

## Caractérisations des déchets organiques de la ville de Tanger et evaluation du potentiel Biogaz

### [ Organic waste characterization in Tangier City and evaluation of its potential biogas ]

*Abderrahim MOUHSSINE and Jamal BRIGUI*

Laboratoire de Genie et Valorisation des Ressources,  
FST Tanger, Université Abdelmalek Essaadi, Tanger, Maroc

Copyright © 2017 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:** This research work made it possible to study waste deposits suitable for methanisation in the city of Tangier Biogas recovery offers two scenarios: the installation of a cogeneration plant and the production of electricity or the direct use of biogas. From a climatic point of view, electricity production is more favorable since the substitution of electricity generates a maximum reduction of CO<sub>2</sub> equivalents.

From a financial point of view, the direct valorization of biogas is more economical because it saves costs for a cogeneration plant. The energy recovery of waste is generally justified by the fight against global warming and the promotion of renewable energies.

**KEYWORDS:** methanisation, energy recovery, electricity, cogeneration.

**RÉSUMÉ:** Ce travail de recherche, a permis d'étudier les gisements des déchets convenables pour une méthanisation dans la ville de Tanger La valorisation du biogaz offre deux scénarios: l'installation d'une centrale de cogénération et la production de l'électricité ou la valorisation directe du biogaz. D'un point de vue climatique, la production d'électricité est plus favorable puisque la substitution de l'électricité engendre une réduction maximale d'équivalents-CO<sub>2</sub>.

D'un point de vue financier, la valorisation directe du biogaz est plus économique car on économise les coûts pour une centrale de cogénération. La valorisation énergétique des déchets se justifie d'une façon générale par la lutte contre le réchauffement climatique et la promotion des énergies renouvelables.

**MOTS-CLEFS:** méthanisation, valorisation énergétique, électricité, cogénération.

## 1 INTRODUCTION

La mise en place de données fiables sur la caractérisation des déchets est un préalable à toute approche de gestion efficace. La disponibilité de ces informations capitales permet essentiellement d'évaluer la masse de déchets générés et de suivre son évolution en vue de planifier et de définir les stratégies futures en matière de gestion et de traitement, d'évaluer le potentiel de valorisation (compostage, recyclage des métaux, etc.), d'optimiser le mode de traitement en connaissant précisément la composition des déchets, de prédire les émissions de ces déchets dans l'environnement et éventuellement de travailler sur l'atténuation de leur impact .(1.2.3 .4)

La biométhanisation ou la digestion anaérobie se produit lorsque des microorganismes décomposent la matière organique en mode anaérobie, c'est-à-dire sans oxygène et dans des conditions spécifiques telles que la température et le pH.

La valorisation énergétique des déchets se justifie d'une façon générale par la lutte contre le réchauffement climatique et la promotion des énergies renouvelables. Dans le contexte marocain, cela s'inscrit notamment dans la stratégie marocaine de promotion des énergies renouvelables, avec un objectif d'augmenter la part des énergies renouvelables à 20% du bilan électrique en 2020 [5]

Trois principales méthodes permettent la valorisation énergétique des déchets solides :

- La production de combustibles de substitution;
- Le captage et la valorisation du biogaz sur la décharge;
- La méthanisation de la fraction organique et utilisation du biogaz produit pour la production d'électricité ou la récupération de chaleur.

L'objectif de ce travail est donc d'évaluer la quantité, la qualité et l'origine des déchets pouvant être méthanisés dans la ville de Tanger, A savoir que la méthanisation de la fraction organique des déchets comme alternative de traitement et de valorisation présente les intérêts suivants :

- La valorisation énergétique des déchets : via la méthanisation qui permet la substitution des énergies fossiles par le biogaz (dont la composante principale est le méthane) émet par la biodégradation des déchets organiques enfouis dans la décharge. Le biogaz peut être valorisé énergétiquement (combustion du  $\text{CH}_4$  pour produire de la chaleur et/ou de l'électricité), c'est la substitution des énergies fossiles.
- La réduction des émissions sur la décharge: La combustion du méthane ( $\text{CH}_4$ ) produit du  $\text{CO}_2$ , dont la contribution à l'effet de serre est 21 fois moins importante que le  $\text{CH}_4$ .(6)
- La réduction quantitative des déchets organiques déposés à la décharge communale de Tanger, permettant une réduction des nuisances liées à la présence de déchets organiques tels que la production de lixiviat. Cette amélioration qualitative est un élément important pour respecter les standards environnementaux marocains en matière de décharge contrôlée et cela permettra une baisse des coûts d'exploitation de la décharge.
- La réduction du volume de déchets mis en décharge permettant également des économies sur les coûts et l'augmentation de la durée de vie de la décharge.

