

Date de réception: 01/05/2019

Date d'acceptation: 2019/06/23

**Les Déchets et la méthanisation dans la réglementation
Algérienne : secteur de transition énergétique abandonné**

**Waste and anaerobic digestion in Algerian regulations:
abandoned energy transition sector**

Benaïssa Kheira

benaïssa.nawel1987@gmail.com

Centre Universitaire de Tamanghasset

University Centre of Tamanghasset

Résumé :

L'Algérie expérimente un besoin urgent de gestion des déchets solides municipaux. Les estimations faites par l'Agence Nationale des Déchets (AND) montrent que plus de 11 millions de tonnes de déchets sont produites chaque année, et cette production connaît une progression significative. Avec l'apparition de nouveaux modes de consommation des populations, les villes algériennes doivent faire face au phénomène de l'augmentation brutale des quantités de déchets produits qui l'ont transformé en bidonvilles verticaux. Il en résulte une dégradation de l'environnement et un risque pour la santé publique. La technologie de biogaz est l'une des technologies qui ont continué à susciter beaucoup d'attention. D'où cette technologie ne date pas d'hier, dont le premier biodigesteur en Algérie a été conçu par les deux enseignants français Isman et Ducellier en 1938 à El Harrach (Alger). Les avantages principaux de la technologie du biogaz incluent sa capacité d'ajouter de la valeur aux chaînes de biomasse en fermant les cycles des matériels et en permettant un rendement énergétique amélioré. Tenant compte des intérêts présentés précédemment, l'objectif de ce travail est d'extrapoler le côté actuelle règlementaire environnementale pour le cas algérien en terme de valorisation énergétique des déchets organiques fermentescibles via la production du biogaz, et de proposer une loi sur la transition énergétique de la biomasse afin d'accélérer le déploiement de cette énergie renouvelable. Nous nous intéressons au sujet de la gestion de déchets municipaux organiques dans le cas d'Algérie. L'objectif est de contribuer à une nouvelle

politique de valorisation de déchets fondée sur des connaissances théoriques et pratiques.

Les mots-clés Algérie, Biogaz, projet de loi, méthanisation, biofertiliseur, déchets organiques.

Abstract

Algeria is experiencing a crucial need in municipal solid waste management improving system. According to the National Agency or Waste (- AND) more than 11 million tons of waste are produced annually, and this production is growing significantly. Algerian cities have to deal with the hard situation of the increase in the amount of waste produced. This results in environmental degradation and a risk to public health. Biogas technology is one of the technologies that have continued to receive a lot of attention. In Algeria, the first biodigester was constructed in 1938 under the impulse of two teachers of the National School of Agriculture of Algiers Ducellier and Isman. That work has been considered as precursor of the biogas production mastery not only in Algeria but also at the world level. Based on their patent, many agricultural installations were equipped with gas digesters of manure, and that various pieces of equipment of valorization of biogas have been developed. The main benefits of biogas technology include its ability to add value to biomass chains by closing equipment cycles and enabling improved fuel efficiency. Taking into account the interests presented above, the objective of this work is to extrapolate the current environmental regulatory side for the Algerian case in terms of energy recovery of fermentable organic waste via the production of biogas, and to propose a law on the energy transition-biomass to accelerate the deployment of this renewable energy. We are interested in the topic of organic municipal waste management in the case of Algeria. The aim is to contribute to a new waste recovery policy based on theoretical and practical knowledge. These instructions presents guidelines for preparing papers.

Key Words Algeria, waste recovery policy, methanization, biofertilizer, organic wastes.

Introduction

Les tendances globales dans le développement, la demande et la production d'énergie présentent une crise énergétique imminente en raison de la qualité et de la quantité des hydrocarbures ainsi la chute de prix des barils des combustibles fossiles et spécialement pour l'Algérie. Ce scénario de déploiement a mené à une transition d'apparence vague vers une économie qui exige une grande attention aux sources d'énergie et aux technologies alternatives existantes. Il est donc actuellement critique non seulement de se concentrer sur l'économie de l'utilisation des ressources limitées existantes mais pour identifier de nouvelles technologies et ressources renouvelables qui ont le potentiel de couvrir la demande énergétique croissante en plus de posséder d'autres attributs positifs tels qu'être durables, globalement disponibles, faciles à exploiter aussi bien qu'ayant la capacité de contribuer directement et positivement vers l'actualisation des challenges de développement durable (the United Nations Millennium Development Goals (MDGs)). La technologie de biogaz est l'une des technologies qui ont continué à susciter beaucoup d'attention. Les avantages principaux de la technologie du biogaz incluent sa capacité d'ajouter de la valeur aux chaînes de biomasse en fermant les cycles des matériels et en permettant un rendement énergétique amélioré en plus de son potentiel économique de faisabilité et de durabilité aussi bien que sa capacité de satisfaire tous les MDGs. En outre, la technologie de biogaz est mature et offre un itinéraire très attrayant pour utiliser des catégories diverses de biomasse et de biodéchets inhérents pour répondre à des besoins énergétiques aussi bien que contribuant à la ressource et à la conservation d'environnement. Le biogaz particulièrement approprié à répondre à des besoins énergétiques à échelle réduite, peut contribuer à l'hygiène environnementale et la technologie de biogaz est assez simple pour éviter des limitations de production. En conséquence la plupart des pays en développement particulièrement en Afrique et en Asie ont continué à adopter la technologie de biogaz en plus grand nombre. Tenant compte des intérêts présentés précédemment, l'objectif de ce travail est d'extrapoler le côté actuelle règlementaire environnementale pour le cas algérien en terme de valorisation énergétique des déchets organiques fermentescibles via la

production du biogaz, et de proposer une loi sur la transition énergétique de la biomasse afin d'accélérer le déploiement de cette énergie renouvelable. Nous nous intéressons au sujet de la gestion de déchets municipaux organiques dans le cas d'Algérie. L'objectif est de contribuer à une nouvelle politique de valorisation de déchets fondée sur des connaissances théoriques et pratiques. Nous souhaitons apporter un éclairage et une aide aux décideurs politiques et aux responsables locaux sur le choix de politique de déchets notamment en matière de la valorisation énergétique via la production du gaz inflammable et du biofertiliseur comme coproduit naturel, et nous citons dans cette étude la première expérience de la ville de Tamanrasset dans cette filière via la construction d'une mini-station pilote de 15m³ de volume pour la production du bio-méthane et du bio-fertiliseur.

