

Caractérisation des déchets ménagers et assimilés de la ville de Tanger

[Characterization of household and assimilated waste in the city of Tangier]

A. Elkadi¹, M. Maatouk¹, M. Raissouni², T. Chafik³, and A. Mouhssine³

¹Équipe de recherche géo-information et aménagement de territoire, Faculté de Science Techniques, Université Abdelmalek Essaâdi, Tanger, Maroc

²Equipe de Recherche en Environnement Marin et Risques Naturels, Faculté des sciences et technique, Université Abdelmalek Essaâdi, Tanger, Maroc

³Laboratoire de Génie Chimique et Valorisation des Ressources, Faculté des sciences et technique, Université Abdelmalek Essaâdi, Tanger, Maroc

Copyright © 2016 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: At present, although there are several studies and waste management strategies at the international echelon, but there is no consensual method for the characterization of waste. Also at the national level reducing the quantities of final waste with the development of recycling branches and made the valuation and reducing pollution linked to the storage and disposal of waste is a regulatory objective, political, economic and priority order for the preservation of the environment. It remains clear that a single parameter is not enough to characterize and describe such heterogeneous and hazardous waste such as those in our country: with more than 60% organic matter, a high humidity and sometimes containing hospital and / or industrial waste. The different analysis methods followed in this work is devoted to the characterization of Household Garbage and assimilated. The particularity of the sampling approach was highlighted on the landfill site based on plans of town-collect and to provide the maximum information on the Household Waste of Tangier. later laboratory work was carried out. The study of the composition of the waste is an essential step for a sound management for a number of reasons, including the need to estimate the quantity of material produced, identify their generation source to facilitate the design of equipment and treatment processes, defining the physical, chemical and thermal properties of the waste and to ensure compliance with laws and regulations.

KEYWORDS: characterization, Tangier's uncontrolled waste disposal, Morocco.

RESUME: A l'heure actuelle, même si, à l'échelle internationale, il y a une abondance d'études et stratégies de gestion des déchets, mais il n'y a pas de méthode consensuelle pour la caractérisation des déchets. De même à l'échelle nationale le sujet de réduction des quantités de déchets ultimes avec le développement des filiales de recyclage et valorisation fait la une et la réduction des nuisances liées au stockage et élimination des déchets est un objectif réglementaire, politique, économique et d'ordre prioritaire pour la préservation de l'environnement, mais avec la manque d'une méthodologie nationale de caractérisation des déchets, comme étape initial et primordial, pour tout usage ultérieur des dites déchets. Avec plus de 60% en matière organique des taux d'humidité élevés et parfois contenant des déchets hospitalier et/ou industriels, il reste clair qu'un seul paramètre ne suffit pas pour caractériser et décrire des déchets aussi hétérogènes et dangereux comme ceux de notre pays. Les différentes méthodes d'analyse suivie dans le cadre de ce travail sont consacrées à la caractérisation des Ordures Ménagers et assimilés, avec la mise en exergue de la particularité de l'approche d'échantillonnage sur le site de la décharge en se basant sur les plans de sectorisation de la collecte de la ville et en vue de fournir le maximum de données sur les Ordures Ménagers et assimilés à Tanger. Ainsi un travail de laboratoire a été effectué. L'étude de la composition des

déchets est un pas essentiel pour une gestion rationnelle et ce pour plusieurs motifs, dont notamment le besoin d'estimer la quantité des matériaux produits, d'identifier leur source de génération, de faciliter le design des équipements des procédés de traitement, de définir les propriétés physiques, chimiques et thermiques des déchets et de veiller sur la conformité avec les lois et réglementations en vigueur.

MOTS-CLEFS: Caractérisation des déchets ménagers, décharge de Tanger, Maroc.

1 INTRODUCTION

Les déchets urbains dans les Pays En voie de Développement (PED) sont générés à partir de différentes sources. Mais on trouve souvent des taux de la fraction organique, beaucoup plus importants que ceux des pays développés. En effet, si la composition quantitative des déchets varie beaucoup en fonction des modes et niveaux de vie, elle demeure pratiquement la même qualitativement [1], [2], [3], [4].

De nos jours, avec des coutumes de consommations qui changent incessamment en produisant toujours de plus en plus de déchets et engendrant d'énormes impacts et risques pour l'environnement et la population. À l'échelle du Maroc plus de 6 million de tonnes sont produits annuellement, cependant la décharge de la ville de Tanger, objet de la présente étude, reçoit chaque jour environ 1000 tonnes des différents déchets. Soit plus de 360 000 tonnes/ans dont quelques 300 000 tonnes sont des déchets ménagers et assimilés [5]. Mais, malgré la vivacité du problème des déchets, l'importance qui lui a été attribuée dans la politique environnementale de notre pays, la forte interaction qu'il a avec les différentes composantes sociales, culturelles et économiques et l'état alarmant et catastrophique de la décharge publique de Tanger, le projet de la nouvelle décharge contrôlée n'arrive pas à avoir le jour.

Dans le contexte actuel, la caractérisation du gisement des Déchets Ménagers et Assimilés (DMA) est un élément clef pour réaliser les trois objectifs stratégiques du Programme National des Déchets Ménagers et assimilés (PNDM) à savoir :

- Valoriser 20% des DMA à l'horizon 2020, définit par le PNDM ;
- Initier la collecte sélective au niveau des ménages ou de certains gros producteurs et installer des plates-formes de tri au niveau des décharges contrôlées (Centres d'élimination et de Valorisation des déchets CEV), en intégrant les récupérateurs dans ces projets ;
- Appui financier des filières de valorisation et de recyclage par les ressources de l'écotaxe.

La mise en place de données fiables sur la caractérisation des déchets est un préalable à toute approche de gestion efficiente de ces résidus. 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 et du carton, etc.) ou les besoins pour le traitement et l'enlèvement des déchets, 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.

La caractérisation des déchets n'est pas universelle car elle dépend de l'objectif pour lequel l'opération de caractérisation est menée. Il existe plusieurs façons de caractériser un déchet. Brunner et Ernst en 1986, suggèrent une caractérisation suivant des paramètres divisés en trois groupes [6] :

- 1) matériaux (papier, verre, métaux, etc.) ;
- 2) paramètres physiques, chimiques ou biologiques (masse volumique, teneur en eau, biodégradabilité, etc.) ;
- 3) composition élémentaire (carbone, mercure, etc.).