## 2 DÉMARCHE ET MÉTHODE

Les différentes étapes permettant d'évaluer le potentiel de production et valorisation du biogaz des déchets par méthanisation (en termes de quantités, qualité et de bénéfices environnementaux et économiques) et les conditions de mise en place d'une telle technique dans la région Nord du Maroc:

- ✓ L'estimation du gisement de déchets organiques : Tout d'abord les quantités potentielles de bios déchets de Tanger ainsi que la qualité des déchets organiques de la région ont été répertoriés.
- ✓ L'analyse de la composition des différents gisements de déchets organiques: Il s'agit d'étudier la composition et le mode de collecte des déchets organiques pouvant le plus facilement être collectés séparément (notamment marchés et abattoirs).
- ✓ L'estimation du bilan climatique de la méthanisation proposée. Les quantités de tonnes d'équivalent  $\text{CO}_2$  pouvant être économisées sont estimées (bilan des émissions liées à la collecte et au transport, substitution des énergies fossiles par la valorisation du biogaz, réduction des émissions sur la décharge. L'énergie et les GES nécessaires au processus de méthanisation ont été pris en compte et comparés à l'énergie gagnée et aux réductions de GES escomptées.
- ✓ L'estimation du bilan environnemental pour la décharge. Les différentes externalités positives et négatives liées à la méthanisation ont été prises en compte.

## 3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### QUANTITÉ DES ORGANIQUES DE LA VILLE DE TANGER

Dans l'agglomération de Tanger il y a environ 1 100 000 habitants (selon les données 2014), avec quelques 300000 tonnes/an (7) de déchets ménagers produits et transportés à la décharge existante, auxquels s'ajoutent des déchets assimilés aux déchets ménagers et des déchets industriels (8).

La production annuelle des déchets de l'agglomération de Tanger, classés selon les flux organiques les plus importants et les plus appropriés pour la récupération potentielle de biogaz. Le pourcentage de matière organique potentielle (estimé) est exprimé pour chacun de ces flux de déchets (8).

**Tableau 1 : Répartition des matières organiques des déchets de la ville de Tanger 2014**

Origine	Type déchets	Quantité T/an	Potentiel organique	
			% de masse	T/an
ménages de la ville de Tanger	DMA	300000	75 (papier inclus)	225 000
marché de gros des fruits et légumes	DMA	6400	92	5888
souk hebdomadaire de commune guezenaya	DMA	2500	97	2425
abattoirs des volailles des zones industrielles	Déchets de poulets	2400	81	1944
port de Tanger marché de poissons	Déchets de poisson	2230	65-70	1449,5
port de pêcheTanger	DMA	3400	55-65	1870
abattoirs des bovins	Déchets de l'abatage des ovins	3400	100	3400
déchets verts collecte séparée (la ville de Tanger)	déchets verts	4000	100	4000
total	DMA	324 330	75	245 977

Les données recueillies démontrent bien la disponibilité de la matière organique pour les Projets bio méthanisation.

A partir des résultats présentés sur le Tableau 1, on identifie une quantité totale d'environ 324 330 t/a de déchets adaptés pour la méthanisation, avec des déchets organiques qui représentent environ 75% de cette quantité (environ 271 000 t/a).

La production annuelle de déchets de l'agglomération de Tanger, décomposée selon les flux organiques les plus importants et les plus appropriés pour la récupération potentielle de biogaz6. Le pourcentage de matière organique potentielle (estimation) est exprimé pour chacun de ces flux de déchets.

Les données proviennent de pesées effectuées entre les années 2014 (9) et ont été confirmées, tout comme les estimations, par les responsables de la gestion des déchets de la ville de Tanger.

La majeure partie des déchets municipaux (Ordures ménagères) correspond à la fraction organique. Celle-ci peut être récupérée par une simple opération de tri manuel,

Les autres flux présentés dans le Tableau 1 font déjà l'objet d'une collecte spécifique. Ce sont les déchets des marchés (marché de gros, marché Gzenaya), déchets du marché de poissons et de la zone portuaire (déchets maritimes), déchets des abattoirs, tout comme une partie des flux de déchets verts.

**COMPOSITION DES DIFFÉRENTS GISEMENTS DE DÉCHETS ORGANIQUES ET ÉTAT ACTUEL DE LEUR COLLECTE, TRAITEMENT ET ÉLIMINATION**

Les déchets organiques susceptibles d'être valorisés via la méthanisation sont principalement:

- Bio-déchets
- Déchets des marchés
- Déchets de la production de poissons
- Déchets des abattoirs
- Déchets verts
- Autres déchets (restes du repas etc.)

Outre les déchets ménagers, qui représentent le principal potentiel de point de vue quantité, il existe d'autres flux importants de déchets qui font déjà l'objet d'une collecte sélective, et qui représentent un potentiel aussi important de point de vue qualitatif, avec la possibilité d'obtenir un taux de pureté élevé en matière organique.

Les caractéristiques de ces déchets (en termes de pureté de matière organique) et les possibilités d'amélioration de la collecte séparée ou du tri des biodéchets sont donc étudiées, dans la perspective de leur méthanisation.