La digestion anaérobie

La digestion anaérobie peut jouer un rôle stratégique dans l'élaboration des systèmes de gestion des déchets, puisqu'elle est capable d'assurer le traitement de presque toutes les fractions biodégradables et généralement majoritaires des résidus agricoles, déjections animales, déchets ménagers, déchets de centres urbains et industriels, etc. La digestion anaérobie (ou méthanisation) est un processus biochimique complexe mis en œuvre en absence d'oxygène et faisant intervenir différentes communautés microbiennes dans la dégradation et la conversion de polymères de la matière organique en des produits finaux réduits, dont un biogaz à haute valeur énergétique (1). Le biogaz est principalement composé de méthane (55-75% v/v) et de dioxyde de carbone (30-45% v/v) (2). Il représente une source d'énergie propre, renouvelable et alternative aux sources d'énergie conventionnelles, dont les combustibles fossiles, ayant des implications néfastes sur l'équilibre environnemental et dont les réserves diminuent à un rythme accéléré (3). En outre, en complément à la valorisation énergétique, la digestion anaérobie produit également de la matière potentiellement utilisable comme amendement organique des sols, aux propriétés fertilisantes et phytosanitaires, au bénéfice des fermes et communautés agricoles (4).

Le gisement de déchets en Algérie

L'Algérie compte actuellement plus de 41 millions d'habitants qui génèrent plus des déchets ménagers d'une quantité estimée à plus de 10,3 millions de tonnes de déchets ménagers par an avec un rapport moyen de 0,5 kg/hab./jour (5), qui est moins que la moyenne du monde (0,7 kg/hab./jour) (6), et Selon une étude récente réalisée pour le CARE , le chiffre total des déchets municipaux risque d'atteindre les 30 Millions de tonnes en 2025. Actuellement nous accusons une moyenne de 0,8kg par hab. /jour, dont les déchets organiques présentent une quantité de 65%. A partir de la nature et de la quantité de résidus qu'il génère, le secteur urbain algérien compte parmi les plus importants gisements de déchets organiques du pays, avec aucun potentiel de valorisation. Ces déchets sont éliminés, sinon valorisés à titre marginal et de façon traditionnelle au niveau des exploitations agricoles dans la gestion de la fertilité des sols, l'alimentation animale ou la production de chaleur, tandis que, au niveau des villes, les déchets organiques sont majoritairement éliminés sans aucune forme de ségrégation dans des décharges non contrôlées.

Terminologie des déchets dans la réglementation algérienne

D'après l'article 3, de la loi n° 01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, les déchets s'entendent par « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer». En d'autres termes rapportés par Stevenson and Waite, d'après la New Edition of Concise Oxford English-Dictionary (7), les déchets se réfèrent à « tout ce qui est rejeté comme sans aucune utilité, sans valeur ou en excès dans un contexte donné ». Le double aspect légal et économique respectivement de désappropriation et de perte d'utilité ou de valeur détermine l'importance des différents modes de traitement adaptés, en fonction de la nature et de la composition des déchets. " 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'abondant, dégradant les sites et paysages et portant atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement " (loi française du 15/07/1975) (8). La définition québécoise est identique mot pour mot à la définition française mais notion de " matière résiduelle " plutôt que déchet. " Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement tout produit ou bien ou meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer " (loi 01-19 du 12/12/2001) (9). Les déchets au sens de la réglementation algérienne comprennent trois grandes catégories:

- Les déchets ménagers et assimilés.
- Les déchets spéciaux (industriels, agricoles, soins, services,...)
- Les déchets inertes.

La définition des différents types des déchets et des modes de traitement pouvant varier d'un pays à l'autre, il est nécessaire de définir précisément les termes que nous utiliserons par la suite:

Les déchets solides urbains sont définis par l'article 2 du décret n° 84-378 du 15 décembre 1984 fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement des déchets solides urbains qui sont les déchets domestiques et qui sont assimilables par la nature et le volume. Il s'agit notamment:

- des ordures ménagères industrielles ou collectives
 - des produits résultant du nettoyage tels que balayage, curage des égouts
 - des déchets encombrants, objets volumineux, ferrailles, gravats, décombres, carcasses automobiles
 - des déchets anatomiques ou infectieux provenant des hôpitaux, chimiques ou autres de soins
 - des déchets et issues d'abattoirs
 - des déchets commerciaux, emballages et autres résidus générés par les activités commerciales.
- (i) Déchets ménagers et assimilés : ce sont tous les déchets issus des ménages, des activités industrielles, commerciales, artisanales, et autres, qui sont assimilables aux déchets ménagers par leur nature et leur composition, tel que, déchets de cuisine, emballages...