Par ailleurs, la caractérisation permet une bonne connaissance du gisement des DMA d'un secteur à l'autre au niveau d'une même ville. Donc, c'est un outil d'aide à la décision pour améliorer la gestion des déchets et d'examiner l'opportunité de développer des filières de recyclage et de valorisation, elle doit permettre de faire ressortir les propriétés des déchets indispensables à l'optimisation des approches de gestion et de traitement des flux. C'est ainsi qu'une description détaillée de la démarche méthodologique d'échantillonnage et de caractérisation des Ordures Ménagers et assimilés est faite selon les catégories et sous catégories, selon la taille granulométrique et selon les classes de déchets pouvant être traitées de la même manière.

D'autre part, la production des déchets à Tanger fait l'objet d'une analyse comparatif afin de dégager les principales particularités par rapport aux déchets des autres PED.

2 ZONE D'ÉTUDE

La ville de Tanger, est située à l'extrême Nord-Ouest du Maroc, à 14 kilomètres seulement du continent européen, avec 664 295 habitants elle a envoyée 285 759,08 tonnes de déchets ménagers en 2013 [5] à sa décharge publique sauvage, mise en exploitation au début des années 1970 sur un domaine privé de l'Etat. Afin de la rendre moins visible de la route R.N. 2, la décharge a été repoussée progressivement en direction des versants de la colline nommée « Dher Al 'Alawi » [7].

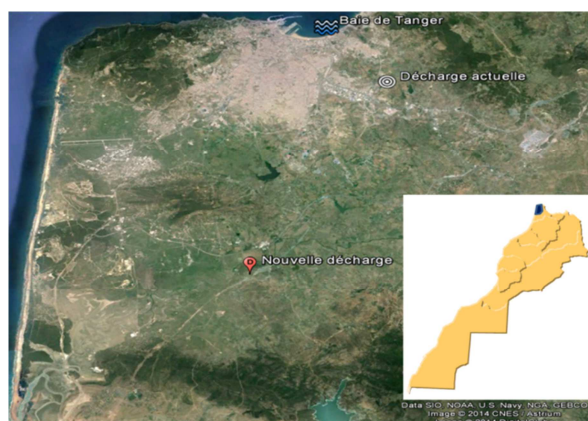


Fig. 1. Situation de la décharge actuelle de Tanger et le site choisi pour la nouvelle décharge sur l'image satellitaire Google Earth

3 MATÉRIELS ET MÉTHODES

La séparation physique des déchets permet de tamiser et séparer les échantillons et d'identifier leurs différentes composantes. Le choix des tamis et des catégories à caractérisés dépendent des objectifs de l'étude. Dans le cas de figure, on a opté à une séparation selon la taille (tamisage) en utilisant des tamis de 150 mm, 75 et 25mm, suivi d'une séparation manuel pour la caractérisation des déchets suivant les principales catégories et sous-catégories (fermentescibles, papier, verre, plastique etc.) et nous nous sommes intéressés à la caractérisation des déchets arrivants à la décharge pour contraintes de temps/moyens.

3.1 CARACTÉRISATION DES DÉCHETS DE LA VILLE DE TANGER

En France depuis 1993, la méthode de référence est le MODECOMTM, Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères [8]. La norme expérimentale NF XP X30-408 [9] distingue 13 catégories de déchets : les déchets putrescibles (fraction constituée de déchets alimentaires, de déchets verts de jardin, etc.), les papiers, les cartons, les textiles, les textiles sanitaires, les plastiques, les déchets complexes (déchets composés de plusieurs matériaux indissociables), le verre, les métaux, les déchets ménagers spéciaux, les éléments fins (< 20 mm), les combustibles non classés et les incombustibles non classés (qui regroupent les déchets ne trouvant pas leurs places dans les autres catégories et dont on ne peut distinguer que le caractère incinérable ou non).

La sectorisation de la ville et le choix des échantillons est basé sur une étude socio-économique, permettant de distinguer les différentes zones d'habitat, commerciales, administratives, artisanales, hôtelières etc.

La campagne de caractérisation s'est déroulée du 14 au 24 Août 2015, période des vacances et haute saison pour avoir la production maximale des déchets.

La typologie retenue pour la campagne est la suivante :

- Zones Populaire, noté « **ZP** » ;
- Zone Moyenne Standing, noté « **ZMS** » ;
- Zone Haut standing et Villa, noté « **ZH&V** » ;

- Zone Touristique des hôtels et restaurants, noté « ZT » ;
- Zone Commerciale Marchés et Souk, noté « ZC ».

3.2 ECHANTILLONNAGE ET CLASSIFICATION

L'échantillonnage s'est déroulé dans la zone de vidage des camions sur la décharge, à l'aide d'une chargeuse ou pelle mécanique, puis l'échantillon choisi est transporté à un local dallé équipé, propre à côté du pont bascule de la décharge.

Le protocole d'échantillonnage mis en place, adapté des normes françaises NF X30-413 et X30-445 [10], suit les étapes suivantes :

- Le camion de collecte sélectionné vide son chargement dans le casier ;
- Une pelle mécanique mélange les déchets afin d'homogénéiser le tas déversé ;
- La chargeuse réalise un certain nombre de prélèvements (5 au minimum) en différents points du tas dans le but d'obtenir un échantillon représentatif de 500 kg +/- 20kg. Les godets sont sélectionnés au hasard.
- L'ensemble des 500kg +/-20kg est pesé à l'aide de poubelles de 80L sur une balance de portée de 100kg et une précision de 20g.
- Les poubelles sont ensuite vidées sur les tamis.

Le protocole de tri s'inspire de la norme française NF X30-408, qui considère la séparation des déchets en 3 fractions granulométriques :

- Les éléments fins (< 20 mm), séparés en fines grossières (8 – 20 mm) et fines petites (< 8 mm), dans cette étude et vu le contenu élevé en matière organique on considère les éléments fins (<25 mm) ;
- Les éléments moyens (50 - 150 mm), pour notre étude c'est (25 - 150 mm) ;
- Les éléments grossiers (> 150 mm).



Photos 1 : a) les trois tamis utilisés dans la campagne, b) le fond des tamis pour la récupération des éléments fins

Dans le cadre de cette étude, il a été décidé de tamiser les déchets à 150 mm, 75 mm et 25 mm afin de décortiquer au maximum le contenu des déchets de la ville et permettre de s'enquérir des indications utiles aux décideurs et aux futures chercheurs.