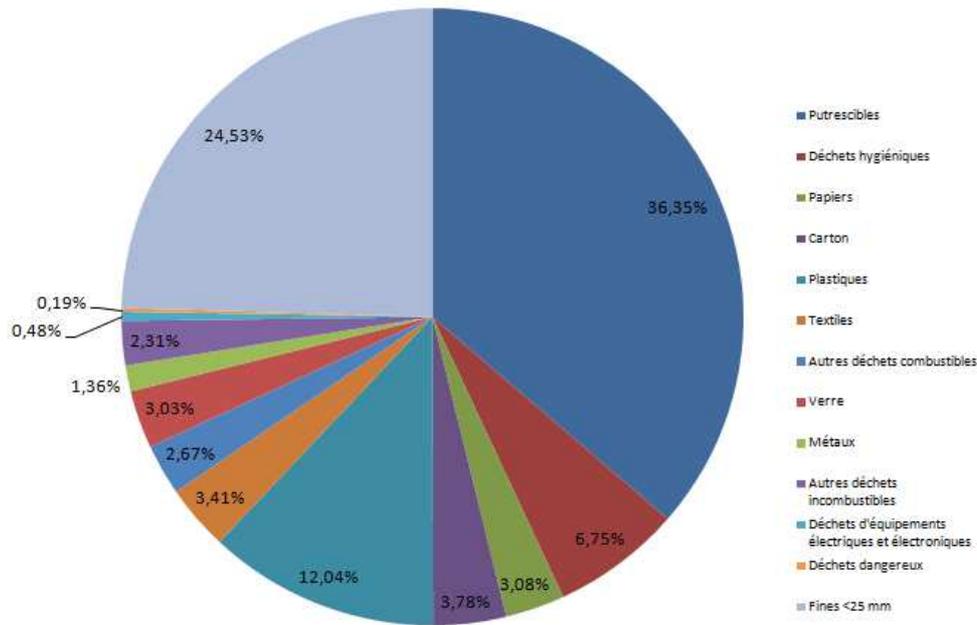


Figure 1 : Caractérisation des ordures ménagères de la ville de Tanger en 2014 [1]

La Figure 2 représente la composition moyenne des déchets ménagers au niveau national. Cette composition est prise en compte pour la composition des déchets de Tanger et Asilah.

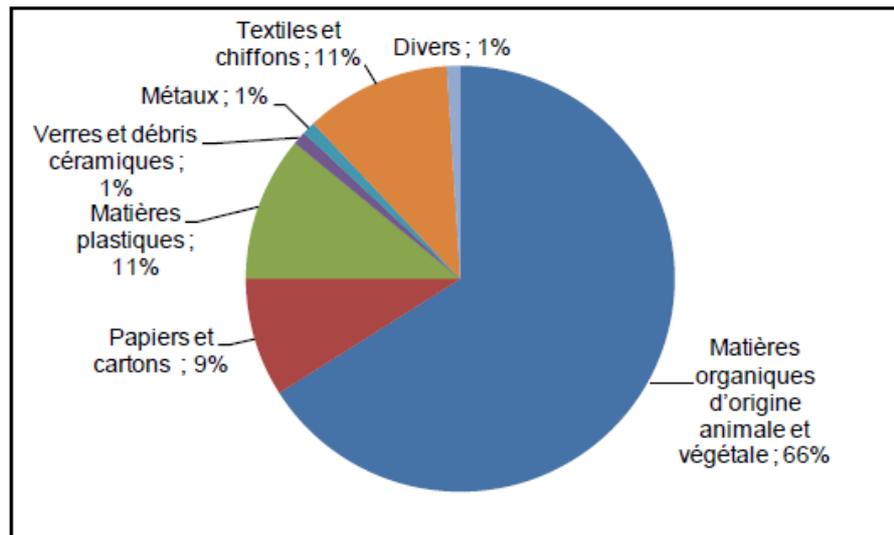


Figure 2 : Composition des déchets ménagers au Maroc [% poids] (valeurs moyennes annuelles) - estimation de la composition des déchets ménagers au niveau national, 2002 [7]

Parallèlement aux flux d'origine organique, on constate des quantités importantes de papier et de carton, qui sont également des déchets appropriés pour la méthanisation. Le papier/carton peut difficilement être recyclé par des industries de recyclage, en raison de son degré de saleté et de son taux d'humidité. La méthanisation offre une autre possibilité de valorisation intéressante pour le papier/carton.

#### • Déchets des marchés

Les quantités significatives des déchets de marché de fruits, légumes et viande de la ville de Tanger sont produites en deux endroits différents : le marché de gros et le marché du quartier « Gzenaya ».

De même, les déchets maritimes et du marché aux poissons présentent un important gisement de déchets organiques.

• **Marché de gros des fruits et légumes**

La Figure 3 présente la composition des déchets pour le marché de gros de Tanger, mesurée en Juillet 2016. Les quantités produites sont collectées dans deux containers publics.