- (ii) Déchets encombrants : ce sont tous les déchets issus des ménages qui ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés en raison de leur caractère volumineux. Nous pouvons citer ici, les meubles, les pneus, l'électroménager...
- (iii) Déchets spéciaux : ce sont les déchets qui ne sont pas assimilés aux déchets ménagers, et qui nécessitent un mode spécifique de traitement en raison de leur nature et de leur composition. L'origine de ces déchets est l'activité industrielle, agricole, les soins, les services et toutes autres activités, qui ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés. Il existe un cas particulier des déchets spéciaux, qui sont susceptibles de nuire à la santé publique et à l'environnement via leurs constituants ou par leurs matières nocives, on parle ici de déchets spéciaux dangereux.
- (iv) Déchets d'activité de soins : ce sont des déchets spéciaux issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif ou curatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire.
- (v) Déchets inertes : ce sont notamment, les déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge. Ces déchets proviennent de l'exploitation des mines, des carrières, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation. Ils ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et à l'environnement.
- Après avoir donné un aperçu sur les définitions des différents types des déchets en Algérie, en se basant sur la réglementation en vigueur, nous préciserons ensuite les définitions des modes de traitement existant en Algérie ou prévus dans le programme national de gestion des déchets municipaux:
- a) La gestion des déchets consiste en toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations. À partir de cette définition, plusieurs opérations se distinguent dans le mode de gestion des déchets existant en Algérie:

- b) La collecte des déchets est l'opération de ramassage et/ou le regroupement des déchets en vue de les transférer vers un lieu de traitement.
- c) Le tri des déchets est la séparation des déchets selon leur nature en vue de leur traitement, par exemple le papier, plastique...
- d) La valorisation des déchets est la réutilisation, le recyclage ou le compostage des déchets. Le recyclage consiste à valoriser des produits usés ou des déchets. Le compostage est un processus biologique dans lequel les déchets organiques sont transformés par les microorganismes du sol en un produit stable et hygiénique appelé compost.
- e) L'élimination des déchets comprend les opérations de traitement thermique, physico-chimique et biologique, de mise en décharge, d'enfouissement, d'immersion et de stockage des déchets, ainsi que toutes les autres opérations ne débouchant pas sur une possibilité de valorisation ou autre utilisation du déchet. Immersion des déchets : tout rejet de déchets dans le milieu aquatique. Enfouissement des déchets : tout stockage des déchets en sous-sol. L'incinération est un processus d'oxydation de la partie combustible du déchet dans une unité adaptée aux caractéristiques variables des déchets. Ce processus permet une forte réduction de volume des déchets à éliminer (déchets concernés : hydrocarbures, huiles, peintures, déchets d'usinage...). Les déchets issus de l'incinération (cendres, mâchefer) sont ensuite éliminés en centre d'enfouissement technique.
- f) L'enfouissement technique : Les déchets spéciaux ultimes sont ceux qui ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par l'extraction de la part valorisable ou par réduction de leur caractère dangereux et polluant. Les déchets admis en centre d'enfouissement technique (CET) sont des déchets essentiellement solides, minéraux avec un potentiel polluant constitué de métaux lourds peu mobilisables. Ils sont très peu réactifs, très peu évolutifs, et très peu solubles.

Limitation de cadre des déchets organiques dans le cas de la réglementation algérienne

Selon la réglementation algérienne, les déchets, toutes catégories confondues, peuvent être regroupés en deux (2) grandes fractions :

les déchets inorganiques (non combustibles) et les déchets organiques (combustibles). La loi algérienne n° 01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, relative à la nomenclature des déchets, n'établit aucune définition explicite des déchets au regard de cette dichotomie. Sinon, les listes qu'elle présente permettent de déduire ces grandes classes de déchets.

Traitement des déchets organiques dans la réglementation algérienne

L'importance du traitement des déchets est précisée dans la loi algérienne n° 01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, dans ce cadre, un déchet est considéré comme « résultant ou non d'un traitement et n'étant plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de sa part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux ». En effet, le processus de traitement des déchets s'entend par des opérations unitaires ou successives de broyage, compactage, digestion anaérobie, extraction de l'eau, compostage, incinération, etc., permettant la réduction, la transformation, la réutilisation, la mise en décharge, le stockage et l'élimination de déchets solides, liquides et gazeux (10).

Les traitements biologiques aérobie et anaérobie, par leurs nombreux avantages, constituent des options particulièrement intéressantes pour les déchets organiques. Ils permettent, entre autres :

- (i) la stabilisation de ces déchets pour réduire les pollutions ou nuisances associées à leur évolution biologique ;
- (ii) la réduction des gisements par diminution de la masse de déchets ;
- (iii) la valorisation énergétique par récupération de méthane (CH₄) en traitement anaérobie ; la production d'un compost valorisable comme amendement organique des sols agricoles en traitement aérobie (11).

Différents procédés de transformations chimiques et biologiques sont généralement utilisés dans les PED pour une réduction de masse/volume des déchets organiques et pour une récupération de matière transformée et d'énergie. Ces procédés peuvent être

regroupés en 3 grandes catégories, en fonction des pratiques d'élimination ou de mise en valeur et de la nature des produits valorisés:

- a) Le stockage et l'élimination des déchets organiques dans des sites de décharge, constituent l'une des pratiques les plus fréquemment rencontrées dans les zones urbaines. Toutes les autres pratiques (combustion, méthanisation, production de matière fertilisante, alimentation animale, etc.) sont représentées à des niveaux plus ou moins importants sur ces sites.
- b) L'élimination, la transformation ou la valorisation de la matière considérée comme déchets par enfouissement, épandage ou alimentation animale sont des pratiques très courantes en milieu rural et en particulier dans les zones d'exploitation agricole.
- c) La valorisation énergétique des déchets par combustion (voie directe) est pratiquée par les ménages les petites et moyennes unités artisanales et agroindustrielles et par les ménages en particuliers dans les régions rurales et périurbaines.

