie est généralement supérieure à 600mm par an en moyenne dans l'Algérie.

La température

La température constitue un facteur important pour notre étude car elle intervient dans la fermentation des déchets.

L'humidité

Le degré d'humidité d'un centre de stockage des ordures ménagères est un élément essentiel pour la décomposition anaérobie et la production de CH₄. Une méthode simplifiée suppose que le degré d'humidité (teneur en eau) d'un casier est proportionnel à la précipitation annuelle moyenne.

I.10 Réchauffement climatique :

Le réchauffement climatique est un phénomène mondial de changement du climat de la Terre. Il résulte de causes naturelles qui agissent sur le long terme et de causes humaines. Les activités humaines (industries, transports, agriculture) favorisent en effet l'émission de gaz à effet de serre (GES), qui semblent participer à la modification du climat dans le sens du réchauffement. Le changement climatique pourrait impliquer d'autres phénomènes tels que l'augmentation des catastrophes naturelles. On l'appelle aussi réchauffement global ou parfois global, car il augmente la température sur la plupart des océans et de l'atmosphère terrestre et il reflète une augmentation de la quantité de chaleur retenue à la surface de la terre.



I.11 Les causes du changement climatique ?

Chapitre I. Etude bibliographique

Le réchauffement climatique en lui-même est un phénomène naturel. Car bien avant la révolution industrielle « les sociétés ont dû faire face à des changements graduels ou abrupts du climat durant des millénaires ». Les variations de températures de l'atmosphère sont généralement liées à différents facteurs comme les fluctuations de l'activité du soleil ou la vitesse de la terre. Mais la majorité des scientifiques pensent que la cause majeure du réchauffement actuel de la planète est un phénomène, appelé « effet de serre ».

L'effet de serre est un phénomène naturel de la basse atmosphère (troposphère), qui contribue à retenir une partie de la chaleur solaire à la surface de la Terre, par le biais du pouvoir absorbant de certains gaz.

Ces gaz sont : l'Azote (N_2), l'Oxygène (O_2), l'eau sous forme de vapeur (H_2O), le Dioxyde de Carbone (CO_2), le Méthane (CH_4), l'Ozone Troposphérique (O_3), l'Oxyde Nitreux (N_2O), ainsi que le Chlorofluorocarbure (CFC).

En effet le rayonnement solaire, émis sous forme de courtes longueurs d'ondes, dont 30 % sont faiblement réfléchies par l'atmosphère et 70 % parviennent à la surface de la terre, ce qui provoque un réchauffement de cette dernière.

En réponse à cette absorption de chaleur, la surface terrestre émet un rayonnement de grandes longueurs d'onde (infrarouge) en direction de l'espace par certains gaz de l'atmosphère dits « gaz à effet de serre » qui renvoient une partie de ce rayonnement vers la terre. Ces gaz empêchent ainsi le refroidissement de la terre mais permettent son réchauffement.

L'effet de serre en lui-même est très utile pour la régulation de la température de la terre et il est régulé par divers facteurs environnementaux. Des réservoirs de carbones dits « puits de carbones » permettent de fixer le carbone, ce qui est le rôle des océans et du sol, et de le transformer, ce qui est le rôle de la biosphère. Les éruptions volcaniques influencent également sur l'atmosphère en émettant de grandes quantités de poussières et de composants soufrés qui participent activement à l'effet de serre.

Par exemple l'éruption du volcan El Chichon au Mexique en 1982 permit une baisse de la température mondiale de $-0,35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Cependant, il est d'autant plus important de souligner que les influences naturelles ne permettent pas d'expliquer la hausse rapide des températures à la surface du globe. La cause la plus probable de l'accélération de l'effet de serre et du réchauffement planétaire depuis la fin du XIX siècle est l'impact de l'Homme sur l'environnement.

I.12 Les mécanismes climatiques :

Chapitre I. Etude bibliographique

Le Soleil, par l'énergie que la Terre en reçoit, est le moteur principal de la machine climatique. L'énergie rayonnée par le Soleil fait l'objet d'observations dont la précision s'est accrue avec les données fournies par les satellites.

Une partie de l'énergie solaire (principalement contenue dans la partie visible du spectre électromagnétique) est directement renvoyée vers l'espace par les nuages et la surface terrestre (albédo) ; l'autre partie est absorbée par le sol et les océans. En situation d'équilibre, ces derniers rayonnent toute cette énergie dans l'infrarouge en direction de l'espace. Mais l'atmosphère, à son tour, absorbe une partie de ce rayonnement terrestre et le réémet à la fois vers l'espace et vers le sol. La surface de la Terre est donc plus chaude qu'elle ne le serait sans atmosphère : c'est ce qui est connu sous le nom d'effet de serre. Les molécules responsables de cet effet sont la vapeur d'eau, le gaz carbonique et d'autres gaz comme le méthane et le protoxyde d'azote.



Figure.2: Mécanisme de l'effet de serre.

II. Gaz à effet de serre :

L'effet de serre est un phénomène naturel par lequel une partie de l'énergie solaire qui est émise par la terre est absorbée et retenue sous forme de chaleur dans la basse atmosphère. Certains gaz de l'atmosphère terrestre agissent à la manière des parois d'une serre : ils permettent à l'énergie solaire d'entrer dans l'atmosphère mais l'empêchent de s'en échapper.

Un grand nombre de ces gaz sont naturellement présents dans l'atmosphère, mais l'activité humaine accroît les concentrations de certains d'entre eux dans l'atmosphère,

Chapitre I. Etude bibliographique

En particulier :

- La vapeur d'eau
- Le dioxyde de carbone (CO_2)
- Le méthane (CH_4)
- L'oxyde nitreux (N_2O également appelé protoxyde d'azote)
- L'ozone (O_3)

Chapitre II.

Matériel et méthodes

Chapitre II. Matériel et méthodes

I.1 Présentation de la zone d'étude

Notre étude s'intéresse à estimer les quantités de CH₄ produites dans neuf wilayas d'Algérie (Alger, Oran, Sétif, Blida, Batna, Tizi-ouzou, Chlef, Msila et Djelfa).

Le choix des wilayas a été fait, d'une part selon la taille des villes : des grandes villes accueillant plus d'un million d'habitants. Et d'autre part, selon les quantités des déchets ménagers enfouis.

Le travail sur 20 CET et 20 décharge dont leurs détails sont résumé dans le tableau n°1.

Tableau n°2 : Présentation de la zone d'étude.

