

## Valorisation énergétique des déchets solides ménagers de la ville de Thiès: Caractérisation et production de méthane à partir des résidus alimentaires

### [ Energy recovery of solid household waste in the city of Thiès: Characterization and production of methane from food residues ]

*Ahmed Ahmedou El Hacen and Alassane Diene*

Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et l'Environnement (LaSTEE), Ecole Polytechnique de Thiès, BP A10 Thiès,  
Senegal

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The objective of this study is to characterize the solid household waste of the city of Thiès and to propose ways of valorization. In order to carry out this study, a physical characterization campaign was carried out using the household waste characterization method (MODECOM) modified and adapted to the national context. The results of this campaign revealed that the fines represent more than 50% of the flow emitted by the medium and low standing. For the high standings, this fraction represents only 40%. Putrescibles (between 5% and 20% depending on the standing), plastics, cardboard, composites and paper are the most produced by the population. Similarly, the granulometry is dominated by the fraction of fines followed by the average diameters. The daily ratio is 0.528 kg/capita/day.

The main characteristics determined during the physicochemical characterization are the carbon-nitrogen ratio (27), the chemical oxygen demand (263.8 mg/g), the biodegradability (3) and the methanogenic potential (312.69). The methanization of this waste produced a biogas with a maximum methane content of 41%. This methanization was controlled by monitoring two main parameters which are temperature and pH.

**KEYWORDS:** Household waste, methanation, C/N ratio, methanogenic potential.

**RESUME:** Cette étude a pour objectif de caractériser les déchets solides ménagers de la ville de Thiès et de proposer des pistes de valorisation. Pour bien mener cette étude une campagne de caractérisation physique de déchets a été faite en utilisant la méthode de caractérisation des ordures ménagères (MODECOM) modifiée et adaptée au contexte national. Les résultats issus de cette campagne ont révélé que les fines représentent plus de 50% du flux émis par les moyens et bas standing. Pour les hauts standings, cette fraction ne représente que 40%. Les putrescibles (entre 5% et 20% selon le standing), les plastiques, les cartons, les composites et les papiers sont les plus produits par la population. De même, la granulométrie est dominée par la fraction des fines suivie par les diamètres moyens. Le ratio journalier est de 0,528 kg/habitant/ jour.

Les principales caractéristiques déterminées lors de la caractérisation physicochimique sont le rapport carbone azote (27), la demande chimique en oxygène (263,8 mg/g), la biodégradabilité (3) et le potentiel méthanogène (312,69). Les résultats montrent que la fraction putrescible est susceptible d'être valorisée par méthanisation. La méthanisation de ces déchets a produit un biogaz avec un taux de méthane maximal de 41%. Cette méthanisation a été contrôlée par le suivi de deux paramètres principaux qui sont la température et le pH.

**MOTS-CLEFS:** Déchets ménagers, méthanisation, rapport C/N, potentiel méthanogène.

## **1 INTRODUCTION**

Avec une consommation toujours plus grande et plus diversifiée partout dans le monde, la production des déchets ne cesse d'augmenter en quantité et en qualité engendrant ainsi d'énormes risques sur l'environnement, et par conséquent sur la santé de la population [1], [2], [3]. Cette situation est beaucoup plus inquiétante dans les pays en développement à cause du retard remarquable dans la biotechnologie et système de traitement des déchets. La préservation de l'environnement et de l'écosystème demande une gestion efficace et durable des déchets insalubres avant tout éventuel rejet dans la nature. Le traitement des déchets est le moyen le plus efficace pour lutter contre tous types de pollution générée par ces derniers.

Pour bien mener ce traitement, la quantification et la caractérisation physico-chimique des déchets doivent être effectuées. Ces étapes sont essentielles pour une bonne gestion. En effet, la connaissance de la composition physico-chimique des déchets facilite leurs orientations vers les filières de traitement appropriées.

Parmi les traitements les plus connus, la digestion anaérobie des déchets organiques a été déclarée la plus avantageuse et offre une alternative au rejet dans les décharges, à l'enfouissement, à l'incinération et au compostage [2].

La caractérisation des substrats est une étape primordiale pour déterminer les paramètres clés de la méthanisation et ainsi agir pour les optimiser si nécessaire. Parmi ces paramètres nous pouvons citer l'azote total, le carbone organique total, la demande chimique en oxygène, la biodégradabilité et la teneur de certains métaux.

L'objectif de ce travail est de quantifier les déchets solides ménagers générés par les populations de la ville de Thiès, les caractériser globalement et plus précisément déterminer les caractéristiques de la fraction fermentescible (reste aliments) en vue de la valoriser énergétiquement (production du méthane) et/ou de façon agricole (production des amendements de sols).

## **2 MATÉRIEL ET METHODE**

### **2.1 CAMPAGNE DE CARACTÉRISATION**

- Enquête préliminaire

L'enquête préliminaire auprès des ménages est une étape indispensable pour toute campagne de caractérisation des ordures ménagères. Elle permet de recueillir le maximum d'informations utiles pour le bon déroulement de l'étude.

Il s'agit en particulier de collecter des informations sur la taille des ménages, des lieux de commerce ou d'artisanat, le revenu des ménages, le type d'habitat, la pratique de gestion des déchets, la valorisation opérée sur les déchets ou de l'une de ses fractions s'il y a lieu, et leur vision pour sa gestion globale.

Cette enquête conduit à:

- L'identification des quartiers et des ménages;
- Le zonage des quartiers en standing et le choix des quartiers ciblés;
- L'identification et le choix des ménages dans lesquelles l'opération de collecte de déchets aura lieu [4].

### **Collecte et tri**

Après avoir bien identifié les ménages et coordonné avec eux, les déchets issus de ces ménages sont collectés et conservés avant de les envoyer au tri. Pour faciliter le travail, des sacs poubelles ont été distribués la veille du jour de collecte.

Une fois les déchets sur le site de triage, ils sont versés sur des bâches préalablement étalées pour commencer l'opération de tri. Les déchets sont quartagés puis triés suivant 13 catégories définies par la méthode MODECOM et suivant trois types de diamètres (fig.1). Pour se faire les matériels cités dans le tableau 1 ont été utilisés [4].