Les déchets ménagers et l'environnement : stratégie nationale

La problématique des DM en Algérie n'est pas encore posée de manière globale et pertinente, par contre dans les pays du Nord, elle constitue déjà, une activité économique très importante et convoitée. Les pouvoirs publics ont pris conscience des problèmes environnementaux en général, et des DM en particulier, et se sont penché pour les prendre en charge dans le but de minimiser leurs conséquences. Non seulement, ils ont ratifié tous les accords internationaux afférents à l'environnement mais ont mis aussi une SNE dont le rôle est d'arrêter les options à court, à moyen et à long terme de la protection du milieu et de la promotion d'un DD. La SNE a aussi pour mission d'évaluer régulièrement la mise en œuvre des dispositifs réglementaires, de créer des organismes, de décider des mesures appropriées et de suivre l'évolution des politiques environnementales. Cela a été fait par la promotion du secrétariat d'état chargé de l'environnement en 2000 au rang d'un ministère (le MERE) et la promulgation depuis les années quatre-vingt d'une série de décrets et lois dont la loi n°83-03, loi n°01-20, loi n°03-10, et la loi-cadre 01-19. Parmi les dispositions de la loi 06-06 du 20

février 2006 portant sur les orientations de la ville en relation avec le service des déchets, nous citerons:

- 1) La garantie et la généralisation des services publics⁴
- 2) La lutte contre la dégradation des conditions de vie dans les quartiers⁴
- 3) La promotion et la présentation de l'hygiène et la santé (12).
La SNE vise essentiellement:
 - 1) Un dispositif réglementaire et institutionnel qui s'est traduit par l'introduction de:
 - La fiscalité écologique (pollueur - payeur)
 - La création de l'AND (décret exécutif n° 02-175 du 20 mai 2002)
 - Institution du système national de valorisation des déchets d'emballage (ECO-JEM).
 - 2) Projets de développement à travers le Programme National pour l'Environnement et le Développement Durable caractérisé par des actions phares:
 - Le Programme National de Gestion Intégrée des Déchets Ménagers visant l'amélioration du cadre de vie et la protection de la santé, le renforcement des capacités des communes en matière de collecte et de transport des déchets, l'amélioration du recouvrement de la fiscalité locale ainsi, que la formation environnementale et la réalisation des CET. Le nombre de ces nouvelles infrastructures passa de 0 CET en 2000, 122 CET en 2012 à 180 entre CET et décharges contrôlées opérationnels de nos jours et un effort conjugué à la réhabilitation de plus de 101 décharges à l'échelle national⁴
 - Le cadastre des déchets spéciaux au niveau des quarante-huit (48) wilayas du pays (13).

Contexte juridique algérien et la méthanisation

Les politiques publiques relatives aux déchets reposent sur l'hygiène publique, les préoccupations écologiques et la santé individuelle (14). Toutefois, une politique environnementale de déchets est mise en place. Des instruments de régulation sont apparus nécessaires afin d'atteindre les objectifs attendus de ces actions. En général, la politique de déchets est fondée sur trois types d'instruments : les instruments législatifs ou réglementaires, les instruments économiques (incitation, taxation, etc.) et les autres

instruments (sensibilisation, formation, etc.) (13). En mai 1998, l'Algérie adhère avec réserve à la convention de Bâle qui vise à réduire le volume des déchets dangereux ainsi que le contrôle de leurs mouvements transfrontières. Le 29 avril 1998, l'Algérie a signé le protocole de Kyoto approuvé le 21 mai 2002, puis ratifié le 28 avril 2004, et entré en vigueur le 16 février 2005 qui incite à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. En matière de déchets, ces gaz peuvent être émis par le brûlage à l'air libre des déchets au niveau des décharges.

Les codes de la commune et de la wilaya du 07 avril 1990 définissent les compétences des collectivités locales en matière de services publics en général. Le code des marchés publics, révisé à plusieurs reprises, établit le champ d'application ainsi que la procédure de mise en œuvre d'un appel d'offres liée au service public. Le financement des divers services publics est organisé par le code des impôts à travers les lois de finances. Le code des douanes est compétent en matière d'importation et d'exportation de déchets.

Les textes politiques algériens en matière des déchets sont très sévères. Un ensemble de textes organise le service public des déchets, et notamment la loi du 21 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. Le seul texte existant avant l'adoption de cette loi c'est le décret n° 84-378 du 15 décembre 1984 fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et du traitement des déchets solides urbains. Il définit la notion de déchets solides urbains, les modalités et la fréquence de la collecte et d'évacuation des déchets selon la taille des communes par rapport à sa population. Ainsi, le décret fixe les normes du choix d'aménagement et d'exploitation du site. Le traitement de ces déchets est effectué au moyen des procédés suivants:

- la décharge surveillée
- la décharge contrôlée
- la décharge compostée
- la décharge broyée
- le compostage
- l'incinération

On remarque que la réglementation algérienne n'a pas cité la technologie du biogaz comme mode de traitement ou de valorisation de déchets dans aucun texte législatif, et à partir de ce point on constate un manque remarquable en matière de réglementation sur la méthanisation comme procédés de valorisation énergétique des déchets organiques.

Mise en œuvre d'une unité de digestion anaérobie à Tamanrasset

L'étude de la mise en route et du suivi d'un digesteur anaérobie pilote de taille familiale à Tamanrasset, s'inscrit dans une dynamique de recherche-action bi-partenaire, impliquant, entre autres, le laboratoire de recherche scientifique Sciences & Environnement (C.U.Tam.) et la direction d'Environnement de Tamanrasset. Donc, un partenariat université-autorité locale à Tamanrasset au service du développement, a été initié depuis le printemps de l'année 2015. L'idée de la réalisation de notre biodigesteur et son modèle ont été inspiré de l'étude présentée par (15) au Centre de Développement des Energies Renouvelables, à Bouzaréah (Alger).