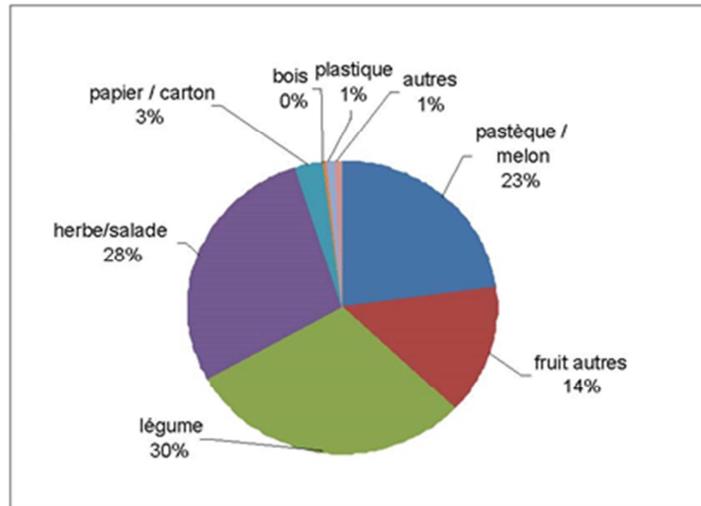


Figure 3 : Marché de gros (Tanger) – Estimation de la composition des déchets [% de la masse humide] (valeurs moyennes annuelles)

1) **Marché de Gzenaya**

La Figure 4 présente la composition moyenne des déchets du « marché de Gzenaya » en Juillet 2016 (Tanger).

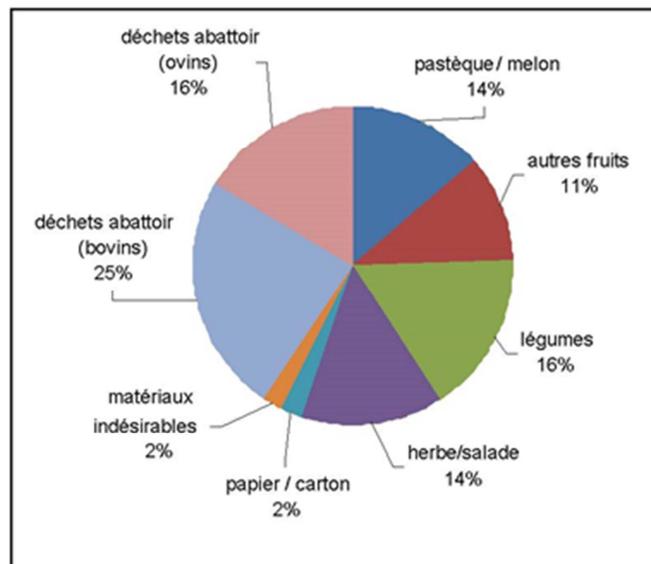
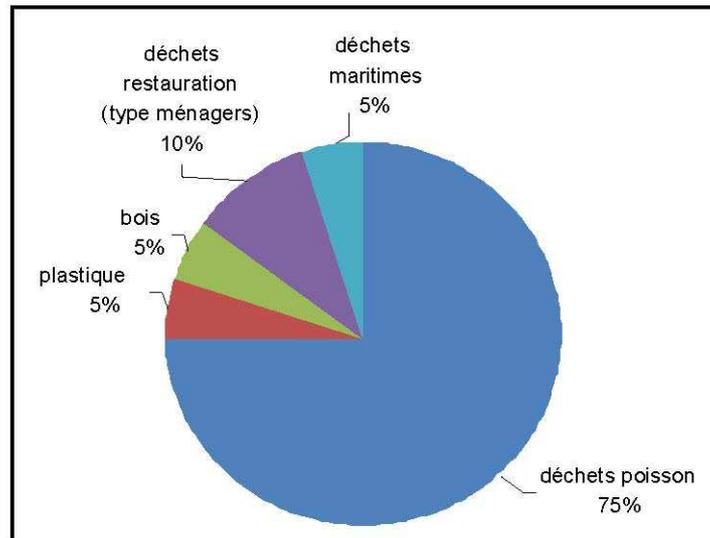


Figure 4 : Marché de Gzenaya (Tanger) – Estimation de la composition des déchets [% de la masse humide] (valeurs moyennes annuelles)

2) **Déchets maritimes / du marché aux poissons (Tanger port)**

La composition des déchets maritimes et du marché aux poissons est présentée dans la figure ci-dessous.