Fig. 1. Pesage et triage des déchets

Tableau 1. Liste du matériel utilisé pour la campagne

| Rubrique                                     | Nombre | Usage   |
|--|--------|---|
| Balances de capacités 5kg et 50kg            | 2      | Peser les échantillons et connaître le poids vide des poubelles |
| Abri   | 1      | Pour se protéger du soleil ou de la pluie                       |
| Bâche 5 m x 5 m                              | 1      | Pour décharger les déchets                                      |
| Table de tri avec 2 cribles (100 mm - 20 mm) | 1      | Pour le tri   |
| Bac  | 1      | Pour la récupération des fines                                  |
| Pelle en plastique                           | 1      | Pour récupérer les fines sur la bâche                           |
| Poubelles                                    | 13     | Pour la récupération de 13 catégories de déchets                |
| Sacs poubelles                               | -      | Pour la collecte des déchets                                    |
| Râteaux                                      | 2      | Pour l'étalement des tas des déchets                            |
| Balais                                       | 1      | Pour nettoyer autour de la table                                |
| Marqueurs                                    | 1      | Pour marquer les échantillons                                   |
| Appareils photo                              | 1      | Pour illustrer le processus                                     |
| Sécateur                                     | 1      | Pour découper les matériaux si nécessaire                       |

- Ratio journalier

Le ratio est la quantité moyenne des déchets (toute catégorie confondue) produite par habitant et par jour au niveau d'un territoire donné. Il se calcule directement sur la base de l'échantillonnage des déchets réalisé et les populations responsables du flux émis.

Ce ratio se calcule à partir de l'équation:

$$r = Q * P^{-1} * n^{-1} (1)$$

r: ratio en kg/habitant/jour;

Q: quantité de déchets collectés;

P: population responsable de la production des déchets;

n: nombre de jours correspondant à la quantité de déchets collectés.

- Masse volumique

La masse volumique constitue un paramètre important dans la gestion de déchet. Elle est indispensable pour le dimensionnement des bacs et des véhicules de collecte. On peut la calculer en remplissant sans tassement un récipient de volume bien connu. Cette opération doit être répétée plusieurs fois afin d'obtenir une moyenne représentative (fig.2).



**Fig. 2. Mesure de la masse volumique**

## 2.2 CARACTÉRISATION DU SUBSTRAT UTILISÉ POUR LA MÉTHANISATION

- Origine du Substrat

Le substrat utilisé dans cette étude est issu de la campagne de caractérisation. Il est constitué principalement des déchets organiques issus des ménages de la ville de Thiès. Ce substrat a été trié et choisi à partir des déchets de cuisine composés d'épluchures de légumes, de fruits, d'éléments riches en amidon (riz, vermicelle, pain) (fig. 3). Il a été broyé avec un mixeur.



**Fig. 3. Photo du substrat utilisé**

- Matière sèche

C'est le résidu sec restant d'un échantillon après 24 h de son introduction dans une étuve préalablement chauffée à  $105^{\circ}\text{C} \pm 5$ . Après un séjour de 24 h dans l'étuve, l'échantillon est introduit dans un dessiccateur pour être refroidi avant son pesage (fig. 4). Le résidu ainsi obtenu doit être suffisamment sec et sa masse est inférieure à celui de l'échantillon introduit. La détermination de la matière sèche est essentielle pour la méthanisation car la plupart des paramètres sont exprimés sur la base sèche. Elle peut être déterminée à partir de l'équation:

$$MS = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} * 100 \quad (2)$$

Avec:  $m_0$ : masse du récipient vide;

$m_1$ : masse du récipient + échantillon avant le séchage;

$m_2$ : masse du récipient + échantillon après séchage.



**Fig. 4.** Refroidissement des échantillons dans un dessiccateur

- Matière organique

La matière organique ou solide volatile total est calculée par la différence de pesée de masse entre l'échantillon sec et le même échantillon calciné à 600°C dans un four à moufle (fig 5) pendant 6 h. Après refroidissement, la matière organique peut être déterminée à partir de l'équation:

$$MO = \frac{m_2 - m_3}{m_2} * 100 \quad (3)$$

Avec  $m_3$ : masse de l'échantillon après calcination.





Fig. 5. Calcination des échantillons dans un four à moufle

- Carbone organique total

Le carbone organique total (COT) est un paramètre important pour définir la qualité d'une eau ou son degré de pollution. Il indique la teneur en composés organiques sans spécification sur la nature de cette composition. Ce paramètre est important dans la méthanisation car son rapport avec l'azote total donne une indication sur le pouvoir méthanogène d'un tel substrat. Il a été déterminé à partir de la matière organique comme le montre l'équation suivante [1]

$$COT = \frac{MO}{1,74} \quad (4)$$

- Azote total

L'azote total a été déterminé avec la méthode de Kjeldahl modifiée [5]. Trois échantillons de masses différentes (0,25g; 0,35g; 0,55g) préalablement séchés à l'air libre ont été introduits dans trois tubes de minéralisation. Après ajout de 4 ml d'acide salicylique/acide sulfurique et agitation, les échantillons ont été laissés au repos toute la nuit. Ensuite 0,5 g de thiosulfate penta hydraté a été ajouté et les échantillons chauffés jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de mousse. Après refroidissement, 1,1 g de catalyseur de minéralisation ont été ajoutés et les échantillons chauffés de nouveau pendant 7 h jusqu'à ce qu'ils deviennent clairs.

Une fois les échantillons refroidis après la minéralisation, la distillation commence. Dans un erlenmeyer placé à la sortie du distillateur et contenant préalablement 5 ml d'acide borique et 20 ml d'hydroxyde de sodium, on récupère 40 ml de distillat puis on procède au titrage avec une solution d'acide sulfurique préalablement préparée [6] (figure 6). La teneur en azote total peut être calculée avec les équations (4) et (5).



Fig. 6. Minéralisation, distillation et titrage de l'azote de Kjeldahl

- Le phosphore

Le phosphore total est l'ensemble du phosphore présent dans un échantillon sous forme de phosphates ou de composés organophosphorés. La présence du phosphore dans les effluents industriels provient surtout des détergents, des engrais et de la décomposition de la matière organique. Sa détermination passe par deux étapes: i) la première est la digestion en milieu acide qui transforme tout le phosphore en orthophosphate; ii) La deuxième étape est le dosage des ions orthophosphates [7].