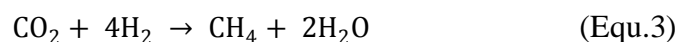
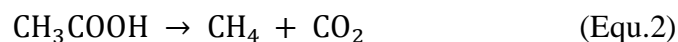
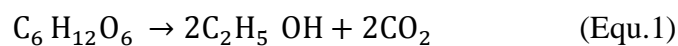
Wilaya	Installation de traitement	Nombre de Casier	Quantité traité en 2020	Etat de casier
<u>ALGER</u>	1 CET	3	873 941,41	2 fermés 1 en exploitation
<u>Blida</u>	3 CET 2 décharge contrôlée	5	290000,29	5 en exploitation
<u>Tizi Ouzou</u>	1 CET 4 Décharge contrôlé	6	158741,39	1 fermé 5 en exploitation
<u>Batna</u>	3 CET 6 Décharge contrôle	10	193785	10 en exploitation
<u>Setif</u>	3 CET 2 Décharge contrôle	7	210687	2 fermé 3 en exploitation 1 projet en gel 1 A l'arrêt
<u>Djelfa</u>	3 CET 9 Décharge contrôle	15	119550,9	2 fermé 12 en exploitation 1 en cour de réalisation
<u>Chlef</u>	2 CET 1 Décharge	4	84311,4	1 fermé 3 en exploitation
<u>Oran</u>	3 CET 1 DC	5	153001.6	1 fermé 4 en exploitation
<u>Msila</u>	3 CET 4 DC	7	94677.2	2 fermé 3 en exploitation 1 en cours de réalisation

Chapitre II. Matériel et méthodes

I.2. Composition des déchets ménagers

La connaissance de la composition des déchets ménagers est l'un des facteurs les plus déterminants pour évaluer le potentiel de production des LFG. En effet, la quantité du LFG est en relation directe avec la matière organique biodégradable contenue dans les déchets. Juste après la mise en décharge des MSW, la matière organique commence dans une première étape (hydrolyse) à se dégrader par l'intermédiaire de bactéries fermentatives qui hydrolysent la matière organique en composés solubles (Addou, 2009) [7]. Cette étape d'hydrolyse n'est effective qu'en présence d'une teneur importante en humidité. S'il n'y a pas suffisamment d'humidité, la formation du gaz devient problématique et il risque de ne pas se former.

Dans la seconde période (acidogènes), les bactéries acidogènes transforment ces molécules simples en acides et alcools de faible poids moléculaire (acide lactique, acides gras volatils, éthanol), ainsi que de l'hydrogène moléculaire. La troisième phase (acétogènes) fait intervenir les bactéries réductrices acétogènes et sulfato-réductrices avant la synthèse du méthane (équation 1). Enfin, dans la quatrième étape (méthanogènes), le méthane est formé par des bactéries méthanogènes, par décomposition des acides en méthane et en dioxyde de carbone, et par réduction du dioxyde de carbone avec de l'hydrogène (équations 2 et 3). (Addou, 2009) [7]



I.3. Modèle de calcul

Jusqu'aux années 80 les émissions de LFG n'étaient pas considérées comme un problème important lié au réchauffement climatique mais beaucoup plus à une source énergétique. Il apparaît donc que les premiers modèles simulant la production des LFG étaient orientés vers la récupération de gaz pour une utilisation énergétique (Oonk 2012) [8]. C'est au début des années 90 que les modélisations ont été dirigées vers la quantification des GHG.

Depuis, plusieurs modèles mathématiques pour le calcul des LFG générés par la matière organique biodégradable contenue dans les MSW ont fait leur apparition. On peut citer les plus importants :

Chapitre II. Matériel et méthodes

- IPCC default model (DM (Inter governmental Panel on Climate Change) (IPCC, 2006)
- IPCC First order decay (FOD) model
- First order model (FOD) (abdeli 2015).[10]
- Multi-phase model (Afvalzorg, 2014).[13]
- Landfill Gas Emissions Model LandGEM (US-EPA, 2005).[14]
- Modified Triangular Method (MTM) (Kumar et al., 2004) [15]
- GasSim (Environment Agency UK and Golder Associates)
- EPER model France (ADEME) [2]
- EPER model Germany (Umwelt Bundesamt)

Dans cette étude, la production annuelle des landfills gaz a été calculée en utilisant quatre modèles basés sur des équations du premier ordre ou leurs variations incluant des modèles monophasés (phase models) et qui sont largement utilisés par les praticiens:

- (i) IPCC Default Method (DM) Intergovernmental Panel on Climate Change) [IPCC 1996]
- (ii) IPCC First Order Decay (FOD) model (Intergovernmental Panel on Climate Change) [IPCC 2006]
- (iii) Landfill Gas Emissions Model (LandGem) [US Environmental Protection Agency 2005]
- (iv) Modified Triangular Method (MTM) (Kumar et al., 2004) [15]

I.3.1 IPCC

Le modèle de déchets IPCC offre deux options, parmi lesquelles il convient de choisir en fonction des données d'activité disponibles, pour estimer les émissions de méthane de CET produites par les déchets ménagers. La méthodologie par défaut IPCC-DM est basée sur le rendement de gaz théorique (opération de bilan massique). C'est un modèle à phase unique basé sur les déchets en vrac. La deuxième option, l'IPCC-FOD, est une méthode théorique cinétique de premier ordre, à plusieurs phases, à travers laquelle les lignes directrices de l'IPCC introduisent le modèle de dégradation de premier ordre. Il basé sur les données de la composition des déchets. Les volumes de chacun des types de déchets dégradables (aliments, déchets de jardins et de parcs, papier et carton, bois, textiles, etc.). La principale différence entre les deux méthodes réside dans le fait que la méthode IPCC-DM ne tient pas compte de l'accumulation et du processus de dégradation, car elle suppose que tout le méthane potentiel est libéré l'année où les déchets solides sont éliminés, alors que les émissions réelles sont

Chapitre II. Matériel et méthodes

reflétées dans la méthode FOD. La méthode par défaut est simple et les calculs d'émissions ne nécessitent que la saisie d'un ensemble limité de paramètres, pour lesquels les lignes directrices de l'IPCC fournissent des valeurs par défaut, lorsque les quantités et les données spécifiques au pays ne sont pas disponibles.

I.3.2 Default Method (1996. DM Tier 1)

Cette méthode est la plus simple pour l'évaluation des émissions de méthane qui est basée sur l'approche des bilans de matières des déchets enfouis et le coefficient d'émission de méthane, sans tenir compte des quantités de carbone accumulé dans les CET sur des longues durées, comme le bois et le papier qui se décomposent très lentement et s'accumulent dans les CET. La quantité de CH₄ émise est donnée par l'équation 4 :

$$\text{CH}_4 \text{ émis} = \text{MSW}_T \cdot \text{Coefficient d'émission} \quad \text{Equ 4}$$

Le coefficient d'émission est donné par l'équation 5 :

$$\text{Coefficient d'émission} = \text{MSW}_f \cdot \text{MCF} \cdot \text{DOC} \cdot \text{DOC}_f \cdot F \cdot \left(\frac{16}{12} - R\right) \cdot (1 - \text{OX}) \quad \text{Equ 5}$$

Soit :

$$E_{\text{CH}_4} (\text{Gg} \cdot \text{yr}^{-1}) = \text{MSW}_T \cdot \text{MSW}_f \cdot \text{MCF} \cdot \text{DOC} \cdot \text{DOC}_f \cdot F \cdot \left(\frac{16}{12} - R\right) \cdot (1 - \text{OX}) \quad \text{Equ 6}$$

Where :

ECH₄ représente la quantité de CH₄ émise durant l'année d'inventaire T (Gg.yr⁻¹)

- MSWT est le total des déchets solides municipaux générés (Gg an/an)
- MSWF est la fraction des MSW éliminés sur le site d'enfouissement
- MCF est le facteur de correction du méthane = (valeur par défaut du GIEC)
- Le COD est la fraction de carbone organique dégradable (déchets alimentaires, papier, textile et bois)
- DOCF est la fraction DOC dissimulée
- F est la fraction de CH₄ dans le gaz de décharge)
- R est récupéré CH₄ (Gg/an.)
- OX est le facteur d'oxydation fractionnaire