**Figure 5 : Déchets maritimes / du marché aux poissons : estimation de la composition des déchets [% de la masse humide] (valeurs moyennes annuelles)**

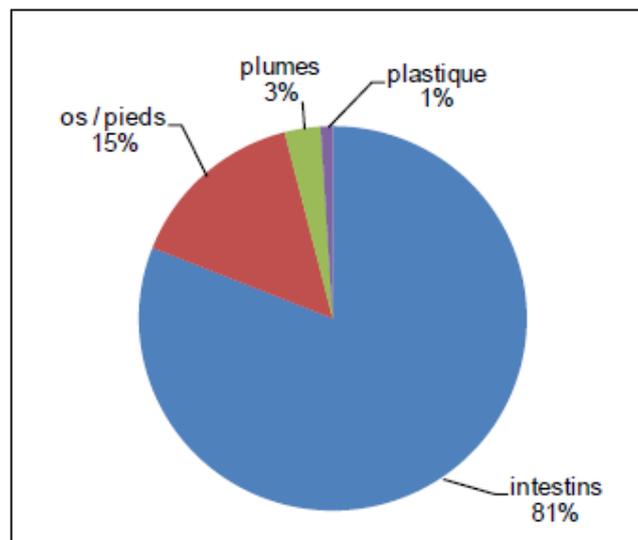
Les déchets maritimes et du marché aux poissons situés dans la zone portuaire de Tanger sont collectés dans des conteneurs publics. Une collecte sélective des déchets de poissons peut vraisemblablement être facilement réalisée ici, sans pour autant engendrer de dépenses considérables.

### 3) Déchets des abattoirs bovins

Les déchets de l'abattoir communal sont constitués exclusivement des abats des animaux de boucherie (bovins : 100% contenu panse). La collecte est réalisée par des caissons.

### 4) Déchets des abattoirs de volaille

Chaque année, la décharge communale reçoit environ 2.450 t/a de déchets des abattoirs issus de la préparation de volailles (Fig.6). Ces déchets sont constitués essentiellement de plumes, d'os et d'intestins. Une collecte séparée de ces déchets (intestins, sans les autres flux indésirables) pourrait être réalisée sur leur lieu de production.



**Figure 6 : Déchets des abattoirs de volaille (Tanger): composition en moyenne [% de la masse humide]**

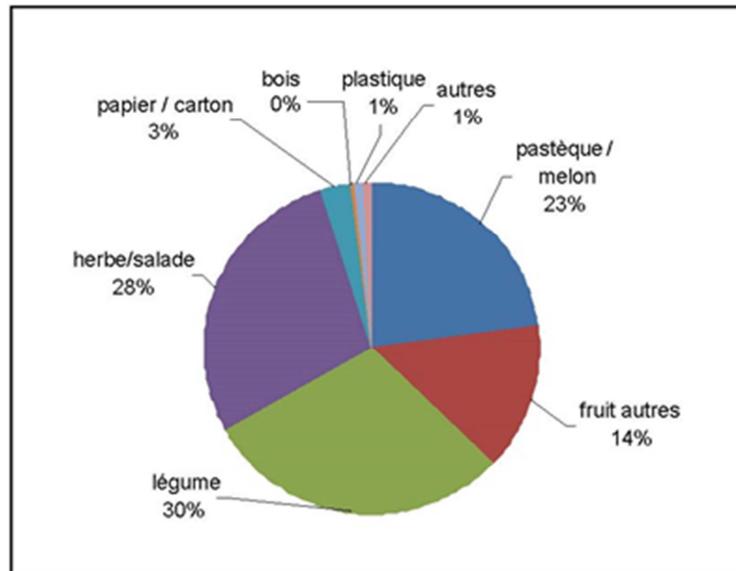


Figure 7 : Marché de gros (Tanger) – collecte optimisée : estimation de la composition moyenne des déchets [% de la masse humide]

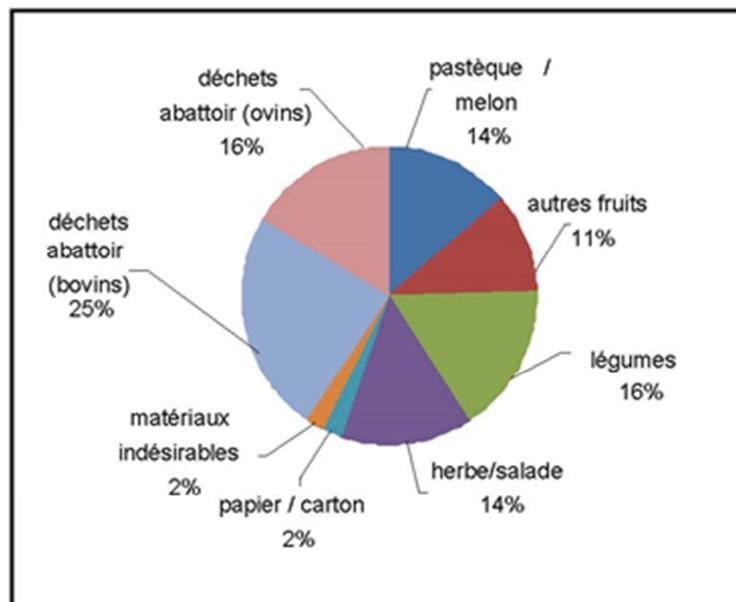
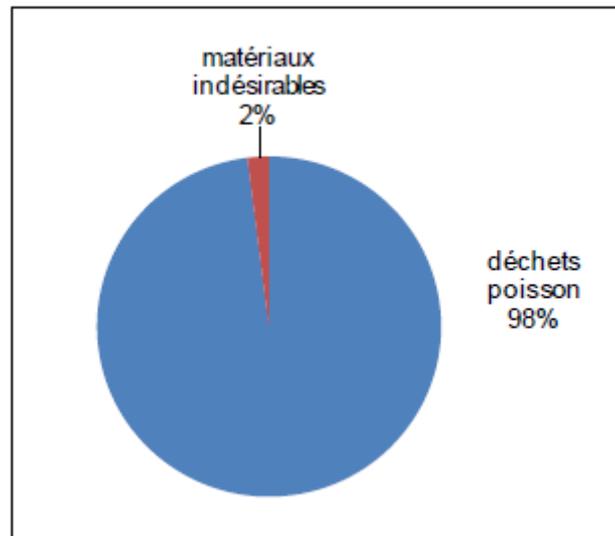