L'équation suivante est utilisée pour calculer la concentration de phosphore dans l'échantillon:

$$c = \frac{A * F * 25}{B} \quad (5)$$

Où  $c$ : concentration du phosphore total dans l'échantillon (mg/kg P);

$A$ : concentration du phosphore total dosée (mg/l P);

$F$ : facteur de dilution, si nécessaire;

25: volume d'eau ajoutée à l'échantillon solide avant la digestion;

$B$ : poids de l'échantillon solide sur base sèche (g) déterminé selon l'équation (6).

$$B = D * \frac{100-H}{100} \quad (6)$$

Où  $D$ : poids de l'échantillon humide;

$\frac{100-H}{100}$ : facteur de conversion permettant d'exprimer le résultat sur base sèche en tenant compte du pourcentage d'humidité  $H$  (%) de l'échantillon.

- Demande chimique en oxygène (DCO)

La détermination de ce paramètre permet l'évaluation de la charge organique polluante dans les échantillons solides ou liquide. Après avoir digéré l'échantillon dans un milieu acide, 2 ml de la solution 10 fois diluée ont été introduits dans des tubes contenant des réactifs dans les quantités souhaitées pour doser ce paramètre. Ces tubes sont chauffés à 150 °C et refroidis avant de passer dans un spectrophotomètre de type AL800 (figure 7). La gamme des tubes utilisés est de 0 à 150 mg/IO<sub>2</sub> [8].



Fig. 7. Détermination de la DCO par spectrophotomètre

- Potentiel bio-méthanogène

Le potentiel méthane également appelé potentiel méthane biochimique (MPB) est un paramètre utilisé pour évaluer le potentiel de biogaz et de méthane des matières organiques. Le MPB est souvent défini comme le volume maximum de  $CH_4$  produit par gramme de matière solide volatile. Plusieurs approches théoriques sont disponibles pour déterminer ce paramètre. Ce paramètre peut être estimé à partir de la demande chimique en oxygène conformément aux équations (7), (8) et (9).

$$\frac{n_{CH_4} \cdot R \cdot T}{p \cdot v_s} \quad (7)$$

$$n_{CH_4} = \frac{DCO}{64} \quad (8)$$

Où :

$R = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{l} / \text{mol} \cdot \text{K}$ ;

T: température (310K);

P: pression atmosphérique (1 atm);

$n_{ch4}$ : nombre de mole de méthane ( $CH_4$ ).

- La biodégradabilité

La biodégradabilité est le processus de décomposition de la matière organique sous l'action des microorganismes. Il existe différents facteurs physiques, chimiques ou physicochimiques qui influencent la biodégradabilité des composés organiques tels que la biodisponibilité, la bioaccessibilité, la température, le Ph et la concentration. En anaérobie, la biodégradabilité est essentielle pour l'optimisation de l'activité métabolique. La biodégradabilité peut être estimée en connaissant le BPM et la DCO comme décrit par l'équation (9) [10]

$$\text{biodé radabilité} = \frac{BMP}{DCO \cdot 0,35} \quad (9)$$



- Teneur en métaux

Certains métaux sont nécessaires pour l'activité microbienne au sein du digesteur comme le fer, le zinc et le Nickel avec des taux bien déterminés [9]. La détermination de ces métaux a été effectuée en se référant à la méthode décrite par le centre d'expertise et analyse environnementale du Canada [12].

### 2.3 LA MÉTHANISATION

La méthanisation est un processus biologique basée sur la dégradation de la matière organique par des microorganismes en milieu bien contrôlé. Ce processus se compose de plusieurs étapes biochimiques. L'hydrolyse qui convertit la matière organique en molécules solubles. Cette étape est la plus lente dans le cas des substrats solides. Les bactéries responsables de l'acidogénèse utilisent ces monomères (sucres, acides aminés, acides gras à longue chaîne) et les réduisent en alcools et acides gras volatils (majoritairement), mais aussi en autres composés tels que l'hydrogène et le  $\text{CO}_2$ . Ces derniers sont consommés par les acétogénèses qui de les transforment dans un premier temps en acétate de gaz carbonique et de l'hydrogène. Enfin, les bactéries méthanogènes génèrent du méthane à partir de l'acétate et du dioxyde de carbone (méthanogénèse acétoclastique, environ 70% du méthane produit) ou à partir de la réduction du gaz carbonique par l'hydrogène (méthanogénèse hydrogénéophile) [13].

- Le dispositif expérimental

Les essais ont été effectués dans des réacteurs de type discontinu. Il s'agit des bouteilles de 10 litres. Ces bouteilles sont munies de deux trous sur leurs couvercles. Le premier trou est destiné au prélèvement des échantillons liquides pour la mesure du pH et de la température. Le deuxième trou sert à la récupération du biogaz et son analyse (figure 8). L'analyse du biogaz ainsi obtenu a été réalisée par un analyseur de gaz du type GEM 5000. Cet appareil est fabriqué par Geotech et donne la composition du biogaz suivant ces principaux composants qui sont le méthane ( $\text{CH}_4$ ), le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et le  $\text{H}_2\text{S}$  en trace.



**Fig. 8. Dispositif expérimental**

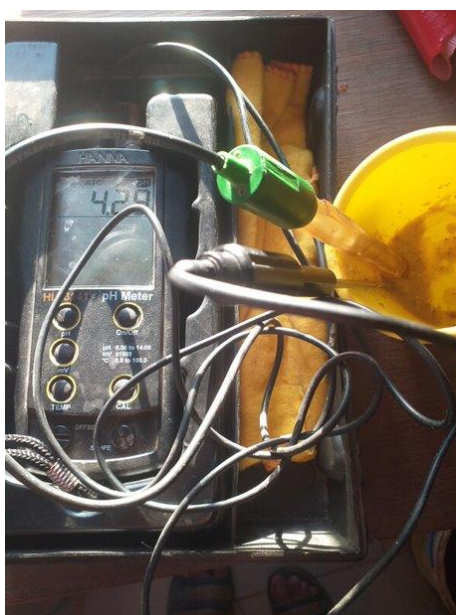
- pH

Le pH est l'un des principaux facteurs qui affectent grandement le processus de la digestion anaérobie. La plupart des microorganismes favorise la plage neutre. Lors du processus anaérobie, plusieurs microorganismes interviennent ce qui nécessite un pH optimal pour optimiser leurs activités. La production maximale du biogaz est dans la plage de 6,8 et 7,2 [10]. Les microorganismes de la phase méthanogènes sont très sensibles au changement du pH et leur pH optimum est de 7 tandis que ceux de la phase acidogénèse sont moins sensibles au changement du pH et sont tolérables dans la plage de 4 et 8, 5. Le pH optimum de l'hydrolyse et de l'acidogénèse est entre 5,5 et 6,5 [10]. La valeur du pH est également un facteur important car elle influence la proportion de formes ionisées et non ionisées (un excès d'hydrogène sulfuré, d'acides gras et d'ammoniac sont toxiques sous leurs formes non ionisées).