I.3.3 IPCC First order decay (FOD Tier 2)

Les émissions de CH₄ issues de l'élimination des déchets solides pendant une seule année peuvent être estimées à l'aide de l'équation 7. Le CH₄ est généré par la dégradation de la matière organique dans des conditions anaérobies. Part of the CH₄ generated is oxidised in la

Chapitre II. Matériel et méthodes

couverture de la décharge, ou peut être récupéré pour l'énergie ou le torchage. Le CH₄ effectivement émis par les CET sera donc inférieur à la quantité générée (Addou) [7]

$$\text{CH}_4 \text{ émis}_T = (\sum_x \text{CH}_4 \text{ produit}(x, T) - R(T)) \cdot (1 - OX(T)) \quad \text{Eq 7}$$

Ou:

CH₄ Emissions = CH₄ émit dans l'année *T*, Gg

T = l'année d'inventaire

x = catégorie de déchets ou type/matériel

RT = recovered CH₄ in year *T*, Gg

OX (*T*) = facteur d'oxydation de l'année *T*, (fraction)

Le CH₄ récupéré doit être déduit du volume de CH₄ produit. Seule la fraction de CH₄ non récupérée sera soumise à oxydation dans la couche de surface du CET. Par conséquent les émissions réelles sont reflétées dans la méthode FOD. La quantité de CH₄ réellement émise est, par conséquent inférieure à celle générée.

Carbone organique dégradable (DOC)

Le carbone organique dégradable (DOC) est le carbone organique dans les déchets qui est accessible à la décomposition biochimique et doit être exprimé en Gg C par Gg de déchets. Le DOC dans les déchets en vrac est estimé sur la base de la composition des déchets et peut être calculé à partir d'une moyenne pondérée de la teneur en carbone dégradable de divers composants (types de déchets / matériaux) du flux de déchets. L'équation 15 estime le COD à l'aide des valeurs par défaut de la teneur en carbone. Estimates COD using default carbon content values were determined by equation 15:

$$\text{DOC} = 0.4A + 0.17B + 0.15C + 0.3D \quad \text{Eq 15}$$

Ou

A la fraction est représentée par le papier et les textiles non recyclables

B représente la fraction est des déchets de jardin, les déchets de parc ou autres putrescibles organiques non alimentaires

C la fraction des déchets alimentaires et autres déchets biodégradables

D la fraction des déchets de bois ou de paille

La fraction de carbone organique dégradable (**DOCf**)

Chapitre II. Matériel et méthodes

La fraction de carbone organique dégradable qui se décompose (DOC_f) est une estimation de la fraction de carbone qui est finalement dégradée et libérée de CET. Elle reflète le fait que du carbone organique dégradable ne se dégrade pas, ou se dégrade très lentement, dans des conditions anaérobies dans les sites. DOC_f a été calculé en utilisant l'équation empirique 16 (Tabasaran, 1981):

$$0.014 T + 0.28 \quad \text{Eq 16}$$

(T est la température moyenne annuelle dans le district où se trouve les déchets ménagers)

I.3.4 LandGem Model

C'est un outil qui estime automatiquement l'émission des LFG à partir d'une interface Microsoft Excel. Il est basé sur le modèle FOD présenté par l'équation 17:

$$Q_{\text{CH}_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^n K_{\text{Lo}} \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \quad \text{Eq 17}$$

Where

Q_{CH_4} : génération annuelle de CH₄ (mg.yr⁻¹)

$i = 1$ incrément de temps de l'année (indice du modèle)

$n =$ (année de calcul) – (année initiale d'acceptation des déchets)

$j = 0.1$ incrément de temps de l'année (indice du modèle)

$k =$ CH₄ constante de taux de génération (année⁻¹)

$Lo =$ capacité potentielle de production de CH₄ (m³.Mg⁻¹)

$M_i =$ masse de déchets acceptés la ième année (Mg)

$T_{ij} =$ âge de la jème tranche de masse de déchets M_i acceptée dans l'année.

I.3.5 Méthode triangulaire modifiée (MTM)

Un autre modèle basé aussi sur the First Order Decay modélise l'émission du gaz en fonction du temps mais tient compte de deux types de déchets biodégradables, rapidement biodégradables et lentement biodégradables

En l'absence de données détaillées, il est supposé que le volume d'émission de méthane est identique à celui du DM et que la dégradation a lieu en deux phases.

Les déchets rapidement biodégradables sont les déchets alimentaires et les déchets de végétaux (jardin et de parc), le papier et le carton qui se décomposent quelques jours après avoir été enterrés dans le casier et peuvent nécessiter jusqu'à cinq ans pour être complètement

Chapitre II. Matériel et méthodes

décomposés. Cependant, le textile, le caoutchouc, le cuir et le bois, sont des lentement biodégradables. Ils commencent leur décomposition environ cinq ans après leur mise en décharge et peuvent durer jusqu'à 50 ans (Tchobanoglous, 1993). [6]

La méthode MTM s'adapte bien aux régions où les données sur les déchets ne sont pas adéquates. Elle suppose que les dégradations des déchets se produisent en deux étapes :

- (i) 1^{ère} étape : la dégradation des déchets commence un an après l'enfouissement des déchets et le taux de production de gaz atteint un maximum (pic) au cours des six premières années.
- (ii) 2^{ème} étape : la production de gaz diminue linéairement jusqu'à zéro à partir de la 16^{ème} année (figure 2).

Le modèle de production de gaz a une forme triangulaire (fig.2) [Kumar et al, 2004] [24]. En assimilant l'aire du triangle à la production totale de gaz, il est possible de calculer la production du méthane au cours de chacune des années $t + 1$ à $t + 16$. Elle est donnée par l'équation 18 :

$$G = 1,87 A_t C_0 \quad \text{Eq 18}$$

Où: A_t c'est la quantité de déchets enfouis dans l'année t .

L'émission de méthane estimée par le MTM est assimilée à l'aire du triangle. La valeur maximale de l'émission de méthane indiquée par h à la figure 2, est calculée en connaissant le volume de gaz et la base du triangle. En utilisant la valeur maximale (h), les autres ordonnées sont déterminées. La même procédure est appliquée pour chaque année et les valeurs des émissions de gaz pour les années consécutives sont additionnées pour obtenir le volume des émissions de méthane pour chaque année [Kumar et al, 2004] [15]

I.4 Potentiel énergétique

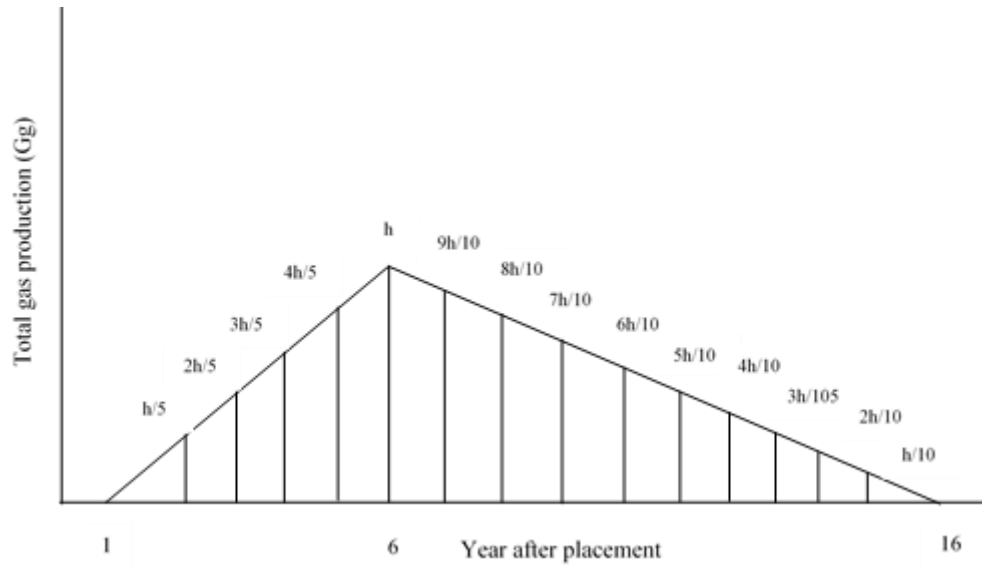


Fig 3: La method triangulaire modifiée

Chapitre III.