Figure 8 : Marché de Gzenaya (Tanger) – collecte optimisée: estimation de la composition moyenne des déchets [% de la masse humide]

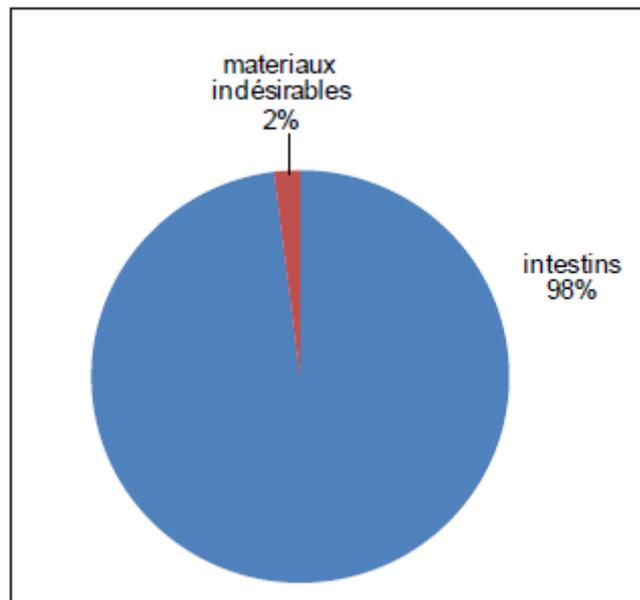
On estime que les déchets du marché aux poissons et des abattoirs de volailles peuvent aussi être collectés sélectivement, et qu'ils seront quasiment exempts de matériaux indésirables.

La composition des déchets estimée pour les déchets des marchés de poissons (port de Tanger) est présentée dans la figure suivante.



**Figure 9 : Marché de poissons / port (Tanger) – collecte optimisée: estimation de la composition moyenne des déchets [% de la masse humide]**

On part également du principe que les déchets d'abattoirs issus de la préparation/transformation de volailles (Fig. 10) peuvent aussi être collectés séparément, et qu'ils seront quasiment exempts de matériaux indésirables.



**Figure 10: Abattoirs de volailles (Tanger) – collecte optimisée : estimation de la composition moyenne des déchets [% de la masse humide]**

#### ÉVALUATION DU POTENTIEL DE PRODUCTION DE BIOGAZ PAR LA BIOMÉTHANISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES RÉSIDUELLES

L'évaluation du potentiel de production de biogaz par la biométhanisation des résidus organiques est relativement simple. Il s'agit en effet de calculer, en fonction du bilan massique des matières organiques résiduelles et du rendement moyen des technologies de biométhanisation, la production potentielle de biogaz.

#### ÉLÉMENTS DE CALCULS ET HYPOTHÈSES

##### DONNÉES DE BASE POUR LES CALCULS DE PRODUCTION DE BIOGAZ

Les calculs qui seront effectués dans cette section reposent sur les données présentées au tableau

Tableau 2: potentiel de biogaz

Matières organiques	Masses disponibles (1)	Ratio C/N (2)	Siccité (2)	Potentiel biogaz (3)
	(tonnes/an)		(%)	(m3/tonne)
MOR		30	28 %	120

Les potentiels de production de biogaz seront utilisés pour déterminer les volumes de biogaz générés en fonction des intrants traités pour chacun des scénarios qui seront présentés.

De plus, l'étude réalisée sur le potentiel de production de biogaz à partir des déchets de commerces d'alimentation et de restaurants pour la ville de New York a évalué le potentiel de production de biogaz à 115 m3/tonne de matière traitée (Ostrem, 2004).

En plus de posséder de fortes charges organiques, les composés organiques sont généralement rapidement biodégradables (Cresson, 2006).