- **Température**

La température est l'un des principaux facteurs de survie des microorganismes pendant le processus anaérobie. La plage de la température est la principale technique pour classifier les différentes digestions. Ils existent trois plages de fonctionnement des digesteurs anaérobies: psychrophile (25°C), mésophile (35°C) et thermophile (55°C). La plage de température optimale au développement des microorganismes est la plage mésophile. Généralement, l'augmentation de la température affecte positivement le métabolisme de la digestion anaérobie et donc réduit le temps de séjour des substrats dans les digesteurs. La phase thermophile est la plus difficile à contrôler et nécessite un apport d'énergie continue pour la maintenir. Les microorganismes thermophiles sont sensibles au changement de température, ce qui peut entraîner une diminution significative de la production de biogaz. Généralement le processus mésophile implique souvent une diversité de microorganisme plus stable par rapport au processus thermophile car moins de variétés sont disponibles et actives dans la phase thermophile.

L'appareil utilisé pour le contrôle de la température et le pH est de type HANNA (figure 9). Il est équipé de deux sondes l'une est pour mesurer le pH et l'autre pour la température.



**Fig. 9. Mesure du pH et de la température**

### **3 RÉSULTATS ET DISCUSSION**

#### **3.1 RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE**

- **L'enquête**

Les ménages enquêtés appartiennent à trois niveaux de standing différents (haut standing, moyen standing et bas standing). Ils payent 3 euros environ par mois pour la collecte de leurs déchets. La fréquence de collecte est de 2 à 3 fois par semaine avec un taux de collecte jugé peu stable surtout dans les quartiers bas standing. La taille moyenne des ménages dans le quartier bas standing est 10 personnes tandis qu'elle est inférieure à 10 dans les autres standings. Certains valorisent la fraction fermentescible comme aliment pour les animaux domestiques.

- **Ratio journalier**

Le ratio moyen journalier calculé par l'étude est de 0,528 kg/hab/jour. Il est légèrement inférieur à celui trouvé par l'Unité de la Coordination et de la Gestion des déchets solides (UCG) [14]. Les résultats de la campagne de caractérisation réalisée par K. TOPANOU et al. [15] à Abomey Calavi (Benin) et celle effectuée par K. KOLEDZI et al. [16] à Lomé (Togo) ont montré des

ratios plus élevés 0,89 et 0,91 kg/hab/jour respectivement. Pour certains chercheurs, ce ratio doit dépendre du niveau de standing, ce qui n'est pas confirmé dans notre cas. Ce ratio rapporté à la population estimée de la ville de Thiès en 2020 donne une production annuelle de 203, 31775 tonnes/an. La figure (fig 10) donne le détail de cette production pour tous les standings.

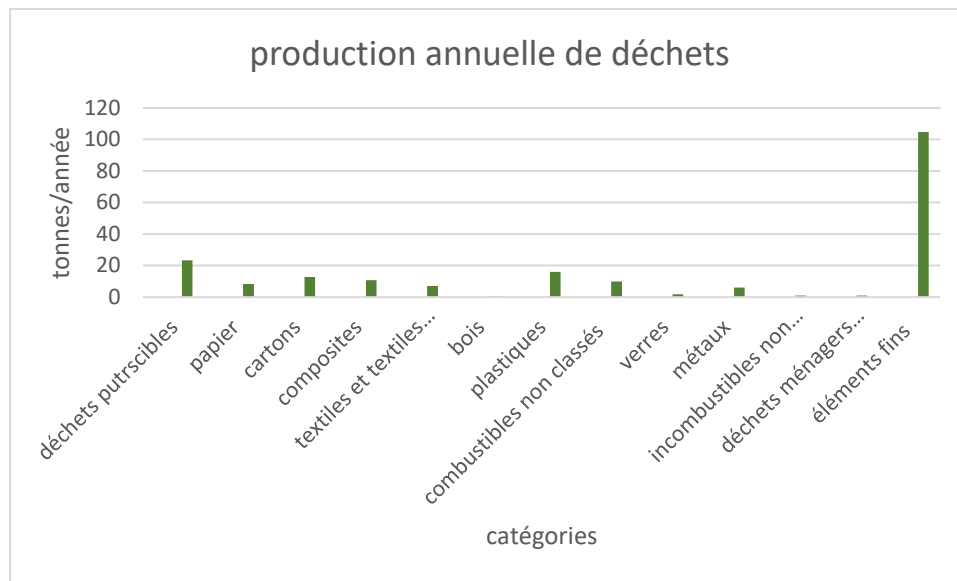


Fig. 10. Production annuelle par catégories

- Collecte et triage

Les poubelles des ménages ont été vidées avant la distribution des sachets pour s'assurer que la quantité que nous collectons est celle produite par les ménages au bout de 24 heures.

Le chronogramme de collecte est mentionné dans le tableau 2.

Tableau 2. Chronogramme de la campagne

| Zone d'étude   | Activité du jour |          |                     |
|----------------|------------------|----------|---------------------|
|                | Distribution     | Collecte | Ramassage et triage |
| Bas standing   | J0               | J1       | J2                  |
| Moyen standing | J1               | J2       | J3                  |
| Haut standing  | J2               | J3       | J4                  |

Les résultats de triage par granulométrie et ceux des catégories sont donnés dans les figures (11) et (12) respectivement:

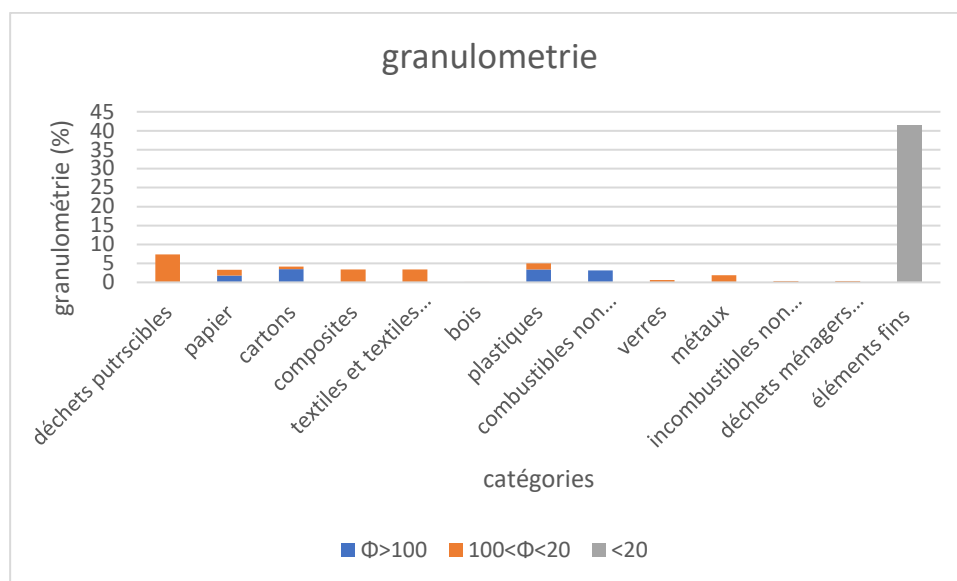


Fig. 11. Granulométrie des déchets

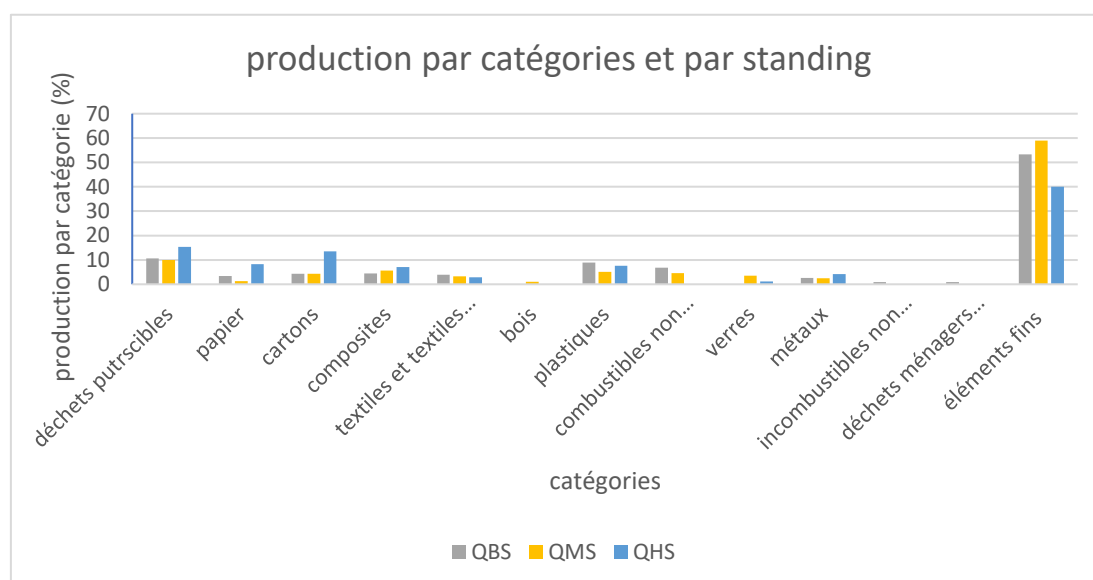


Fig. 12. Composition de déchets par catégorie et per standing

L'analyse de la granulométrie des déchets montre que la fraction de fine représente la majorité des déchets issus de la ville de Thiès. Les objets de diamètres moyens sont aussi bien présents et dans toutes les catégories figure (10). Tandis que la présence des gros diamètres est limitée dans certaines catégories. Ces résultats concordent bien avec les résultats trouvés par l'Unité de Coordination et de la Gestion des déchets solides (UCG) [14]. L'étude menée par K. HARO et al. [17] a montré l'abondance de la sous-catégorie des fines suivi par celle des gros diamètres et, la moyenne granulométrie qui est la moins présente.

Considérée aussi comme une catégorie, la fraction des fines reste la fraction la plus abondante dans les poubelles des Thiessois tous standings compris. Elle est moins importante dans les hauts standings à cause de la nature de revêtement des sols. Cette fraction est composée essentiellement par le sable. La deuxième fraction la plus présente est celle des fermentescibles. Contrairement aux fines, elle est plus présente dans les poubelles des hauts standings que dans les moyens et les bas standings. Cette présence peut être la conséquence du niveau de vie. Il en est de même pour les cartons et les papiers. D'autres études menées par des chercheurs et des organisations ([14], [18]) qui travaillent ont montré certaines

concordances de nos résultats. De façon générale la composition des déchets n'est pas universelle et dépend essentiellement des habitudes et des niveaux de vie des populations.

- La masse volumique ou densité

La densité des déchets a été déterminée à l'aide un seau de poubelle de volume 65 litres. Le poids du seau a été déterminé avant et après le remplissage. L'opération était répétée plusieurs fois pour avoir des valeurs représentatives. Les valeurs trouvées et la moyenne calculée sont représentées dans la figure (13). Elles sont trop basses en comparaison avec celles révélées par l'Unité de Coordination et de la Gestion des déchets solides (UCG) [14] et S. OJOAWO et al. [18]. Cette différence remarquable peut être due au choix des ménages lors de l'échantillonnage et aux différentes habitudes des populations.

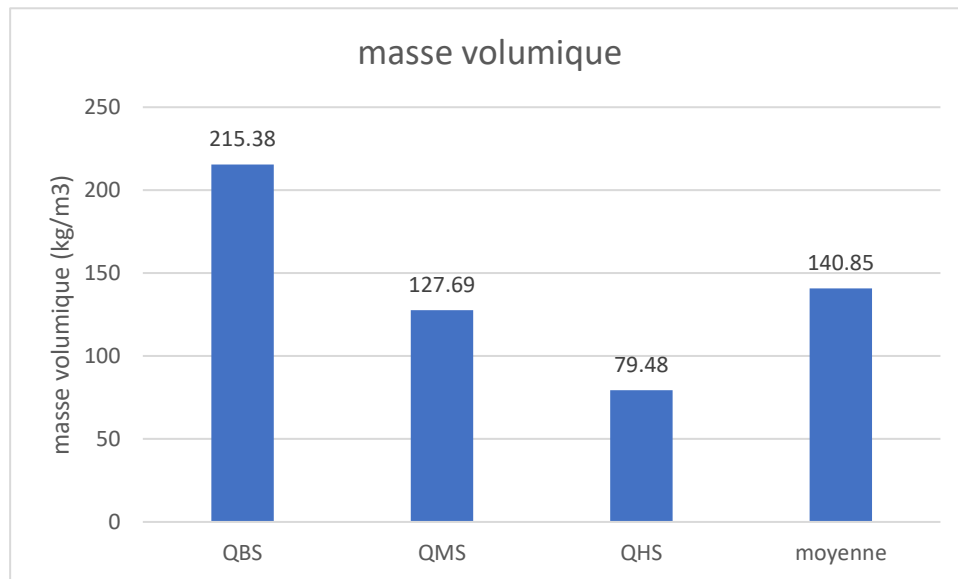


Fig. 13. Masse volumique moyenne dans les différents standings

### 3.2 CARACTÉRISATION DU SUBSTRAT

Dans cette étude tous les essais ont été effectués sur trois (3) échantillons pour s'assurer de la fiabilité et de la reproductibilité des résultats.