Résultats et discussion

Chapitre III. Résultats et discussion

III.1 Composition des déchets

La composition de déchets ménagers est influée à plusieurs facteurs : climat, mode de vie, situation géographique et les saisons. Le tableau ci-dessous regroupe les résultats d'analyse physique des déchets ménagers.

Tableau 3 : compositions des déchets ménagers des wilayas étudiées.

	Matière Organique	Papier /carton	Plastique	Métaux	Textile	verre	bois	Autres
Alger	54	13.4	16.4	1.7	11.6	1.7	0.1	1.1
Oran	52.3	7.2	24.9	1.7	9.9	1.7	0.1	2.2
Stif	68.6	12.2	9.65	1.75	3.6	1.25	0.37	2.68
Tizi-Ouzou	70	13.5	12	1.4	0.5	1.3	0.3	1
Batna	58.6	17.7	10.9	1.8	10.3	1.8	0.1	0.6
Djelfa	76.36	8.44	2.4	1.9	0.37	2.06	0.37	8.1
Blida	55.01	10.65	16.51	2.52	11.76	0.86	1.67	1.02
Chlef	62.9	13.2	12.7	0.6	5.2	1.9	0	3.5
Msila	40	10.7	15.6	2.7	15.8	1.5	1	12.7
Moyenne National	62.2	9	12	2	12	1	0.8	1

On remarque qu'au niveau des grandes villes côtières Alger, Oran et Chlef, la matière organique (fermentescible) oscille entre 50 et 60% alors qu'elle est entre 40% et 77% dans les grandes villes de l'intérieures. Cette différence reste liée aux différents modes d'alimentation entre les habitants des grandes villes du littoral plus portés vers les repas rapides, préparés ou en conserves, alors que pour ceux des villes intérieures, elle est plus orientée vers les céréales, les légumes secs, fruits et légumes de saison.

Le papier/carton représente entre 7% et 14 % dans les villes du littoral, 8% à 18% dans les villes intérieures. La moyenne nationale est de 9%. Les taux élevés du papier et carton à Batna est dû aux industries de fabrication de papier.

Chapitre III. Résultats et discussion

Le textile est important dans Alger, Oran, Batna, Blida et Msila (10 à 16%) à cause de l'existence d'industrie du textile. Pour les autres villes, le taux varie entre 2 et 5%.

Cette matière biodégradable est constituée principalement de :

Matières organiques : Déchets de cuisine, déchets alimentaires, produits alimentaires non consommés, déchets de jardin et de parc, feuilles, rognures de gazon, autres

Papier et carton : les journaux, les magazines, prospectus papiers de bureau, emballages papier, emballages en carton, autres.

Textiles : Textiles (tissus, microfibres...), textiles sanitaires

Pour les autres catégories de déchets, elle représente une minorité par rapport à la fraction biodégradable. Elle est de l'ordre de 20%.

III.2 Evaluation des quantités de méthane généré par les différents modèles

Les niveaux 1 et 2 ont été utilisés pour les deux modèles IPCC en tenant compte des données spécifiques relatives aux MSW. L'application des équations 15 et 16 nécessitent la connaissance des paramètres liés à la caractérisation et du type des déchets, des quantités enfouies, du facteur de correction, de certaines pratiques au niveau des CET. Les valeurs de paramètres d'entrée (input) MSW_T , MSW_F , MCF, DOC, DOC_F , F, R and OX ont été pris par défaut (IPCC-DM) ou calculées (IPCC-FOD). Elles sont présentées dans le tableau 3.

Les valeurs de COD dans IPCC-FOD sont prises par défaut.

Tableau 4. Les paramètres d'entrée pour les modèles IPCC-DM and FOD

Landfills	MSW_f		MCF		DOC		DOC_f		F		R		OX	
	DM	FOD	DM	FOD	DM	FOD	DM	FOD	DM	FOD	DM	FOD	DM	FOD
Alger	0.7	1	1	1	0.140	calculated by default	0.77	0.5	0.5	0.5	0	0	0.1	0
Oran	0.7	1	1	1	0.113		0.77	0.5	0.5	0.5	0	0	0.1	0
Stif	0.7	0.93	1	1	0.157		0.77	0.5	0.5	0.5	0	0	0.1	0
Tizi-Ouzou	0.7	0.88	1	0.8	0.165		0.77	0.5	0.5	0.5	0	0	0.1	0
Batna	0.7	1	1	1	0.162		0.77	0.5	0.5	0.5	0	0	0.1	0
Djelfa	0.7	0.87	1	0.8	0.154		0.77	0.5	0.5	0.5	0	0	0.1	0
Blida	0.7	0.4	1	0.8	0.131		0.77	0.5	0.5	0.5	0	0	0.1	0
Chlef	0.7	0.94	1	1	0.153		0.77	0.5	0.5	0.5	0	0	0.1	0
Msila	0.7	0.9	1	1	0.108		0.77	0.5	0.5	0.5	0	0	0.1	0

Chapitre III. Résultats et discussion

Moyenne National	0.7	0.77	1	1	0.135		0.77	0.5	0.5	0.5	0	0	0.1	0
-------------------------	-----	------	---	---	-------	--	------	-----	-----	-----	---	---	-----	---

III.3 Résultats de l'évaluation des quantités de méthane par les différents modèles

Notre étude a commencé de 2011 jusqu'en 2021 pour l'ensemble des CET et décharges.

Au cours de cette période, des données détaillées sur les quantités de déchets déposés de 2011 à 2021 étaient disponibles ; par conséquent, les modèles pourraient être calculés. Les déchets entrants dans les décharges ne sont pas correctement éliminés et, à certains endroits, des conditions aérobies peuvent être fournies en raison d'une couverture inadéquate. Par conséquent, le facteur d'impact de 0,7 est pris en compte pour les déchets contribuant à la production de gaz. Les émissions de méthane respectives par les modèles IPCC-DM, IPCC-FOD, LandGem et MTM sont présentées dans le tableau 4.