Une table de séparation granulométrique constituée de 4 casiers superposables en métal a été utilisée. Cela a permis de constituer 4 fractions granulométriques :

- Supérieure à 150 mm, notée « >150 » : la totalité des déchets contenus dans cette fraction est pesée puis caractérisée,
- Entre 75 et 150 mm, notée « 75-150 » : la totalité des déchets contenus dans cette fraction est pesée puis caractérisée,
- Entre 25 et 75 mm, notée « 25-75 » : la totalité des déchets contenus dans cette fraction est pesée puis caractérisée,
- Inférieure à 25 mm, notée « <25 » : la fraction est récupérée dans le dernier bac à fond plein. La totalité de la fraction est pesée puis stockée. Aucun tri n'était prévu sur cette fraction granulométrique.

Les catégories et sous catégories retenues pour cette étude sont présentées dans le tableau 1. Les résultats des pesées ont été notés sur des feuilles de saisie en papier ainsi que sur support informatique pour contrôle immédiat de l'exactitude des pesées.

Tableau 1. Catégories et sous catégories utilisés pour la caractérisation des déchets

Catégories	Sous catégories
Putrescibles	Déchets alimentaires
	Déchets verts
	Autres putrescibles
Déchets hygiéniques	Couches, serviettes hygiéniques
	Autres déchets hygiéniques
Papiers	Papiers bureautique
	Journaux, magazines
	Autres papiers
Carton	Carton plat
	Carton ondulé
Plastiques	Sachets plastique
	Autres plastiques souples
	Bouteilles et flacons en PET
	Bouteilles et flacons en PEHD
	PVC
	Polystyrène expansé
Textiles	Autres plastiques
	Textiles
Autres déchets combustibles	Bois
	Cuir
	Caoutchouc
	Emballages Liquides Alimentaires (ELA)
	Autres déchets combustibles
Verre	Verre blanc
	Verre brun
	Verre vert
	Autres verres
Métaux	Emballages acier
	Emballages aluminium
	Autres métaux ferreux
	Autres métaux non ferreux
Autres déchets incombustibles	Autres déchets incombustibles
Déchets électriques et électroniques	Déchets électriques et électroniques
Déchets dangereux	Produits chimiques
	Piles/accumulateurs
	Tubes fluorescents et ampoules basse consommation
	Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieuses (DASRI)
	Médicaments
	Autres déchets dangereux
Fines <30 mm	Fines <30 mm

Les liquides contenus dans les emballages plastiques, verres et/ou métaux étaient vidés et pesés séparément de leur contenant. Leurs masses n'ont pas été prises en compte dans les calculs de la composition des échantillons mais seulement identifiées et donc notées sur les fiches de saisie. Très peu de liquides ont été trouvés.

La campagne de caractérisation a eu lieu à la décharge non contrôlée de Tanger, elle a duré 10 jours (du 14 au 24 Août 2015), 90,3 tonnes de déchets ont été échantillonnées, dont 5,36 tonnes ont été caractérisées, sur 10 secteurs de collecte dont (4 secteurs de "ZP", 3 secteurs de "ZMS", 1 secteur de "ZH&V", 1 secteur de "ZT" et 1 secteur représentant la "ZMS", cette campagne a été réalisée avec l'aide de 6 trieurs, 1 Doctorant, 1 ex-agent communal et 2 chauffeurs.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 RÉPARTITION GRANULOMÉTRIQUE

Les échantillons ont été criblés suivant 4 fractions granulométriques, > 150 mm, 75 – 150 mm, 25 – 75 mm et < 25mm. Les résultats sont exprimés en pourcentages massiques (Fig. 2).

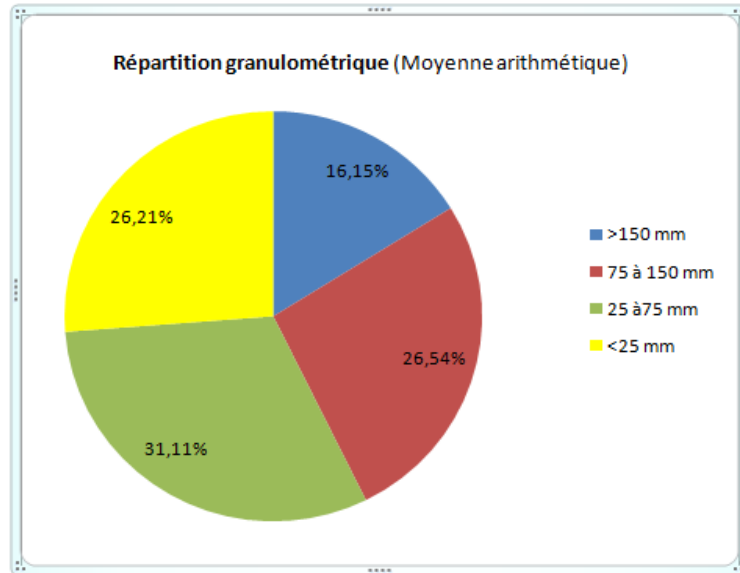


Fig. 2. Répartition granulométrique des déchets de la ville de Tanger Août 2015

Plus des 3/4 des déchets collectés ont une granulométrie inférieure à 75mm. Les éléments de dimension supérieure à 150 mm ne représentent que 16.15% des déchets collectés.

Nous présentons ici les résultats de la moyenne arithmétique de tous les échantillons traités durant cette campagne et de chaque secteur (Fig. 3).

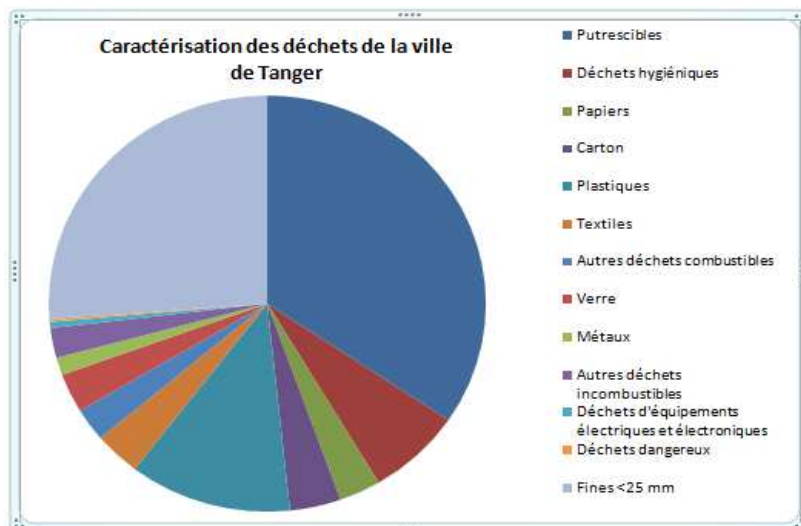


Fig. 3. Répartition par catégories des déchets de la ville de Tanger Août 2015

On observe que les catégories principales pour les 10 secteurs étudiés sont, par ordre décroissant, les putrescibles (34,45%), les fines < 25mm (26,21%), les plastiques (12,04%), et la somme des déchets d'hygiène et papier (10,12%). Cet

ordre n'est pas exact pour le secteur des marchés et souk (Fig.4-Droite) ainsi que pour le secteur touristique (Fig.4-Gauche) où les déchets hygiéniques sont en très faible quantité.