La caractérisation des déchets alimentaires de la ville de Thiès (tableau 3) montre que ces déchets sont riches en carbone et contiennent un taux d'azote moins élevé par rapport aux d'autres types de déchets (déchets de poisson). Ils montrent un taux de matière sèche peu élevé par rapport à celui trouvé par K. CYRIL et al. [9] et C. ARSLAN et al. [19]. Par contre, pour le carbone organique total, l'azote et la matière organique, les valeurs obtenues sont proches de celles de M. Fall et al [8]. Le rapport carbone azote (C/N) trouvé pour notre substrat est dans la plage optimale pour la production du méthane. Il est aussi comparable aux différents rapports trouvés par d'autres études ([20], [21]). Nous avons aussi remarqué que le pH de ces déchets est trop bas ce qui peut être une source d'inhibition des bactéries de la phase méthanogène.

Tableau 3. Caractéristiques du substrat

| Paramètres | MS (%) ou TS | MO ou VS (%) | N (%)                 | COT (%)                 | P (mg/g) | C/N   |
|------------|--------------|--------------|-----------------------|-------------------------|----------|-------|
|            | 35,26        | 95,03        | 1,99 <sup>±0,07</sup> | 54,62 <sup>±0,144</sup> | 0,41     | 27,41 |

Les taux des métaux lourds et légers détectés dans ce substrat sont inférieurs aux valeurs seuils ou inhibitrices. Certaines sont dans la plage optimale [22], [23], comme le potassium et le plomb tandis que d'autres sont en dehors de cette plage (tableau 4).



Tableau 4. Teneur du substrat en métaux lourds

| Elément | Teneur (mg/kgMS) |
|---------|------------------|
| Zn      | 280              |
| K       | 1686,98          |
| Ni      | 0                |
| Fe      | 0                |
| Pb      | 102              |

La valeur de la DCO, BMP (tableau 5) n'est pas loin de celle trouvée dans d'autres études sur les déchets organiques [9], [24], [25]. Ces valeurs indiquent que notre substrat a un bon potentiel méthanogène d'une part et qu'il est moyennement biodégradable. Nous observons également que le BMP augmente si le DCO augmente. Par contre la biodégradabilité diminue si le DCO augmente.

Le potentiel de méthane calculé à partir de la DCO est un outil utile pour déterminer le meilleur substrat. C'est une méthodologie destinée à économiser des coûts et du temps en utilisant le potentiel de méthane final théorique d'un substrat à partir de sa concentration en DCO [9]. La détermination de la DCO permet la quantification de la matière organique dans les substrats, elle sert encore à l'estimation de la BMP et la biodégradabilité.

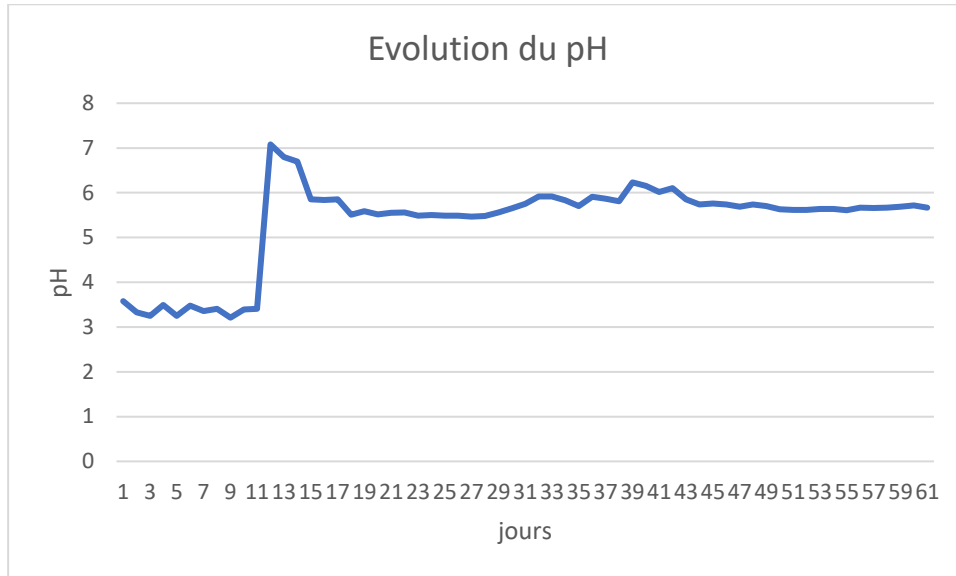
Tableau 5. DCO, BMP, et biodégradabilité

| Paramètres | DCO (g/kg) | BMP (ml CH <sub>4</sub> /g VS) | biodégradabilité |
|------------|------------|--------------------------------|------------------|
| Valeurs    | 263,8      | 312,69                         | 3,38             |

### 3.3 LA DIGESTION ANAÉROBIE

- pH

La valeur du pH optimum de la digestion anaérobie est dans la plage de 6,8 à 7,8 [10], [21]. Le pH des déchets alimentaires est généralement trop bas comme le montrent plusieurs études [9], [10]. Le pH initial de notre étude est de 3,5 et partir du 9<sup>ème</sup> jour, l'ajustement du pH a été effectué avec une solution de NaOH 8N jusqu'à un pH neutre (figure14). La réaction de fermentation continue à produire des acides organiques avec une diminution du pH. La chute du pH en dehors de la plage optimale a forcément un effet négatif sur la vie et l'activité microbienne et surtout sur les microorganismes méthanogènes. A la fin, le pH a subi certaines oscillations avant de se stabiliser autour de 5,7 jusqu'à la fin de la réaction.