Tableau n°5 : Résultats de l'évaluation

		IPCC-DM	IPCC-2006	LandGem	MTM
Alger	Quantité CH ₄ (2010-2021) Gg	2772,4	2624,8	1339,2	1404,986
	Pic (Gg)	--	105,31	74,6	53,8
	Année de pic	--	2041	2032	2022
	Période d'étude	--	65	21	16
Oran	Quantité CH ₄ (2010-2021) Gg	236,4157	160,0053	113,0186	119,8296
	Pic (Gg)		45.06	32966,00	19.19
	Année de pic		2047	2032	2022
	Période d'étude		65	21	16
Blida	Quantité CH ₄ (2010-2021) Gg	180,1963	129,5276	74.41743	91.33427
	Pic (Gg)		25.91	21.7065544	14.63
	Année de pic		2033	2032	2022
	Période d'étude		65	21	16
Batna	Quantité CH ₄ (2010-2021) Gg	234.73974	230.2504	100.8497	118.9800
	Pic (Gg)		47.2	29416.49	19.05
	Année de pic		2032	2032	2022
	Période d'étude		65	21	16
Sétif	Quantité CH ₄ (2010-2021) Gg	317.1562	284.534	124.6635	160.1574
	Pic (Gg)		75.07	34.94217	25.67

Chapitre III. Résultats et discussion

	Année de pic		2046	2031	2022
	Période d'étude		65	21	16
Djelfa	Quantité CH ₄ (2010-2021) Gg	237.7678	212.7467	102.1673	114.5201
	Pic (Gg)		98.81	37.27416	19.67
	Année de pic		2046	2032	2022
	Période d'étude		65	21	16
Chlef	Quantité CH ₄ (2010-2021) Gg	185.31429	143.93010	84.2296047	91.652382
	Pic (Gg)		29.83	24.56863	14.9
	Année de pic		2034	2032	2022
	Période d'étude		65	21	16
Tizi-Ouzou	Quantité CH ₄ (2010-2021) Gg	220.5091	187.7211	93.01375	112.1164
	Pic (Gg)		42.43	27130.84	17.92
	Année de pic		2039	2032	2022
	Période d'étude		65	21	16
Msila	Quantité CH ₄ (2010-2021) Gg	144.2836	56.58278175	92.31190	73.08465
	Pic (Gg)		17.61	26.92613	11.70
	Année de pic		2046	2032	2022
	Période d'étude		65	21	16
Moyenne nationale	Quantité CH ₄ (2010-2021) Gg	2772.236	5249.668	1339.207	1404.986
	Pic (Gg)		1742.635	390.7097	260.7996
	Année de pic		2087	2032	2027
	Période d'étude		65	21	16

Cette augmentation est attribuée à la variation de la composition des déchets ménagers et des quantités de dépôt, à l'âge, à la teneur élevée en carbone organique dégradable, à l'humidité, à la présence d'oxygène, aux précipitations, au contenu et à la température dans la zone anaérobie de la décharge, à la qualité de la couverture du site et au type de décharge.

Les valeurs estimées de 2010 à 2021 sont conformes à IPCC-DM> IPCC-FOD> LandGem> MTM. Ceci est en accord avec la plupart des résultats trouvés dans la littérature.

Cette différence réside dans le fait que les quantités de CH₄ augmentent les vingt premières années de production de méthane et tendent à être nulles entre 2070 pour l'IPCC et le LandGem. Pour le modèle MTM, la quantité tend à être nulle après 2058.

La méthode IPCC-DM repose sur l'hypothèse que le méthane potentiel est émis au cours des mêmes années depuis l'ouverture du site pour lequel des déchets solides sont déposés chaque année, ce qui peut ne pas être réaliste. Cette méthode donne une valeur d'émission supérieure

Chapitre III. Résultats et discussion

à celle du FCC IPCC. En effet, cette augmentation résulte de tout changement dans la quantité de déchets qui est immédiatement reflété dans les résultats du GIEC-DM, tandis que la méthode IPCC-FOD répond lentement aux changements. La méthode FOD nécessite une connaissance adéquate du processus de dégradation de la matière organique dans les décharges, car davantage de données sont nécessaires. De plus, chaque modèle suppose un taux de décomposition différent pour les déchets organiques biodégradables. D'autre part, les valeurs estimées à l'aide de la méthode MTM peuvent donner une valeur réaliste car elles sont basées sur l'hypothèse que la génération de gaz suit la forme triangulaire et que le gaz continuera à générer pour les 15 prochaines années. Chaque année, du méthane est généré à cause des déchets déposés au cours des 15 dernières années.

III.4 Total landfill gas (les gaz d'enfouissement)

Le modèle LandGem a été aussi utilisé pour estimer le dioxyde de carbone, le méthane et composés organiques non méthaniques (NMOC) en tant que landfill gaz. Le calcul est basé sur le rendement en CH₄ (Lo), le taux de génération k du méthane et les NMOC. Toutefois, ces derniers n'affectent pas l'estimation (en dessous de 1%) car le modèle LandGem suppose que le méthane et le CO₂ représentent pratiquement la totalité des émissions des landfills gaz.

Le tableau 6 résume les gaz d'enfouissement obtenus par LandGem avec les années de pic des émissions.

Tableau 6 : les gaz d'enfouissement obtenus par LandGem

	LFG	CH₄	CO₂	NMOC	L'année du pic
Alger	279	74.5	204	3.2	2032
Oran	123	32.9	90.4	1.41	2032
Blida	81,2	21.7	59.5	0.933	2032
Batna	112	29.4	80.7	1.26	2032
Sétif	136	34.9	95.8	1.5	2032
Djelfa	139	37.2	102	1.6	2032
Chlef	91.9	24.5	67.4	1.05	2032
Tizi Ouzou	100.2	24.2	60.5	1.15	2032
Msila	100	26.9	73.8	1.15	2032
Moyenne nationale	1460	390	1076	16.17	2032

D'après le tableau, la production maximale de méthane se produirait 21 ans après le début de la production de gaz d'enfouissement (2011), soit un pic en 2032 pour l'ensemble des wilayas étudiées. La quantité diffère selon les quantités enfouis.

La moyenne nationale des quantités de LFG ou les gaz d'enfouissement générées depuis 2010 à 2020 est plus de 4210,35275 Gg de LFG, avec 3085,72231 Gg de CO₂ et 1124,63044 Gg de

Chapitre III. Résultats et discussion

CH₄ qui représentent respectivement 73.29% et 26.71%. Avec un pic d'émission en 2032 à plus de 1460 Gg de gaz émis.

III.5. Potentiel énergétique

Le potentiel de production d'énergie électrique peut être estimé lors de la production d'énergie électrique chaque année (kWh/an) à partir du méthane émis depuis 2010 jusqu'en 2021. Ainsi, la masse de CH₄ (Gg) obtenue à partir des 2 modèles (MTM : minimum et IPCC-2006 : maximum) a été convertie en volume (m³).

Le potentiel de récupération d'énergie national en GWh depuis 2010 à 2021 est entre 5011,51184 et 9362,64014.

Les résultats sont groupés dans le tableau 7 et avec les valeurs obtenues des pics de production et de leurs années.