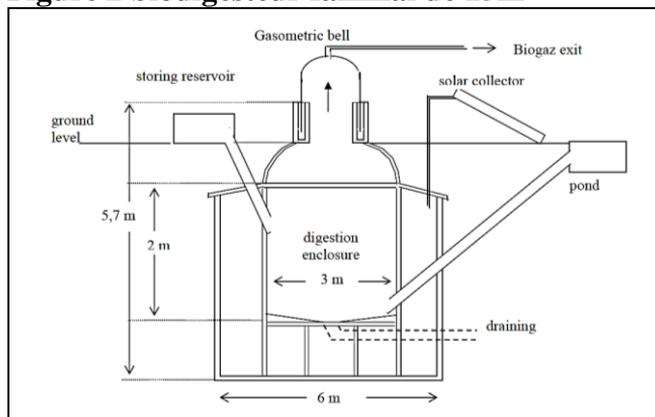
Figure 1 Le biodigesteur de Tamanrasset de 15m³



Ce biodigester pilote s'est inspiré du modèle présenté dans (15) mais la modification est dans la forme de l'enceinte de digestion qui est sphérique au lieu d'être cylindrique et aussi la dôme qui est fixe (modèle chinois). Il est constitué d'une enceinte souterraine de digestion étanche qui offre des conditions anaérobies et une

rétenion d'humidité interne. Il permet ainsi la biométhanisation d'une biomasse fluide biodégradable (déjections animales, déchets verts et eaux usées). L'alimentation du réservoir de stockage est assurée par gravité. L'approvisionnement quotidien du digesteur en biomasse assure une continuité du processus de biométhanisation qui permet, au-delà d'une température de digestion de 22° C, une production de biogaz renouvelable.

Figure 2 biodigesteur familial de 15m³



(Source : (15))

Choix du procédé utilisé et raisons justificatives

Aspects généraux

Le biodigesteur Ducellier-Isman (système batch) qui est le premier biodigesteur conçu en Algérie en 1938, disposant d'un système de pré-fermentation aérobie permettant d'éviter l'acidogenèse, lors du démarrage des réactions biologiques. Ce procédé est l'un des plus simples et des moins coûteux. Le « digesteur type batch » est généralement dépourvu de dispositifs d'agitation, de suivi en continu ou de chauffage interne notamment quand ils sont installés sous les climats arides. Techniquement, ce système se résume à une cuve sphérique ou cylindrique, à travers laquelle le substrat circule d'une extrémité latérale (entrée) à l'autre (sortie). La cuve est généralement constituée de béton ou de maçonnerie (rigide), sinon en matières plastiques telles que le polyéthylène ou le polypropylène. Les contacts et frottements des particules de substrats entre elles et avec les parois des digesteurs, ainsi que les effets liés à la production du biogaz impriment une certaine

agitation du contenu des digesteurs de taille réduite (16). En outre, les particules solides bénéficient généralement d'un temps de rétention plus long que la phase liquide et un taux de dégradation plus important des solides par ce procédé comparé aux digesteurs infiniment mélangés (16). Cependant, l'utilisation des « digesteurs type batch » est limitée aux déchets comportant peu d'« impuretés » (argile, sable, gravillon, etc.) et d'autres substances ayant tendance à sédimenter et former des strates à l'intérieur du digesteur et demandant, par conséquent, un effort d'entretien supplémentaire (17). Ainsi, les déchets du type bouse de bovins, de chevaux, de chameaux et les déchets verts sont les plus adaptés à ce procédé, tandis que la co-digestion de ces déchets induisent des problèmes de dysfonctionnement, notamment en raison de concentrations généralement élevées de particules fines, se précipitant et s'écartant du milieu de digestion en suspension (18). Ces digesteurs sont également sujets à la formation de croûtes, résultant de la flottaison de matières solides peu denses, s'étant séchées, susceptible de constituer une barrière à la circulation du gaz en particulier.

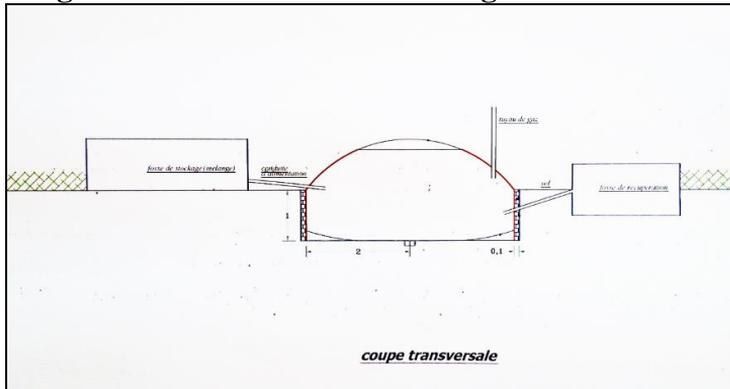
Caractéristiques spécifiques et critères technologiques

Le modèle chinois « type batch » à dôme fixe est le résultat d'une démarche expérimentale itérative, dont les retours d'expérience permettent l'utilisation de substrats divers avec un minimum de prétraitement, ainsi que l'acceptation de certaines propriétés fondamentales de la digestion des substrats, dont la flottaison et la production d'AGV au cours des premières étapes d'hydrolyse et d'acidogenèse (19). Ce digesteur est caractérisé par deux (02) bassins d'alimentation et de récupération de digestat, et une chambre de fermentation au niveau de laquelle l'ensemble du processus de méthanisation est pratiquement réalisé:

- a) Les co-substrats sont apportés, à travers le conduit d'entrée, à la chambre de fermentation du digesteur, de façon à maintenir ces substrats incubés pendant quelques jours au cours desquels les flux d'AGV sont diffusés dans liquide du digesteur, constituant une étape de pré-fermentation ;
- b) Les AGV sont convertis en biogaz dans le liquide du digesteur, en co-digestion avec les substrats à digérer constituant une phase solide ;

- c) Les substrats entièrement digérés, sont ensuite récupérés pour être stockés et séchés dans le bassin de récupération.
- d) Ce digesteur est conventionnel et munis d'une couverture fixée (dôme fixe) à la structure principale, fonctionnant ainsi avec une pression variable, au gré de production du biogaz et en fonction de la hauteur d'eau mobilisable par celui-ci (19).