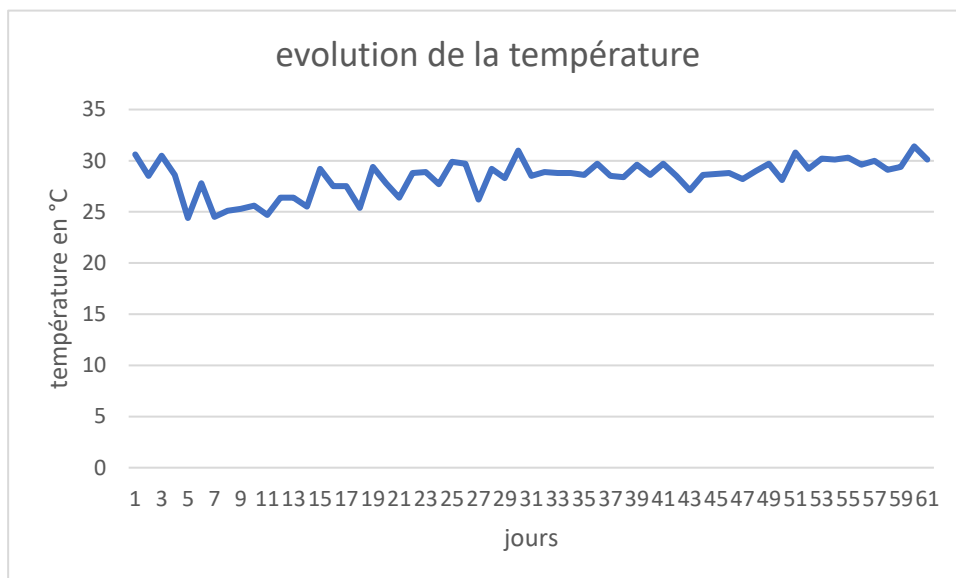


**Fig. 14.** Variation du pH au cours de la méthanisation

- La température

Pendant toute la période d'expérimentation, la température des réacteurs anaérobies était peu variable et même celle du laboratoire (figure 15). Cette température n'était pas à l'optimum pour la digestion anaérobie malgré qu'elle soit dans la plage mésophile (plage optimale).

Plusieurs chercheurs ont expérimenté la digestion anaérobie des déchets organiques avec une température bien fixée [26]. Toutes ces études ont montré l'influence positive de la stabilité de la température dans des plages bien déterminées sur la production du méthane.



**Fig. 15.** Variation de la température au sein des digesteurs

- Production de méthane

La production de méthane a commencé dès le début avec un pourcentage autour de 5% (figure 16), ce qui peut être dû à la forte acidité du milieu. Le pH trop bas inhibe les réactions méthanogènes et provoque des déséquilibres. La valeur du pH au début de la fermentation ne favorise pas une production substantielle de méthane.

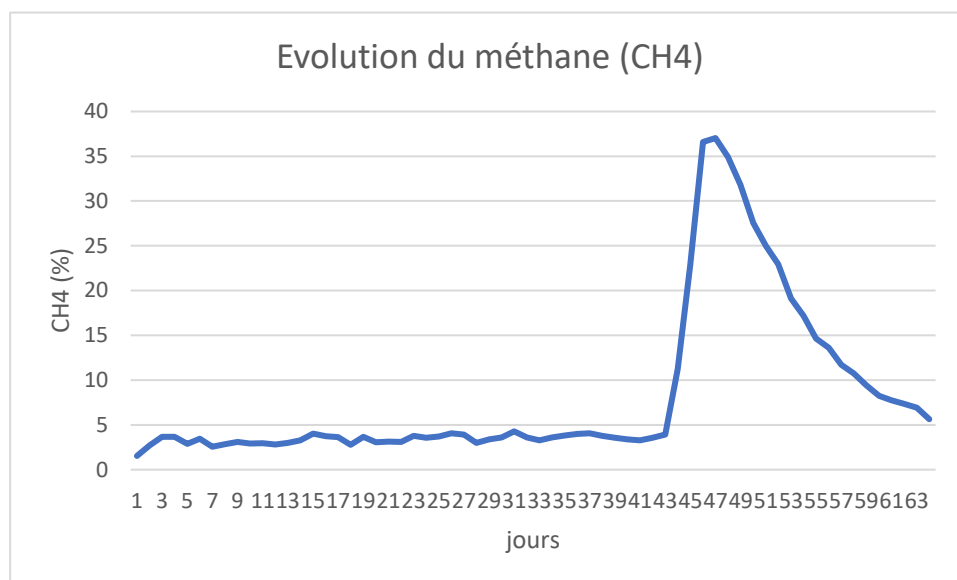


Fig. 16. Courbe de la production du biogaz

Pour accélérer le processus de dégradation de la matière organique, nous avons jugé nécessaire d'inoculer les digesteurs avec de la bouse de vache pré-fermentée. Une semaine après l'inoculation, l'amélioration de la production était remarquable. Plusieurs études ont été faites sur la caractérisation et la fermentation des résidus alimentaires. Parmi celles-ci, l'étude menée par M. Fall et al. [8] a montré que la production cumulée du méthane intervenait au début de la fermentation avant la chute du pH, alors que dans notre cas la production de méthane intervient après l'inoculation et l'ajustement du pH. Cette différence peut être due aux natures des substrats et au rapport de mélange.

Les résidus alimentaires n'ont pas une composition chimique universelle donc les résultats obtenus lors de la fermentation de ces résidus dépendent de la qualité du substrat.

#### 4 CONCLUSION

La caractérisation physique des déchets solides ménagers de la ville de Thiès et la caractérisation physicochimique de la fraction fermentescible ont été étudiés à l'aide de la méthode de MODECOM modifiée et adaptée au contexte national. Nous avons obtenu un ratio qui vaut 0,528 kg/hab/jours et une importante fraction des fines quel que soit le standing de production. Les putrescibles sont fortement présentes dans les déchets analysés dans la présente étude. En termes de granulométrie, la fraction de fines est plus présente dans les déchets issus des bas standings.

La caractérisation physicochimique de la fraction fermentescible de ces déchets a montré un bon pouvoir méthanogène avec un rapport carbone azote qui dépasse 27,41. Elle est moyennement biodégradable avec un DCO de 263,8 mg/g MS et un potentiel de méthane qui vaut 312,69 ml CH<sub>4</sub>/g VS. La fermentation cette fraction a permis de produire un biogaz dont le taux de méthane est de 41,2%.

#### REMERCIEMENT

Nous exprimons tous nos remerciements à l'Unité de Coordination et de la Gestion des déchets solides ménagers et assimilés pour son accompagnement lors de cette étude.