Chapitre III. Résultats et discussion

Tableau 7 :

Sites	Paramètres	Minimum	Maximum
Alger	Potentiel énergétique (2010-2021) (GWh)	1196163.85	1487849.08
	pic	192030.27	305064.23
	Année de pic	2022	2032
Oran	Potentiel énergétique (2010-2021) (GWh)	427425.67	315041.26
	pic	68471.12	63811.24
	Année de pic	2022	2032
Blida	Potentiel énergétique (2010-2021) (GWh)	325748.3	462017.9
	pic	52188	92437.58
	Année de pic	2022	2033
Tizi-ouzou	Potentiel énergétique (2010-2021) (GWh)	399913.26	669591.17
	pic	36939.72	152781
	Année de pic	2022	2039
Batna	Potentiel énergétique (2010-2021) (GWh)	424395.53	821290.77
	pic	67985.71	168395.29
	Année de pic	2022	2032
Sétif	Potentiel énergétique (2010-2021) (GWh)	573398.91	1014915.8
	pic	91855.94	267772.72
	Année de pic	2022	2046
Djelfa	Potentiel énergétique (2010-2021) (GWh)	408487.17	758856.12
	pic	70175.37	352452.86
	Année de pic	2022	2046
Chlef	Potentiel énergétique (2010-2021) (GWh)	326919.06	513390.86
	pic	53178.95	106424.17
	Année de pic	2022	2034
Msila	Potentiel énergétique (2010-2021) (GWh)	260688.97	201827.7
	pic	41787.12	26845.6
	Année de pic	2021	2046
Moyenne nationale	Potentiel énergétique (2010-2021) (GWh)	5011511,84	9362640,14
	pic	930258,268	6215884,31
	Année de pic	2027	2087

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'exploitation des centres d'enfouissement technique a permis une nette amélioration dans l'élimination des déchets ménagers solides de ces municipalités.

Cette étude a permis en premier lieu d'évaluer les quantités des CH₄ et CO₂ émises et les CO₂ équivalent suite à la dégradation de la matière organique stockée dans ces centres d'enfouissement techniques. Et dans un deuxième lieu nous avons estimé le potentiel énergétique dans le cas d'une valorisation en électricité.

Des modèles d'IPCC (1996, 2006), LandGem et MTM, ont été utilisés pour estimer les potentiels des gaz d'enfouissement à partir des déchets solides enfouis dans 20 CET et 20 décharges sauvages situés dans neuf grande wilaya d'Algérie. La validité et le succès d'une telle étude dépend en grande partie de l'estimation précise de ces gaz produits et aux modèles appliqués avec introduction de la qualité des données et les paramètres adéquats des déchets ménagers. Pour que cette évaluation soit représentative et validée, des mesures sur le terrain est indispensable et essentielle pour proposer le modèle ou une combinaison de modèles la plus appropriée.

La méthodologie présentée peut aider les décideurs à évaluer la production d'énergie potentielle à partir de déchets ménagers et des installations à installer.

Ces estimations indiquent que le méthane peut être récupéré comme source d'énergie économique et réduire considérablement l'effet de serre.

Ce travail conclut que tous les modèles prévoient des estimations d'émissions de méthane plus élevées que celles mesurées sur le site.

Références et bibliographique :

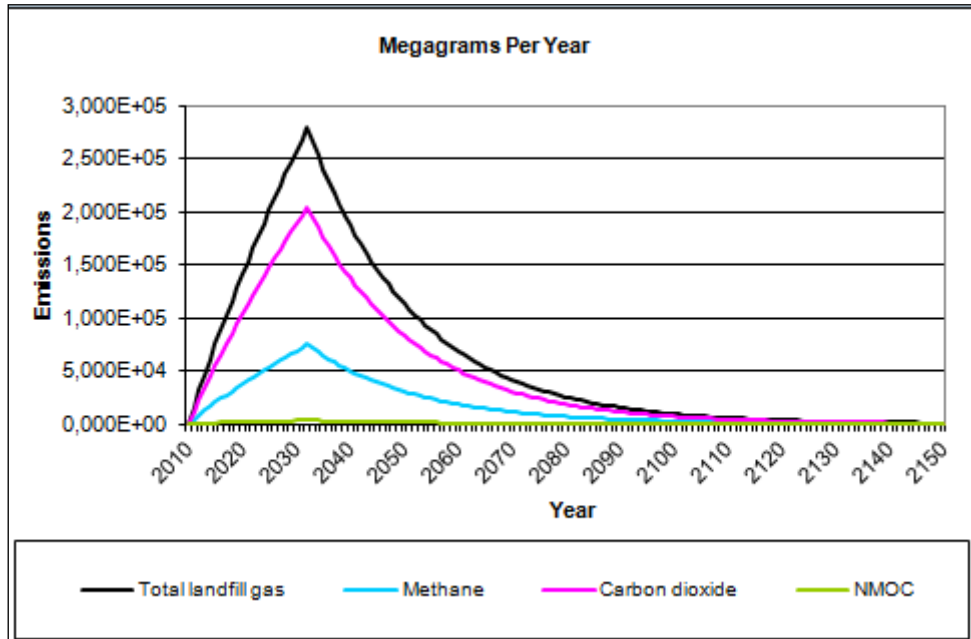
- [1] Mezouari, F., 2011. Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux. Thèse de Doctorat. Ecole Polytechnique d'architecture et d'urbanisme et l'université de Limoge, France.
- [2] Ademe, 1999. Composition des ordures ménagères en France (données et référence), 60 pages.
- [3] Giec, 1996. Intergovernmental panel on climate change. Guidelines for National Greenhouse gas inventories: Reference manual. Chapter 6: Waste.
- [4] Charney. F., 2005. Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de Doctorat. Université de Limoge, France
- [5] Khalil, M., 1999. Non-CO₂ greenhouse gases in the atmosphere. *Annu Rev Energy Environ* 24:645–61
- [6] Tchobanoglous, G., Thiessen, H., Vigil, S., 1993. *Water resources and environmental engineering*. New York: McGraw-Hill
- [7] Addou, A., 2009. Développement durable traitement des déchets valorisation élimination, Ed. Ellipses, France.
- [8] Oonk, H., 2012. Efficiency of landfill gas collection for methane emission reduction. *Greenhouse Gas Measure. Manage* 2(2–3): 129–45. doi:10.1080/20430779.2012.730798.
- [9] Agence national des déchets, 2014. Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-aride et aride d'Algérie. Algérie.
- [10] Abdelli, I S., Asnoune, M., Arab, Z., Abdelmalek, F., & Addou, A., 2015. Management of household waste in sanitary landfill of Mostaganem district (Western Algeria). *J Mater Cycles Waste Manag*. DOI 10.1007/s10163-015-0415-6.
- [11] ADEME, 2003. Outil de calcul des émissions dans l'air de CH₄, CO₂, SO_x, NO_x issues des centres de stockage de déchets ménagers et assimilés (version 0). French Environment and Energy Management Agency, March 2003. <https://www.declarationpollution.ecologie.gouv.fr/gerep/download/Annexe_2_Outil_de_calcul_ADEME_des_emissions_dans_lair_CH4_CO2_NOX_SO.pdf> (accessed June 2014).
- [12] Abdelli, I .S., Dahmane, S., Abdelmalek, F., Addou, A., 2020. Assessment of methane emission and evaluation of energy potential from municipal solide waste landfills. Energy sources, part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects DOI.org/10.1080/15567036.2020.1813221
- [13] Afvalzorgv, 2014. MS Excel sheet of the multiphase landfill gas generation and emission model, version April 2014. NV Afvalzorg Holding. http://afvalzorg.nl/EN/Landfillsites/Emissions-management/Methane-emissions/Download_MLGGR_Model.aspx (accessed June 2, 2014).