Les potentiels de production de biogaz pour les différents types de matière organique permettent de déterminer la production de biogaz par quantité incorporée dans le bioréacteur. Ces données sont donc très importantes et très sensibles pour les calculs. Le tableau 3.2 donne un potentiel de 126 m3 de biogaz par tonne de matière organique résiduelle municipale. Cependant, tel que discuté dans la section sur le rendement des diverses technologies, une valeur plus conservatrice de 120 m3/t sera utilisée.

A partir de la composition du déchet et des quantités annuelles correspondantes on peut, en utilisant des quantités spécifiques de production (selon la littérature) pour chaque fraction, estimer la quantité du biogaz produit par an.

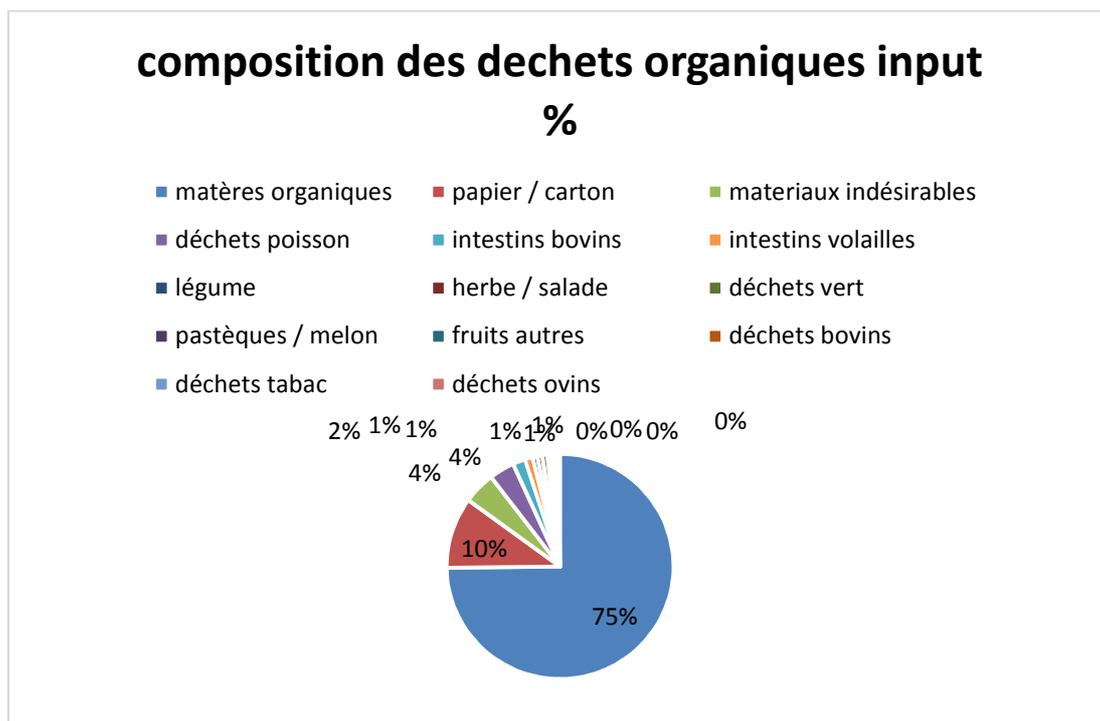


Figure 10 : % composition des déchets organiques

Il est important de prendre en considération que les matières organiques résiduelles ont des potentiels de production de biogaz différents en fonction de leur constitution. Le potentiel de production de biogaz doit être calculé selon les origines et les caractéristiques propres à chacune des catégories analysées dans ce chapitre.

Tableau 3. Ratio C/N de différentes matières organiques

Matières organiques	Ratio	Siccité
	C/N	%
Boues municipales	10(18)	28 %(22)
Litière de volaille	13(1)	74 %(21)
Déchets de légumes	15(16).	n.d
Herbe.	17(16)	n.d
Boues mixtes de papetières	25(19)	40 %(23)
Matières organiques résiduelles municipales	30(20)	28 %(24)
Feuilles sèches	55(16)	n.d.
Paille	70(16)	n.d.
Boues primaires de papetières	290(17)	40 %(23)
Copeaux de bois	300(16)	n.d.
Journaux	600(16)	n.d.