## REFERENCES

- [1] M. E. Afilal, O. Elasri, and Z. Merzak, "Caractérisations des déchets organiques et évaluation du potentiel Biogaz (Organic waste characterization and evaluation of its potential biogas)," *J. Mater. Environ. Sci*, vol. 5, no. 4, pp. 1160–1169, 2014.
- [2] L. Bensmail and A. Touzi, "Valorisation de la biomasse à des fins énergétiques : Contribution de la production de biogaz au développement durable," 2012. [Online]. Available: <http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>.
- [3] C. G. Jung, "Voies de traitements de déchets solides: Valorisation matière et énergie." [Online]. Available: <http://bi.chm-cbd.net>.
- [4] Unité de Coordination de la Gestion des déchets solides, "Guide méthodologique de la caractérisation des déchets solides".
- [5] "S-I-3V3-DÉTERMINATION DE LA TENEUR PONDÉRALE EN MATIÈRE SÈCHE ET EN EAU."
- [6] S.-D. D. E. L. A. Total, "METHODE DE KJELDAHL MODIFIEE - DANS LES Objet Domaine d' application Préparation de l' échantillon Réactifs utilisés," pp. 4–7, 2014.
- [7] "Détermination de l' azote total Kjeldahl et du phosphore total : digestion acide – méthode colorimétrique automatisée," vol. 15, no. révision 2, 2014.
- [8] M. Fall, M. Wade, A. Diene, and G. Sissoko, "Qualitative Study of Biogas Produced from Cow Dung and Food Residues," *Journal of Scientific and Engineering Research* 506 *Journal of Scientific and Engineering Research*, vol. 4, no. 10, pp. 506–513, 2017, [Online]. [www.jsaer.com](http://www.jsaer.com).
- [9] K. A. Rodrigue, K. Essi, T. Albert, and A. Agboue, "Biochemical Methane Potential of Food Wastes from Akouedo Landfill, C&#244; te d'Ivoire," *Green and Sustainable Chemistry*, vol. 08, no. 03, pp. 288–293, 2018, doi: 10.4236/gsc.2018.83019.
- [10] K. Hagos, J. Zong, D. Li, C. Liu, and X. Lu, "Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 76. Elsevier Ltd, pp. 1485–1496, 2017. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.184.
- [11] C. D. E. Recherche and S. U. R. La, "Guide méthodologique pour l'exploitation d'unités de méthanisation de déchets solides," Recherche, 2007.
- [12] "D-II-4V2-: DÉTERMINATION DE LA CONCENTRATION EN MÉTAUX DANS LES ECHANTILLONS DE BOIS 1. Objet."
- [13] E. Génie and W. Laperriere, "Évaluation des limites d'un digesteur biogaz pour une utilisation flexible dans un réseau local de production d'énergie," 2017.
- [14] UCG, "Rapport de la campagne nationale de caractérisation des ordures ménagères et assimilées," 2015.
- [15] K. A. N. TOPANOU, "Gestion des déchets solides ménagers dans la ville d' Abomey -Calavi (Bénin) : Caractérisation et essais de valorisation par compostage.," 2012.
- [16] K. E. KOLEDZI, "Valorisation des déchets solides urbains dans les quartiers de Lomé (Togo): approche méthodologique pour une production durable de compost," 2011.
- [17] K. Haro, I. Ouarma, B. Nana, A. Bere, and J. Koulidiati, "Characterization and Potential Recovery of Household Solid Waste in the City of Ouagadougou (Burkina Faso)," *Journal of Environmental Protection*, vol. 09, no. 04, pp. 309–324, 2018, doi: 10.4236/jep.2018.94021.
- [18] M. Mizero, T. Ndikumana, and Jung, "Quantification, caractérisation et voies de valorisation des déchets solides municipaux dans la ville de Bujumbura." [Online]. Available: <http://outil-dd.fne-midipyrenees.fr/sections/dynamique-de>.
- [19] S. Ojoawo, O. Agbede, and A. Sangodoyin, "On the Physical Composition of Solid Wastes in Selected Dumpsites of Ogbomosoland, South-Western Nigeria," *Journal of Water Resource and Protection*, vol. 03, no. 09, pp. 661–666, 2011, doi: 10.4236/jwarp.2011.39076.
- [20] C. Arslan, A. Sattar, J. Changying, A. Nasir, I. Ali Mari, and M. Zia Bakht, "Impact of pH management interval on biohydrogen production from organic fraction of municipal solid wastes by mesophilic thermophilic anaerobic codigestion," *BioMed Research International*, vol. 2015, 2015, doi: 10.1155/2015/590753.
- [21] F. Philippe and M. Culot, "Household solid waste generation and characteristics in Cape Haitian city, Republic of Haiti," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 54, no. 2, pp. 73–78, Dec. 2009, doi: 10.1016/j.resconrec.2009.06.009.
- [22] M. Boz\_Ym, I. Florczak, P. Zdanowska, J. Wojdalski, and M. Klimkiewicz, "Une analyse des concentrations de métaux dans les déchets alimentaires pour la production de biogaz," 2014, doi: 10.1016/j.rerene.2014.11.010.
- [23] A. Mudhoo and S. Kumar, "Effects of heavy metals as stress factors on anaerobic digestion processes and biogas production from biomass," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 10, no. 6. Center for Environmental and Energy Research and Studies, pp. 1383–1398, Nov. 01, 2013. doi: 10.1007/s13762-012-0167-y.
- [24] R. A. Labatut, L. T. Angenent, and N. R. Scott, "Biochemical methane potential and biodegradability of complex organic substrates," *Bioresource Technology*, vol. 102, no. 3, pp. 2255–2264, Feb. 2011, doi: 10.1016/j.biortech.2010.10.035.
- [25] E. Dinuccio, P. Balsari, F. Gioelli, and S. Menardo, "Evaluation of the biogas productivity potential of some Italian agro-industrial biomasses," *Bioresource Technology*, vol. 101, no. 10, pp. 3780–3783, May 2010, doi: 10.1016/j.biortech.2009.12.113.
- [26] M. Zamanzadeh, L. H. Hagen, K. Svensson, R. Linjordet, and S. J. Horn, "Biogas production from food waste via co-digestion and digestion- effects on performance and microbial ecology," *Scientific Reports*, vol. 7, no. 1, Dec. 2017, doi: 10.1038/s41598-017-15784-w.