[14] U S EPA, 2005. User's manual, Landfill gas emissions model, Version 3.02. (US EPA600/R-05/047) United States Environmental Protection Agency.

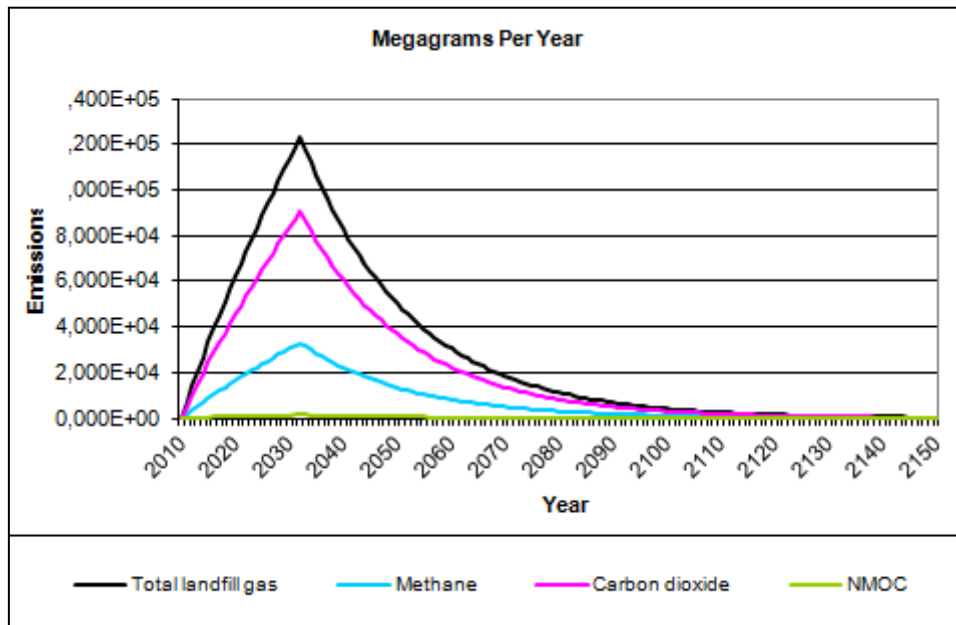
[15] Kumar, S., Mondal, AN., Gaikwad, SA., Devotta, S., & Singh, RN., 2004. Qualitative assessment of methane assessment inventory from municipal solid waste disposal sites: a case study. *Atmos Environ* 38:4921–9.