Figure 3 Schéma latéral du biodigesteur de Tamanrasset 15m³



Situation, études et travaux de construction

Le digesteur pilote de 15m³ a été érigé à moins de 1m de profondeur, sur le site du Parc Urbain de la direction d'Environnement, situé au Nord à environ 1,3 km du Centre Universitaire de Tamanghasset et à 10 km du centre-ville de la wilaya (Sersouf). Le terrain du parc urbain est un terrain rocheux et dépourvu de toutes nappes phréatiques souterraines.

Figure 4 Situation géographique du biodigesteur de 15m³ de Tamanrasset



(Source : Google map data ©2018)

De nombreux critères définissent le choix du site d'implantation d'un digesteur, dont une distance minimale de 30 m des puits et en aval des écoulements d'eaux souterraines et de surface, de façon à réduire les risques de contamination de ces eaux en cas de fuites. En outre, le digesteur doit être suffisamment éloigné des arbres pour éviter que la croissance racinaire ne soit dommageable pour sa structure. Il doit également être à l'abri des mouvements vibratoires d'engins lourds et sécurisé contre l'intrusion des enfants et des animaux (20). En outre, le digesteur doit être suffisamment proche du site d'utilisation du biogaz pour réduire les risques et les coûts liés au transport de celui-ci. Donc, d'après ce qui a été cité, le terrain rocheux et déserté contenant le biodigesteur de 15m³ de Tamanrasset et son environnement avoisinant sont à l'abri de tout type de contamination liée à ce projet (aquatique, plantes, arbres et animaux, sécurité des engins et des enfants ...etc.) en plus d'être construit au sein du parc qui est le seul utilisateur du biogaz produit (pas de frais de transport du produit fini).

Ces critères ont été pris en compte, dans le cadre de la mise en place du digesteur pilote, malgré certaines limitations au niveau de l'espace sur le site du parc urbain.

Figure 5 étapes de la construction du biodigesteur de 15m³ de Tamanrasset



Dimensionnement du digesteur

Critères de dimensionnement

Le Tableau 1 présente les paramètres déterminant le dimensionnement d'un digesteur pour une production de méthane équivalente à la demande énergétique journalière d'un ménage typique des PED. Théoriquement, cette demande est de moins de 3 m³ biogaz.jour⁻¹ pour une famille de 5-6 personnes, soit environ 1,5 m³ CH₄.famille⁻¹.jour⁻¹ pour une teneur en CH₄ dans le biogaz de l'ordre de 50%. La production volumique de méthane du digesteur a été estimée à environ 0,25 m³ CH₄.m⁻³. jour⁻¹, selon un choix pessimiste par rapport au rendement technologique, de l'ordre de 0,3 m³ CH₄.m⁻³. jour⁻¹, d'après (19). En ce qui concerne notre biodigesteur, et pour atteindre la demande énergétique journalière le volume utile du digesteur a ainsi été fixé à 11,77 m³ ; ce volume correspondant à l'espace pouvant contenir le liquide au niveau de la chambre principale, l'entrée et la sortie du digesteur et pourrait produire plus de 2,28 m³ de méthane quotidiennement.

Tableau 1 Paramètres de production et de consommation d'énergie déterminant le volume du digesteur anaérobie.

Paramètres	Mesures	Unités	Références
Demande domestique d'énergie par jour	1,5	m ³ CH ₄ .famille ⁻¹ .jour ⁻¹	(17,19)

Production volumique du digesteur par jour	0,25	$m^3_{\text{liquide}} \cdot m^{-3}_{\text{phase}} \cdot \text{CH}_4 \cdot \text{jour}^{-1}$	
Production de biogaz par jour	2,28	$m^3_{\text{CH}_4} \cdot \text{jour}^{-1}$	Biodigesteur pilote de 15m ³ de Tam.
Volume utile de phase liquide digesteur	11,77	m^3	

En fonction du dimensionnement et de la température de digestion, nous estimons la production de biogaz et les équivalences énergétiques (Tableau 2). Il est possible de produire 68,4 m³ de biogaz par mois sans apport de chaleur conséquent (15). A Tamanrasset, la température du sol varie de 15 à 20 ° C pour la majeure partie de l'année, sauf en hiver, afin que les apports solaires et la chaleur de stockage pourrait faire monter la température souterraine à 40 °C. Pour notre dimensionnement (enceinte du digesteur : 11,77 m³ ; charge : 8240 kg de substrat de digestion ; temps de résidence : 90 jours ; approvisionnement quotidien : 130 litres / jour), la production de biogaz (21) est estimée théoriquement à 185,4 m³ / mois et pourrait être continue pendant toute l'année.

Tableau 2 Estimation de la production du biogaz en fonction de différentes températures de la DA (équivalent énergie)

Température de digestion (C°)	Production de CH₄ par jour (m³)	Equivalence en bois pour chauffage et cuisson (kg)	Equivalence en gaz de butane – cylindres standards (13 kg)
15 – 20	2,28	11,4	1
20 – 25	4,23	21,15	2
25 – 30	4,85	24,25	2
35 – 40	6,18	30,9	3

Source : (21–23).

La charge maximale de l'enceinte du digesteur est de 8240 kg de substrat de digestion. Pour un temps de séjour (HRT) fixé à 90

jours, l'approvisionnement quotidien du digesteur est d'environ 130 litres.jour⁻¹.