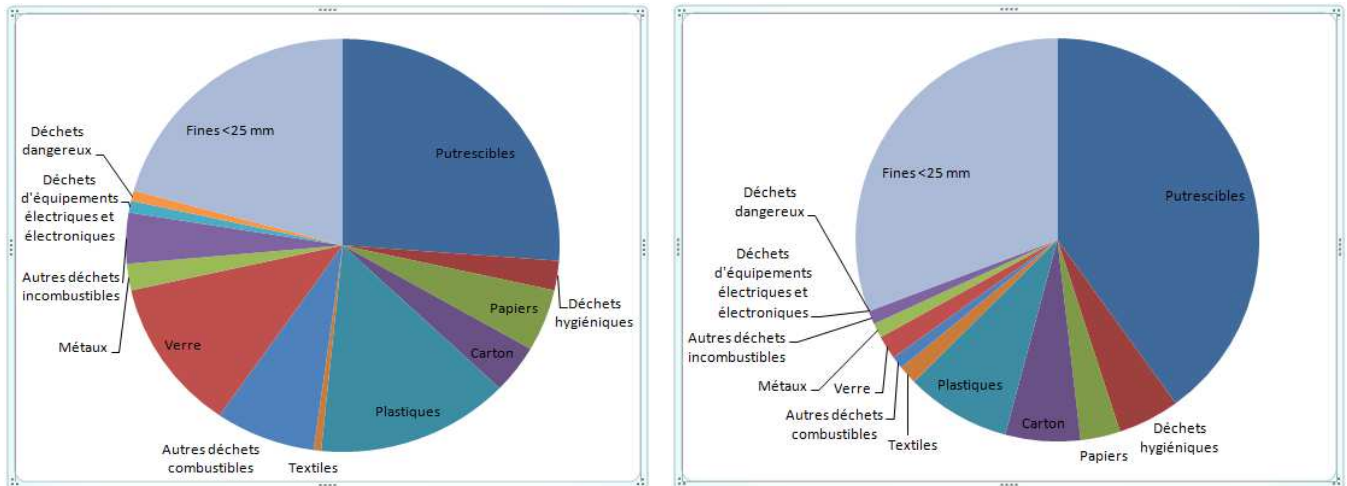


Fig. 4. Caractérisation des déchets de la zone touristique (Gauche) et déchets des Marchés et Souk (Droite)

Pour le Haut Standing (Fig.5-Gauche), la part des déchets putrescibles est de 36,24%, mais le plastique résulte est plus élevée que pour les autres secteurs avec 16,67%. Concernant les fines < 25mm les résultats ne sont pas assez homogènes d'un secteur à l'autre (Fig.4-Droite), avec une moyenne de 26,21% et un maximum de 36,20% dans un des secteurs populaires (Fig. 6). Pour les autres catégories, les pourcentages par secteurs sont inférieurs à 5%.

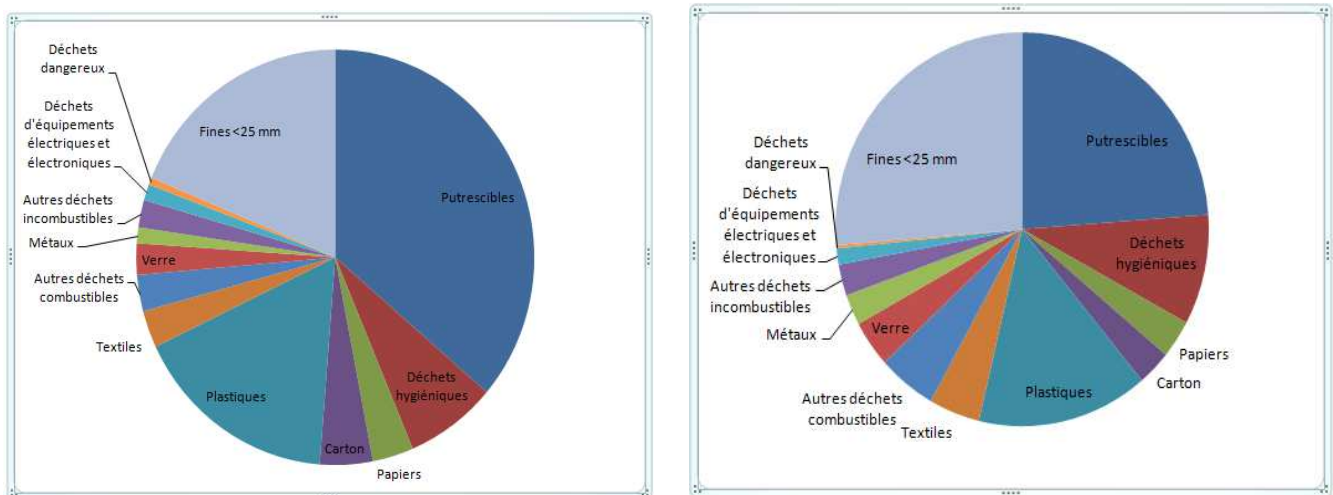


Fig. 5. Caractérisation des déchets de la zone Haute Standing (Gauche) déchets de la zone Moyenne Standing (Droite)

Les putrescibles sont, pour les 10 secteurs, majoritairement composés de déchets alimentaires à plus de 90%. Les plastiques se répartissent principalement entre les sacs et les autres films, ces 2 catégories représentant entre 70% et 90% de la catégorie.