Annexe

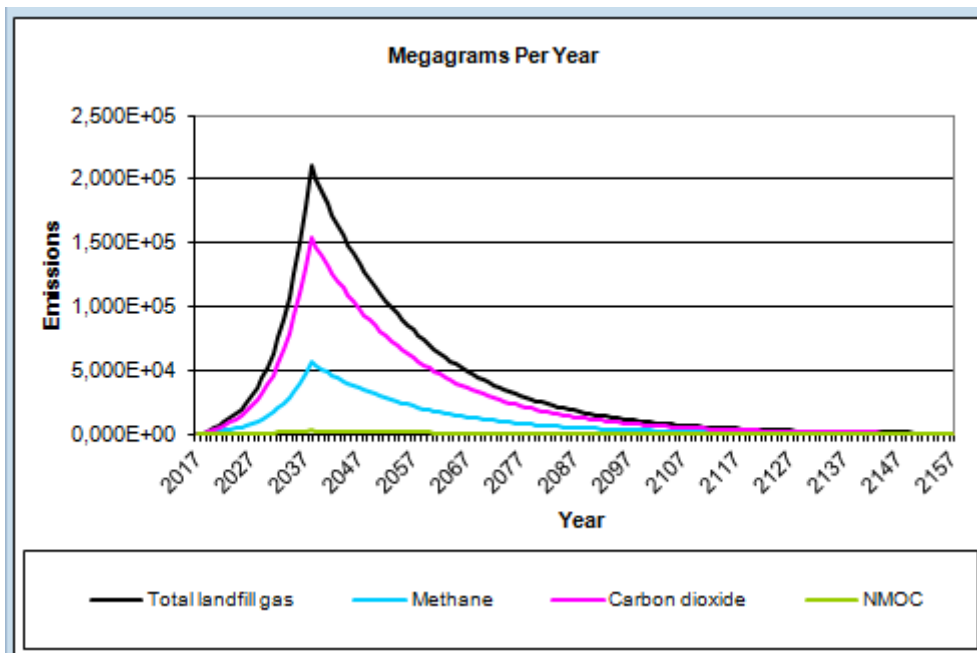
LFG Alger



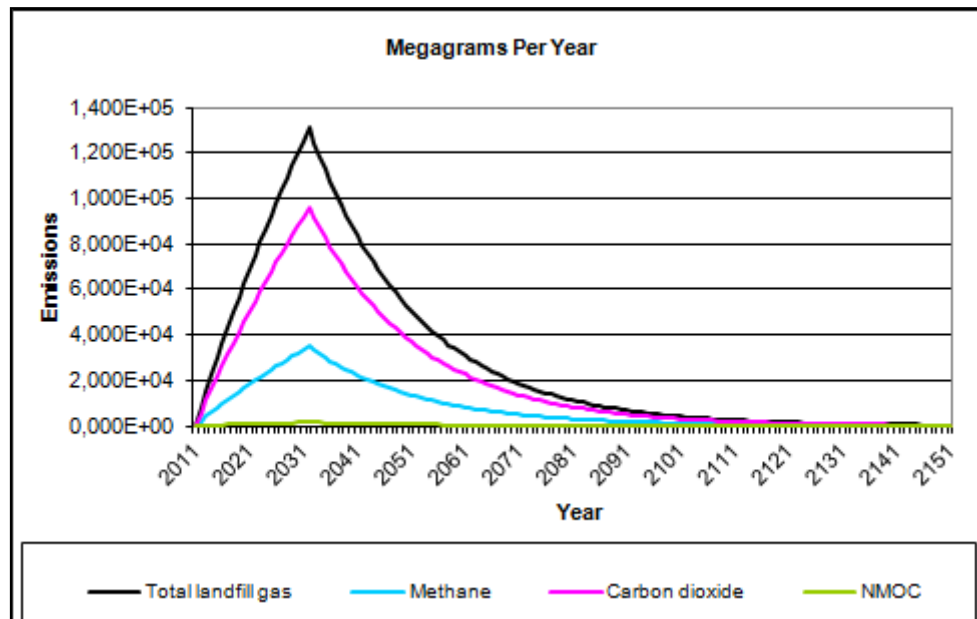
LFG Oran



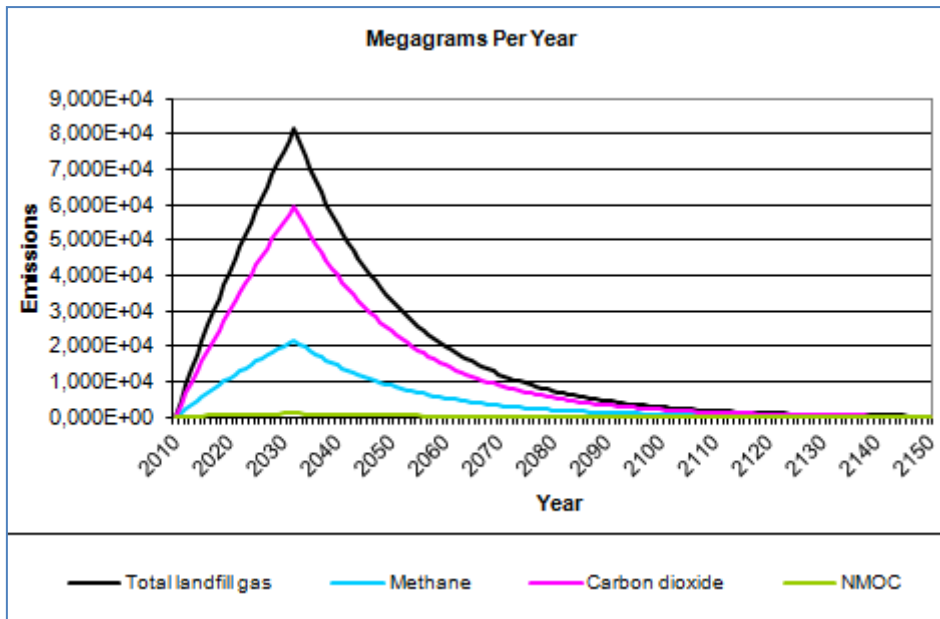
LFG Batna



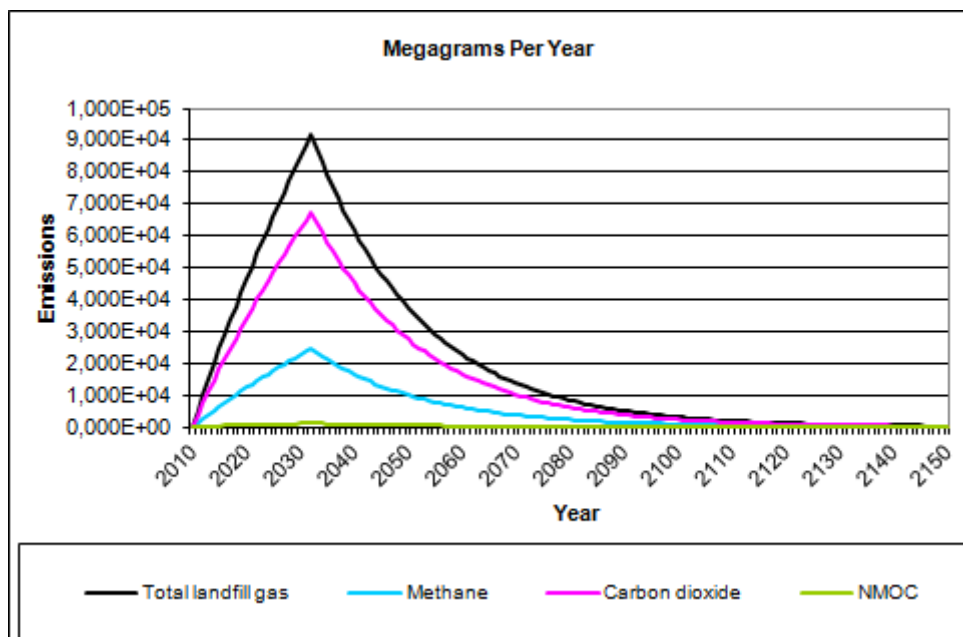
LFG Sétif



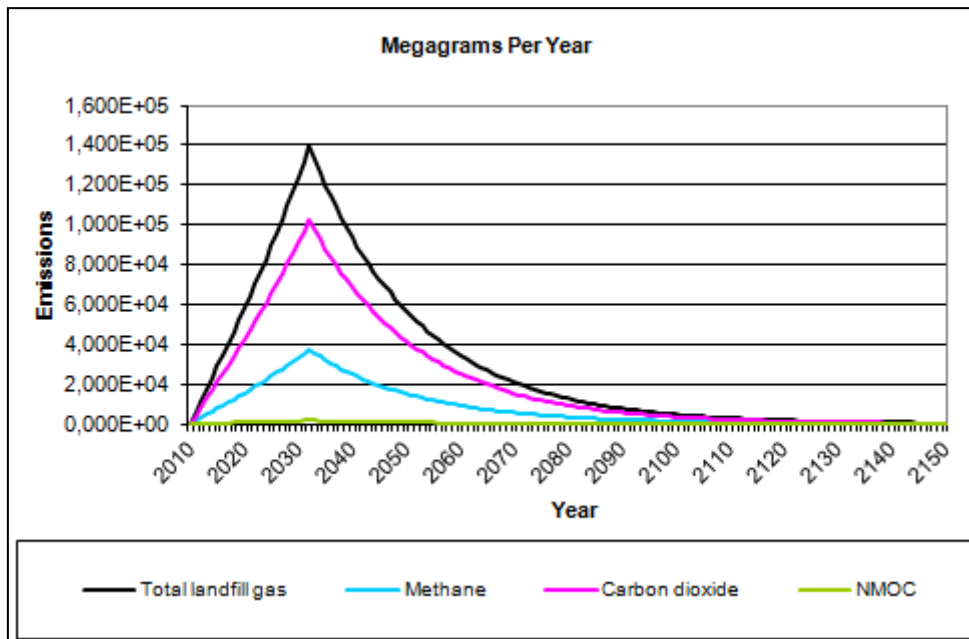
LFG Blida



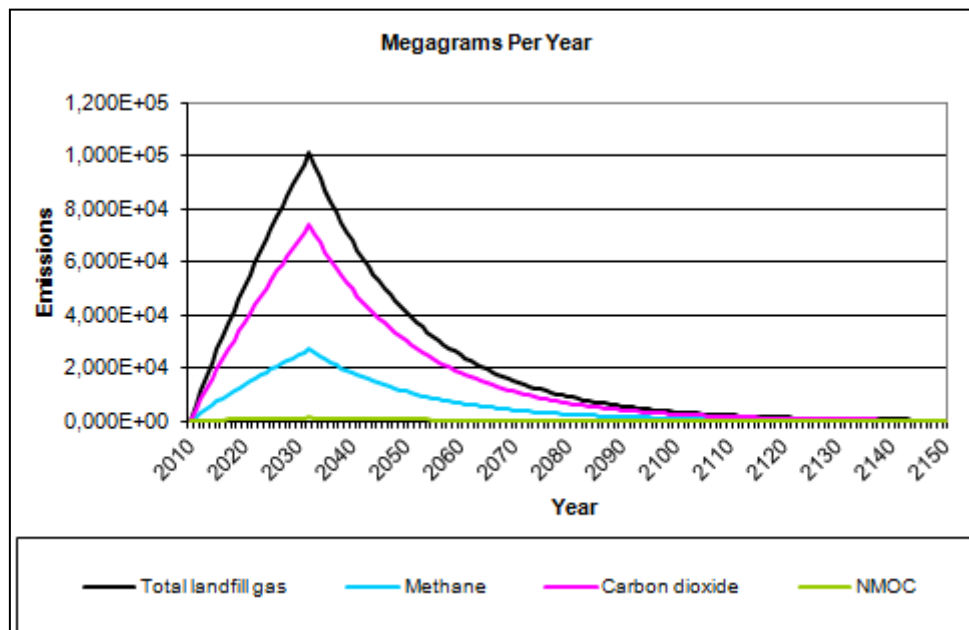
LFG Chlef



LFG Djelfa



LFG MSILA



LFG Moyenne National