Tableau 3 Dimensionnement du digesteur

Unités du digesteur	Forme		Volume (m ³)
Enceinte de digestion	Haut	Dôme en métal	3,63
	Centre	Sphérique	11,77
	Bas	Forme plate légèrement arrondie dans les cotés	
Chambre de stockage et de récupération de digestat	Cubique		4
Chambre d'alimentation de la matière première	Cubique		6

Le chauffage à une température atteignant 40 ° C améliore fortement la production de biogaz. Afin de conserver un bilan énergétique positif, il est fortement recommandé d'utiliser des énergies renouvelables pour le chauffage du digesteur, par exemple un capteur solaire statique à basse température (15). Une dépression provoque une circulation d'air chaud à travers la lame d'air de 02 cm entourant le digesteur servant comme un isolant thermique.

Démarrage, suivi et produits finis du digesteur

Le biodigesteur pilote n'est pas encore lancé pour des raisons purement administratives. Le démarrage du digesteur consistera en l'ajout d'inoculum dans le digesteur et les premières observations de production de biogaz inflammable (24,25). Le suivi de la mise en route et du fonctionnement du digesteur pilote sera basé sur trois (3) objectifs spécifiques, dans la perspective d'étudier la viabilité de la technologie de méthanisation et en particulier du modèle « batch » à Tamanrasset :

- 1) Préparer un inoculum à partir de crottin de dromadaire et étudier son niveau d'activité biométhanogène
- 2) Evaluer la production de CH₄ à partir des déchets verts de cuisine en présence de l'inoculum et des eaux usées de station d'épuration, après vérification de la bio-réactivité de celui-ci

- 3) Déterminer le régime optimal du digesteur pilote, en termes de rendement méthanogène (niveau de production de biogaz, concentration de CH₄, régularité de la production de CH₄, taux de conversion du substrat,

Des paramètres relatifs à la nature du substrat retenu, en l'occurrence les déchets verts, aux conditions environnementales locales, à la mise en route et fonctionnement du digesteur, sont présentés dans les paragraphes suivants, avec leurs méthodes et moyens respectifs de détermination.

Utilisation des produits issus du digesteur

Le gaz du digesteur anaérobie serait utilisé comme source d'énergie d'appoint. Le biogaz va servir à alimenter les cuisinières au niveau du Parc Urbain. Parallèlement, l'ex-Directeur d'Environnement souhaitait préférentiellement utiliser le biogaz pour l'éclairage du site, à partir de lampes à manchon ou, à termes, de lampadaires électriques alimentés par une « micro-génératrice ». Cependant, la suite de l'étude, visant à optimiser les conditions de fonctionnement de l'unité de méthanisation, devra permettre d'améliorer la production d'énergie. Le digestat solide serait utilisé comme matière fertilisante au niveau du Parc Urbain, pour les arbres et les parterres en fleurs, à côté du digesteur pilote. Les quantités journalières de digestat enlevées du digesteur varieront théoriquement de moins de 15 kg à plus de 40 kg de matière fraîche.

Test d'inflammabilité du biogaz

En termes d'inflammabilité, le gaz produit par les réacteurs R1-R4 est devenu inflammable à différentes périodes de la digestion. R3 et R4 ont été favorisés en termes de volume et qualité de production de gaz inflammable de biogaz et ont flambé le 8ème jour (voir Figure 6).

Figure 6 Test d'inflammabilité du biogaz produit à partir du R3 (a) et du R4 (b) dans le 8ème jour d'incubation



Source : (26)

Conclusion et recommandations

Ces résultats ont démontré par induction l'opportunité du développement de la technologie de méthanisation à Tamanrasset et en Algérie, puisqu'il a été prouvé que la mise en œuvre de celle-ci était possible, même dans les conditions particulières de la présente étude. Ce modèle de biodigester a également été choisi, en raison de ses caractéristiques technologiques, dont une production volumique de l'ordre de $2,28 \text{ m}^3\text{CH}_4.\text{m}^{-3}\text{digester.jour}^{-1}$, comparables à certains égards, à des installations de digestion anaérobie très sophistiquées, mais à des coûts relativement faibles .

Le dimensionnement du système est effectué en tenant compte d'une température de digestion maximale de 40°C . Au terme d'un temps de séjour fixé à 90 jours, la production mensuelle de biogaz est estimée à $68,4 \text{ m}^3$ pour une température de digestion comprise entre 15 et 20°C . Cette production peut atteindre $185,4 \text{ m}^3$ de biogaz pour une température de digestion comprise entre 35 et 40°C , soit l'équivalent énergétique d'environ 3 cylindres (bouteilles) de butane (13kg) et/ou 927kg de bois pouvant être conservés. Ainsi, l'utilisation de biogaz dans les zones rurales à Tamanrasset (ex : les nomades) constituerait un très bon substitut du bois de cuisson et de chauffage, ce qui en fait le but principal de cette thèse, et un soutien

important aux programmes nationaux de lutte contre la déforestation et la désertification.

- La méthanisation est pertinente dans les territoires car elle apporte une réponse à plusieurs problématiques : traitement local des déchets fermentescibles, emploi local, valorisation des ressources locales, indépendance énergétique, maintien de l'agriculture, développement économique, réduction des émissions de CO₂. Cependant, la sécurité des installations, de méthanisation, de leur cadre réglementaire à leur application sur le terrain, est très importante ;
- La nécessité d'élaborer un code d'énergie : « La Méthanisation de déchets non dangereux ou de matières végétales brutes, depuis les fondations des digesteurs jusqu'à l'équipement des salariés »
- Accorder des dérogations dans le Décret exécutif n°07-144 du 19 Mai 2007 concernant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement ; afin d'introduire les installations de méthanisation (les biodigesteurs) dont il s'agit de valorisation de déchets verts fermentescibles et d'autres résidus pour la production du biogaz comme source d'énergie, et les définir dans un arrêté ministériel relatif à des restrictions de sécurité, d'utilisation et de mise sur le marché du produit fini.