Tableau 4. Potentiel de production de biogaz de différentes matières organiques

Matières organiques	Potentiel de production de biogaz
	m <sup>3</sup> / tonne brute
Drêche (brasseries)	125(3)
Déchets domestiques	126(1)
Ensilage de foin	145(1)
Ensilage de blé	162(11)
Ensilage de maïs	197(12)
Tonte de pelouse	208(13)
Gras	238(14)
Carton ondulé	413(15)
Résidus de céréales	500(13)
Papier de bureau	590(15)
Cellulose (sèche)	600(15)

Tableau 5. Estimation du potentiel de biogaz

	[%poids]	[t/a]	biogaz	méthane	énergie
			m <sup>3</sup> /s	Vol-%	kWh/a
Pastèque/melon	1	1000	9755	65	63406
Autres fruits	0	696	50888	65	330771
Légume	1	1275	78902	65	512865
Herbe/salade	1	1181	97469	65	633547
Papier/carton	10	18556	11272688	65	73272474
Intestin bovin	2	3335	127547	60	765282
Déchets bovin	0	597	22850	60	137097
Déchets ovin	0	407	15579	60	93475
Déchets poisson	4	6467	412299	60	2473794
Intestins volailles	1	1986	75980	60	455883
Déchets verts	1	1225	176362	65	1146355
Déchets tabac	0	480	162000	65	1053000
Matières organiques	75	135057	12209107	65	79359195
Matériaux indésirables	5	8329	0	0	0
Total	100	181192	-	-	160 297000

#### 4 CONCLUSION : PERSPECTIVES POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA MÉTHANISATION DANS LA VILLE DE TANGER

Ce travail de recherche, a permis d'étudier les gisements des déchets convenables pour une méthanisation dans la ville de Tanger.

Plusieurs estimations et hypothèses ont été nécessaires. Dans les études à l'avenir il faudrait investiguer la faisabilité et concrétiser les résultats (notamment grâce à des analyses détaillées de la composition des déchets).

Par ailleurs, cette étude s'étant volontairement focalisée sur les perspectives de méthanisation des déchets organiques, d'autres options de valorisation énergétique ou traitement des déchets n'ont pas été comparées à cette option.

Cette étude a démontré que les déchets organiques restent valorisables par fermentation méthanique, d'une part ils génèrent une source d'énergie renouvelable et d'autre part les résidus de fermentation constitue un apport important pour la fertilisation du sol,

Pour optimiser la biométhanisation des déchets organiques il est nécessaire de maîtriser plusieurs facteurs, dont la teneur en eau, l'agitation, quantités et activité des bactéries présentes, pH, température, composition... En décharge conventionnelle, ces facteurs ne sont pas maîtrisables.

La composition des déchets a été estimée pour calculer le potentiel du biogaz. Des approches pour une collecte optimisée des déchets organiques non ménagers et un tri des déchets ménagers ont été élaborées.

La valorisation du biogaz offre deux scénarios : l'installation d'une centrale de cogénération et la production de l'électricité ou la valorisation directe du biogaz. D'un point de vue climatique, la production d'électricité est plus favorable puisque la substitution de l'électricité engendre une réduction maximale d'équivalents-CO<sub>2</sub>.

#### REFERENCES

- [1] Reinhart D.R. et McCauley-Bell P. (1996). *Methodology for Conducting Composition Study for Discarded Solid Waste*; Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, 82 pages.
- [2] Wicker A. (2000). Chapitre 22 : *Gestion des Déchets « Statistiques pour la politique de l'environnement »*, 27-28 novembre, Munich ; 12 pages.
- [3] Buenrostro O. et Bocco G. (2003). Solid waste management in municipalities in Mexico: Goal and perspectives, *Resources, Conservation and Recycling* 39 (2003) 251 –263.
- [4] Sane Y. (2002). La gestion des déchets à Abidjan : un problème récurrent et apparemment sans solution ; *AJEAM/RAGEE* 2002 ; Vol. 4 N°1 ; 13-22
- [5] « Programme National de Développement des EnR et de l'Efficacité Énergétique » adopté en 2006 dont l'objectif principal est de réhausser la contribution des Energies Renouvelables à 20% du bilan électrique national et 10% du bilan énergétique à l'horizon 2020.
- [6] (cf. Annexe 1 : directive 1999/31/CE concernant la mise en décharge des déchets : Article 5/1)
- [7] La définition de ces différentes catégories de déchets est énoncée dans la loi 28-00.
- [8] (rapport annuel commune Tanger : tonnage total transporté à la décharge publique de Tanger durant l'année 2008)
- [9] Annexe 2 : Documentation de l'administration de Tanger : pesées à la décharge de Tanger entre août et octobre 2009
- [10] Center for environmental farming systems (CEFS) (2005). Production de Compost et usage dans les systèmes agricoles durables. NC State university A&T State university cooperative extension.
- [11] Ricard et al. (2010, p. 13)
- [12] Mahmood (2010) et calcul dans la section 5.3.1
- [13] Biogaz Énergie Renouvelable (2009a)
- [14] Laloé (2003, p. 22)
- [15] Rouez (2008, p. 73)
- [16] CEFS (2005, p.3)
- [17] CRAAQ (2006, p. 20)
- [18] Perron et Hébert (2007, p.50)
- [19] Bipfubusa et al. (2004, p. 49)
- [20] Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) (2009, p.34)
- [21] IRDA (2003, p. 12 et 13)
- [22] Recyc-Québec (2010, p.10)
- [23] MDDEP (2007)
- [24] (Ostrem, 2004).