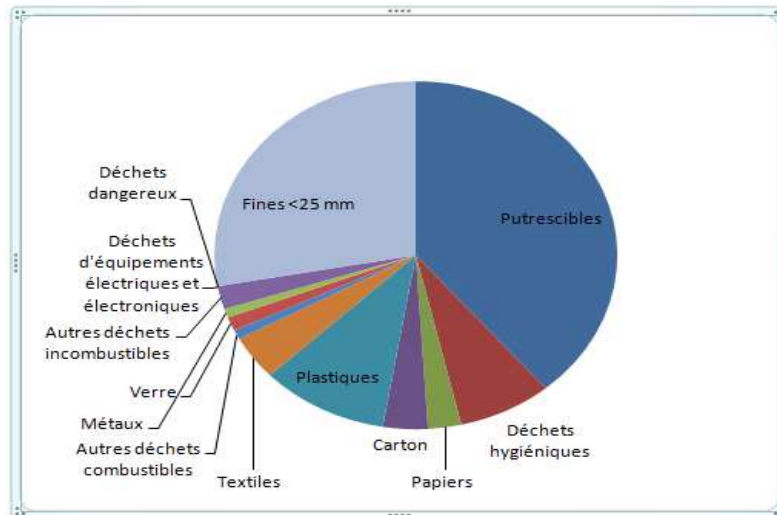


Fig. 6. Caractérisation des déchets de la zone Populaire

4.2 RÉPARTITION PAR CATÉGORIES

Rappelons que les résultats présentés ici donnent une image de la nature des déchets collectés et non une image des déchets produits sur la ville, tenant en compte que le tri en amont est important pour un certain nombre de catégories comme les bouteilles plastiques et/ou les cartons, ainsi que certains déchets qui servent à l'alimentation du bétail dans certaines zones populaires.

4.2.1 DÉCHETS PUTRESCIBLES ET FINS (< 25 MM)

Les pourcentages de déchets putrescibles varient, d'un secteur à l'autre, entre 22,39% et 42,89% avec une moyenne de 34,45% pour l'ensemble des zones étudiées de la ville.

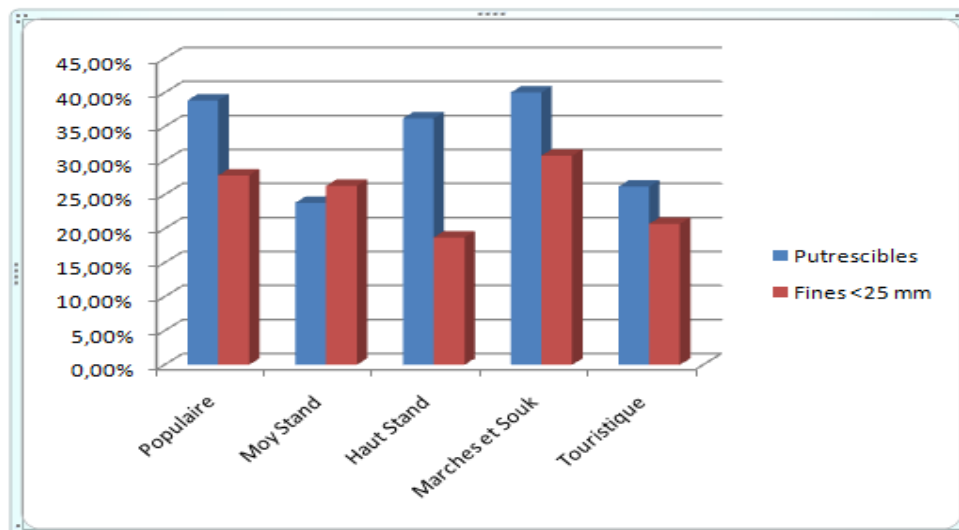


Fig. 7. Répartition par secteur des déchets putrescibles et fins (< 25 mm)

Concernant les fines < 25 mm, la moyenne est de 26,21% pour l'ensemble des secteurs étudiés de la ville, avec comme minimum 18,73% pour le secteur haut standing et un maximum de 36,20% pour l'un des secteurs populaires (Benkirane - Mghogha).

La composition des déchets varie d'un pays à l'autre, d'une région à l'autre et même d'un quartier à l'autre [11], [12], [13], [14], [15], [16]. Annexe I, dresse les compositions des déchets urbains dans différents pays. Une caractéristique de la composition des déchets urbains dans les pays en voie de développement est la forte teneur en fines < 20 mm, proche de

50%. Dans la ville de Ouagadougou (Burkina Faso) [17] 75% (en poids) des déchets sont des fines, alors qu'au Bénin [18], les fines représentent 36% et en Inde 42% [19]. Ces pourcentages s'alignent en générale ou s'approchent à des valeurs trouvés dans Les résultats obtenus dans le cadre de ce travail (26,21% en moyenne).

D'autre part la fraction putrescible des déchets est surtout dominante avec 34,45%. Une valeur qui reste relativement proche de celles des pays industrialisés vu que ladite fraction dépassant 55 % dans les pays en voie de développement, contre 35 % dans les pays industrialisés. De nombreuses études ont également montré l'importance des conditions et du mode de vie de la population et de l'influence des saisons [20]. Les habitudes alimentaires sont fonction du niveau de vie, du type d'habitation et des époques de l'année: la production de fruits et légumes étant plus importante en été, la part des matières fermentescibles s'en trouve augmentée [21],[22].

4.2.2 PLASTIQUES, DÉCHETS HYGIÉNIQUES, PAPIERS ET CARTONS

Le pourcentage moyen des plastiques est de 12,92%, avec des productions dépassant les 14% pour les zones touristiques, haut et moyen standing.

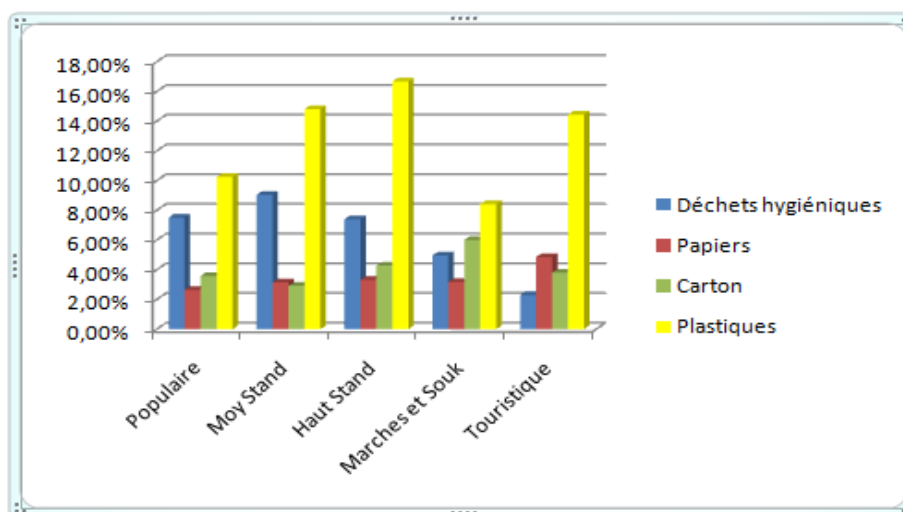


Fig. 8. Répartition par secteur des déchets plastiques, hygiéniques, Papiers et Cartons

Le pourcentage moyen des déchets hygiéniques sur l'ensemble des zones étudiées est de 6,24%, avec un maximum sur la zone de moyen standing de 9,05% et le minimum enregistré au niveau de la zone touristique et hôtelière avec 2,31%.