Références

- (1). Mshandete A, Björnsson L, Kivaisi AK, Rubindamayugi MST, Mattiasson B. Effect of particle size on biogas yield from sisal fibre waste. *Renew Energy*. 2006 Nov 1;31(14):2385–92.
- (2). Hilkih Igoni A, Ayotamuno MJ, Eze CL, Ogaji SOT, Probert SD. Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. *Appl Energy*. 2008 Jun 1;85(6):430–8.
- (3). Yadvika, Santosh, Sreekrishnan TR, Kohli S, Rana V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review. *Bioresour Technol*. 2004 Oct 1;95(1):1–10.
- (4). Schröder P, Herzig R, Bojinov B, Ruttens A, Nehnevajova E, Stamatiadis S, et al. Bioenergy to save the world. *Environ Sci Pollut Res*. 2008 May 1;15(3):196.
- (5). Boukelia TE, Mecibah MS. Solid waste as renewable source of energy: current and future possibility in Algeria. *Int J Energy Environ Eng*. 2012;3(17):12.

- (6). Abdelli IS, Asnour M, Arab Z, Abdelmalek F, Abdou A. Management of household waste in sanitary landfill of Mostaganem district (Western Algeria). *J Mater Cycles Waste Manag.* 2015;17.
- (7). Stevenson A, Waite M. *Concise Oxford English Dictionary: Book & CD-ROM Set.* OUP Oxford; 2011. 1728 p.
- (8). Chaoui S, Boukhemis K. PAR UNE GESTION ÉCOLOGIQUE DES DÉCHETS MÉNAGERS, POUR UNE QUALITÉ DE VIE ET DE VILLE: CAS D'ANNABA (NORD-EST ALGERIEN). *Courr Savoir.* 2018 Mar 22;25:27–38.
- (9). JORA N°77. Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets [Internet]. 01–19 décembre, 2001 p. 7–15. Available from: http://www.energy.gov.dz/francais/uploads/2016/Textes_Legislatifs_et_Reglementaires/Legis_Maitrise_de_Energie/Loi_01-19_12-December_2001_gestion_control_elimination_des_dechets.pdf
- (10). Brahim DJEMACI. La gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité [Internet]. [Université de Rouen: France]; 2012. Available from: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00804063>
- (11). Bayard R, Gourdon R, Thierry L. Aide à la définition des déchets dits biodégradables, fermentescibles, méthanisables, compostables. Association RECORD; 2001. Report No.: Contrat n 00-0118 A1.
- (12). Arezki Chenane. Analyse des coûts de la gestion des déchets ménagers en Algérie à travers la problématique des décharges publiques : Cas des communes de la wilaya de Tizi-Ouzou. *MA Fac Sci Économiques Gest Univ Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.* 2008;(N°10):29–42.
- (13). Chaoui Salah. La gestion des Résidus Solides Urbains en Algérie : Quelles méthodes de traitement ? Cas de la ville d'Annaba. volume 18. *Nature & Technology.* 2018 Jan;43–53.
- (14). Larroque C. Une éthique de la gestion des déchets : du modèle (technocratique au modèle démocratique. 2018 [cited 2018 Jun 1]; Available from: <https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/29752>
- (15). Igoud S, Said N, Benelmir R. Design and sizing of a digester coupled to an air solar collector. 2004.

- (16). Lansing S, Botero RB, Martin JF. Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresour Technol.* 2008 Sep 1;99(13):5881–90.
- (17). Joaneson LACOUR. Valorisation de résidus agricoles et autres déchets organiques par digestion anaérobie en Haïti [Internet]. [france]: Laboratoire de Génie Civile et d'Ingénierie Environnementale, INSA de Lyon (France) Laboratoire de Qualité de l'Eau et de l'Environnement, Université Quisqueya (Haïti); 2012. Available from: <http://theses.insa-lyon.fr/publication/2012ISAL0026/these.pdf>
- (18). Lusk P. Methane Recovery from Animal Manures The Current Opportunities Casebook [Internet]. Resource Development Associates. Washington, DC: National Renewable Energy Laboratory; 1998. 150 p. Available from: <https://www.nrel.gov/docs/fy99osti/25145.pdf>
- (19). Jagadish KS, Chanakya HN, Rajabapaiah P, Anand V. Plug flow digestors for biogas generation from leaf biomass. *Biomass Bioenergy.* 1998 May 1;14(5):415–23.
- (20). Ludwig Sasse, Christopher Kellner, Ainea Kimaro. Improved Biogas Unit for Developing Countries. the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien-GATE in: Deutsche. Eschborn: © Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH; 1991. 84 p.
- (21). S. IGOUD, I. TOU, KEHAL.S, N. MANSOURI, A. TOUZI. Première approche de la caractérisation du biogaz produit à partir des déjections bovines. *Rev Energ Ren.* 2002;4:123–8.
- (22). N. BAEK. Analyse Technico-économique d'un Système Solaire de Production d'Air Chaud pour le Séchage du Tabac « Virginie » et le Chauffage d'un Bâtiment [Doctorat]. [France]: Univ. de Perpignan; 1984.
- (23). Ludwig Sasse. L'installation de biogaz. GATE-GTZ. 1986. 89 p.
- (24). Chanakya H N. Field experience with leaf litter-based biogas plants. *Energy Sustain Dev.* 2005 Jun;IX(2):49–62.
- (25). Dupade Vikrant, Pawar Shekhar. Generation of Biogas from Kitchen Waste -Experimental Analysis. *Int J Eng Sci Invent.* 2013 Oct;2(10):15–9.

- (26). Benaissa K, Belkhir Dadamoussa, Abdelaziz Bendraoua. Biogas and CH₄ quality and productivity by co-digesting dromedary dung with kitchen waste and sewage sludge water under mesophilic conditions | Benaissa. J Fundam Appl Sci. 2017;9(3):1701–17.