Le pourcentage moyen des cartons et papiers est de 7,54%. Il s'agit tout d'abord des marchés et souk avec 9,18% et le reste des zones tourne autour de la moyenne. Les papiers sont présents dans les déchets des différents secteurs de la ville de façon assez homogène. En effet, ils se situent dans une fourchette comprise entre 4,85% pour la zone touristique et 2,65% pour les zones Populaire et avec une moyenne sur la ville de 3,43%. Par contre, les cartons sont présents en des quantités plus importantes variant autour d'une moyenne pour la ville de 4,11%. Le secteur le plus différent est la zone du moyen standing et populaire avec seulement 2,91% et 3,59% respectivement et 6,00% comme maximum pour la zone des Marchés et Souk.

La part de papiers et de matières plastiques s'accroît dans les pays industrialisés, reflétant ainsi les nouveaux modes de consommation de la population. La part de matière plastique est faible dans les pays en voie de développement (entre 1 et 7 %) tout comme la proportion de métaux potentiellement polluants. Dans notre cas le carton-papier représentent une moyenne de 7,54%, le plastique 12,92% (mais avec une majorité des plastiques à basse densité) et les déchets hygiéniques 6,24%. Selon le rapport sur l'Etat de l'Environnement au Maroc [23], le pourcentage de Matière Organique abaissé de 75% à 50% entre 1960 et 1999. À l'inverse, la proportion de matière plastique a augmenté au même temps de 0,3% à 6-8%. Cela montre une légère diminution de la proportion des matières fermentescibles au profit d'autres produits comme les matières plastiques, provenant d'un changement de modes de consommation et d'une augmentation du niveau de vie de la population.

4.2.3 TEXTILES ET AUTRES COMBUSTIBLES

Les textiles représentent une faible proportion des déchets de la ville, 2,70%. Deux secteurs ont des moyennes plus élevées, les secteurs Populaire et Moyen Standing avec respectivement 4,13% et 4,41%. Les autres se situent entre 0,55% et 2,90%. Les autres combustibles sont aussi présents en faible proportion avec une dispersion homogène autour d'une moyenne de 3,45% pour la ville, essentiellement au pic enregistré sur le secteur touristique de 7,47%.

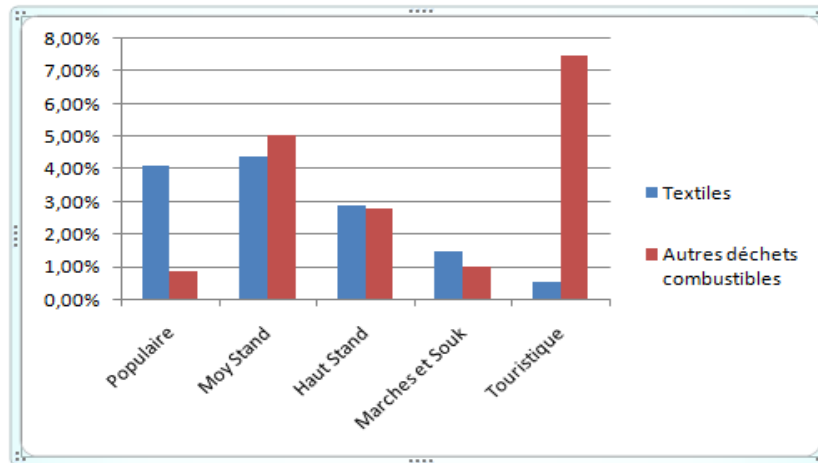


Fig. 9. Répartition par secteur des déchets textiles et autres combustibles

4.2.4 VERRES, MÉTAUX ET AUTRES INCOMBUSTIBLES

Le verre collecté représente 4,27% des déchets de la ville. La répartition entre les secteurs semble moins homogène que pour d'autres catégories. En effet, avec 11,87%, la zone touristique (secteur playa) présente un pourcentage trois fois plus élevé que la moyenne pour la ville. Inversement, le pourcentage de verre est deux fois moins important sur les secteurs Populaire et marchés&Souk.

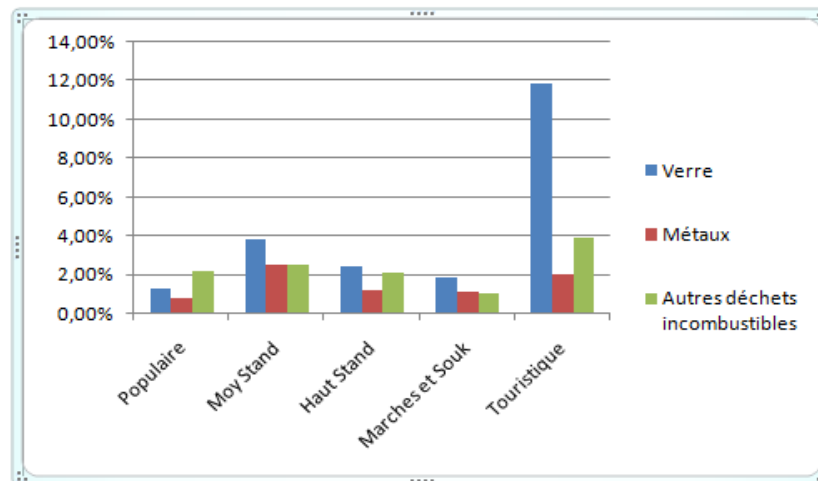


Fig. 10. Répartition par secteur des déchets : verres, métaux et autres incombustibles

Les métaux collectés représentent une quantité très faible, inférieure à la moyenne 1,57%, à l'exception des secteurs touristiques et moyen standing qui dépassent les 2%. Les autres incombustibles sont présents entre 1,08% et 3,96% avec une moyenne pour la ville de 2,38%.

4.2.5 DECHETS ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUES ET DECHETS DANGEREUX

Les déchets électriques et électroniques (moyenne 0,70%) ainsi que les déchets dangereux (moyenne 0,33%) représentent de faibles quantités. Mais le danger reste très important, lorsqu'il s'agit des déchets médicaux non stérilisés, pour tous les personnes qui fréquentent ces déchets à savoir : les éboueurs, ouvriers de collecte, personnel de la décharge, trieurs etc.

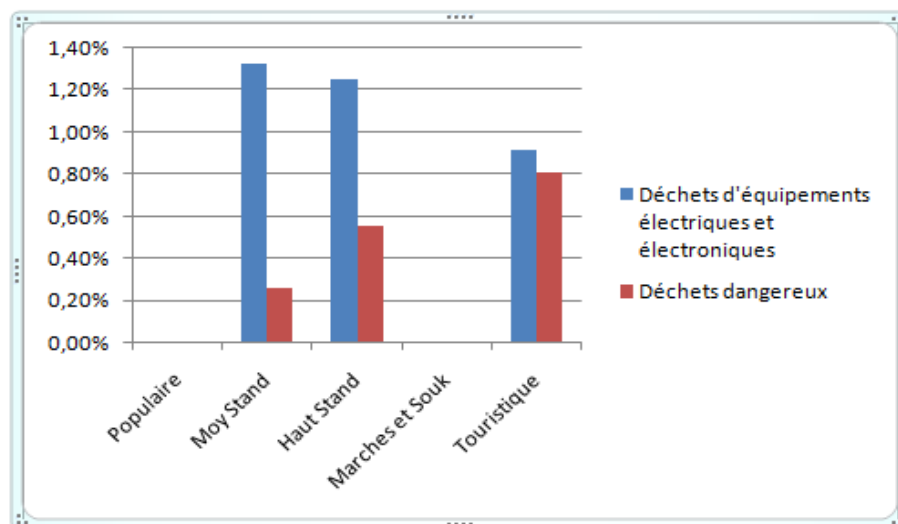


Fig. 11. Répartition par secteur des déchets d'équipements électriques et électroniques et Déchets dangereux

4.3 CARACTÉRISATION MATIÈRE

La connaissance des caractéristiques physico-chimiques des déchets en question est très importante pour la prédiction des risques potentiels. Les traitements et les solutions possibles des rejets, ainsi que les modes de gestion, d'exploitation et de valorisation de ces déchets. Ce qui facilitera ultérieurement les procédures de contrôle et de réduction des émissions polluantes à l'environnement.

4.3.1 L'HUMIDITÉ (H)

Cette caractéristique est déterminée par séchage à une température donnée jusqu'à un poids constant. Les températures utilisées et le temps nécessaire pour le séchage ainsi que les quantités d'échantillons à sécher varient d'un auteur à l'autre. François en 2004 [10] rapporte que certains protocoles proposent de faibles températures allant de la température ambiante à une température de 40 °C. Tandis que d'autres recommandent des températures plus élevées allant jusqu'à 110 °C. La majorité des protocoles déterminent l'humidité par séchage à la température de 105 °C, jusqu'à un poids constant [10], [24], [25], [26], [27], [13]. La durée est en général de 24 heures et la masse des déchets à sécher varie de quelques grammes [12] à plusieurs kilogrammes [9].

Le taux d'humidité des différentes fractions granulométriques de nos échantillons, a été déterminée après séchage préalable à l'air d'échantillons puis finition en étuve de laboratoire. Entre 1 et 5 kg de chaque fraction granulométrique ont été séchés, prélevés sur un échantillon de chaque secteur. Le taux d'humidité c'est la perte en masse par rapport à la masse initiale :

$$\% H = (P0 - P1) \cdot 100 / P0$$

%H : pourcentage d'humidité.

P0 : poids initial.

P1 : poids final après séchage.

Les résultats moyens obtenus et arrondis à la dizaine supérieure sont présentés sur le tableau 2

Tableau 2. Teneur moyenne en eau des déchets caractérisés à Tanger en Août 2015

Fraction	%H
Ordures Ménagers en mélange	57%
Fines < 25 mm	68%
25 à 75 mm	62%
75 – 150 mm	44%
>150 mm	25%

Ces taux d'humidité traduisent une teneur moyenne en eau très élevée mais en cohérence avec la forte teneur en matière organique putrescible dans les déchets.

Des mesures faites sur les catégories les plus humides ont données les résultats suivants :

Tableau 3. Humidité moyenne par catégories des déchets caractérisés à Tanger en Août 2015

Catégories	Humidité moyenne %H
Putrescibles	67%
Déchets hygiéniques	51%
Papiers	37%
Carton	32%
Plastiques	35%
Textiles	29%
Autres déchets combustibles	-
Verre	-
Métaux	-
Autres déchets incombustibles	-
Déchets d'équipements électriques et électroniques	-
Déchets dangereux	25%
Fines <25 mm	68%

Si on calcule l'humidité à partir de ces données moyennes par catégories, on se trouve avec une humidité moyenne des Ordures Ménagers de 43%.

4.3.2 MATIÈRE VOLATILE (MV)

La perte au feu, appelée aussi matière volatile (MV), est la méthode la plus couramment employée pour évaluer la matière organique contenue dans le déchet. Cette méthode consiste à calciner un échantillon sec, la perte de masse et le résidu correspondant à la matière volatile et à la matière minérale, respectivement.

Les procédures varient selon les auteurs avec la température et la durée de calcination [27], [28]. Citons la norme européenne NE 13039 (1999), appliquée aux sols, avec une calcination à 550°C pendant 6 heures, durée supposée suffisante pour une calcination totale de la matière organique, et la procédure normalisée de fractionnement biochimique où la matière organique est estimée par calcination pendant 6 heures à 480°C (norme AFNOR, XP U44-162). Cependant, bien que la simplicité de la méthode la rende facile et universelle, celle-ci surestime le pôle biodégradable du déchet. La matière volatile comprend de la matière organique biodégradable et la matière organique synthétique (les matières plastiques) très peu biodégradable. Par ailleurs, la bioconversion de la matière organique biodégradable en substances humiques ne peut pas être prise en compte avec une telle mesure.

La teneur en matière volatile dépend de l'origine des déchets. Pour les déchets ménagers non traités, la matière volatile varie entre 37 et 42% [29]. Sur certaines fractions fines issues des prétraitements mécaniques (criblage), la matière volatile peut atteindre 72%. Soyez & Plicker (2002) [30] rapportent une réduction de 40% de la matière volatile au bout de 10 semaines de prétraitement aérobie et qu'au-delà de 45 semaines, un abattement des deux tiers de la masse organique

initiale est atteint. Les travaux de Scheelhaase&Bidlingmaier (1997) [31] conduisent à la même conclusion avec une réduction d'environ 60% de la matière organique.

En s'alignant avec la norme AFNOR, XP U44-162 on a procédé à la calcination de nos échantillons, préalablement séché à 105 °C, à 550°C pendant 4 heures, durée supposée suffisante pour une calcination totale de la matière organique, le tableau 4 résume les résultats moyens obtenus sur quelques grammes d'échantillons après avoir été séchés, broyés et calcinés. Les analyses ont été triplées. La teneur en matière organique ou solides volatiles est obtenue par différence de pesée entre la masse du déchet sec (**M1**) et la masse du déchet calciné (**M2**) :

$$\%MO = (M1 - M2) \cdot 100 / M1$$

A noter que des fractions telles que verre, métaux et déchets spéciaux n'ont pas été analysées.

Tableau 4. Matière volatile moyenne par secteur des déchets caractérisés à Tanger en Août 2015

Secteur	MV %
Haute Standing	79 %
Moyenne Standing	67%
Populaire	64%
Marchés et souk	71%
touristique	60%

Les résultats des analyses sur des échantillons d'ordure ménagers reconstitués ont montré que les solides volatiles varient entre 60,3 à 79,2% et représentent en moyenne 68,20 % du poids sec des déchets. Ce taux est comparable à la moyenne des ordures ménagers aux Etats-Unis donné par Tchobanoglous et al., en 1993[24] qui est de 52 % et varie de 40 à 60 % selon le déchet. Il reste, néanmoins, relativement proche à d'autres déchets dans les pays en voie de développement tels que l'île Maurice avec 85 % et la Tanzanie avec 80 % [24], [14] ou à certains déchets type cités par Hossain en 2002 [32] dont les teneurs en SV représentent 78,6% de la masse sèche des déchets.

En conclusion, les faibles corrélations entre la matière volatile et les tests biologiques et biochimiques (indice d'humification AH/AF, potentiel bio-méthanogène et l'activité respiratoire) [33], [34], [35] montrent que cette quantification ne reflète pas le pôle biodégradable de la matière organique. La matière volatile reste un paramètre global et peu précis.

4.3.3 MASSE VOLUMIQUE APPARENTE (MVA)

Quelques déterminations ont été faites sur les ordures ménagères. On mélange après vidage du contenu des bennes de collecte au sol (détermination approximative du volume, calcul de la MV (à partir de la connaissance de la masse totale de déchets). D'autres déterminations ont été faites sur quelques échantillons des différentes fractions granulométriques à l'aide de récipients d'une dizaine de litres de volume.

$$\rho = \mu / \varpi$$

Soit

ρ : masse volumique en kg.m⁻³ ;

μ : poids obtenu en kg ;

ϖ : volume du seau en m³

La moyenne des résultats obtenus est présentée dans le tableau 5.

Tableau 5. Masses volumiques moyennes des déchets caractérisés à Tanger en Août 2015

Fraction	Masse volumique apparente
OM en mélange	0,65 T/m ³
Fines <25 mm	0,91 T/m ³
25 à 75 mm	0,75 T/m ³
75 à 150 mm	0,52 T/m ³
> 150 mm	0,38 T/m ³

Ces valeurs sont relativement élevées au regard des valeurs que nous rencontrons en général sur des ordures ménagères en pied développés, cela est dû principalement au contenu élevé en matières organiques.

5 CONCLUSION

Le but de cette campagne de caractérisation est d'une part d'obtenir des résultats de composition représentatifs de la période durant laquelle elle s'est déroulée et de fournir un Protocole détaillé aux futures chercheurs pour pouvoir reproduire de telles opérations en autonomie et combler toute lacune, d'autre part la réalisation d'une campagne de caractérisation qualitative des déchets de la ville reste un élément primordial pour pouvoir fournir un outil d'aide à la décision le plus complet et réaliste possible.

Le principal objectif de cette caractérisation est d'aider à construire une base de données fiable, mangeable et à la disposition du public cible pour apporter une modeste attribution à la filière de Rudologie et permettre de tirer profit des expériences actuelles des décharges contrôlées au Maroc.

En Conclusion, les déchets de la ville de Tanger, vu leurs contenu élevé en matière organique, le taux d'humidité assez important qui influence leurs pouvoir calorifique, peuvent être valorisées via quatre voies possibles :

- Le recyclage;
- La valorisation énergétique sous forme de Combustibles Solides de Récupération ;
- Le compostage, technique simple et évolutive avec une bonne maîtrise des coûts d'investissement et d'exploitation, permettant le traitement de l'ensemble des déchets biodégradables majoritaires sur nos déchets ;
- La Bio-méthanisation: permet la double valorisation, matière et énergétique, mais les coûts d'investissement et d'exploitation demeurent relativement importants.

Une combinaison des trois premiers modes sera idéale pour une exploitation efficiente du gisement des déchets de la ville de Tanger. Mais vu, les conditions climatiques (Fort taux d'ensoleillement, Températures moyennes annuelles > 15 °C) ainsi que le besoin énorme des sols de notre pays en matière organiques et les ambitions agricoles qui nécessitent une fertilisation important des terres agricoles, les traitements biologiques résultent avantageux.

En fin, d'une part, il est très important de tirer, une autre fois, la sonnette d'alarme, pour le risque que présentent la présence des déchets électriques et électroniques ainsi que les déchets dangereux dans les ordures ménagères, même si avec des portions moyennes relativement faibles, le danger reste très important pour tous les personnes qui fréquentent ces déchets à savoir : les éboueurs, ouvriers de collecte, personnel de la décharge, trieurs etc, lorsqu'il s'agit des déchets médicaux non stérilisés.

D'autre part il s'est avéré qu'un gisement non négligeable des matières recyclables qui échappe en majeure partie à la valorisation.

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] Sané 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] Rapport annuel d'exploitation de la ville de Tanger en 2013, Tecmed-Maroc. 2014
- [6] Paul H. Brunner et Walter R. Ernst (1986). Alternative Methods for the Analysis of Municipal Solid Waste, *Waste Management & research* (1986) 4, 147-160.
- [7] Rapport final de l'étude de faisabilité relatif à l'amélioration de la gestion de la décharge publique de Tanger (GTZ). 2006
- [8] MODECOM (1993). *Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères/ 2ème édition*, ADEME éditions, Paris, 64 pages.
- [9] AFNOR, (1996). Déchets : Caractérisation d'un échantillon de déchets ménagers et assimilés ; Eds AFNOR ; 24 pages.

- [10] François V. *Détermination d'indicateurs d'accélération et de stabilisation de déchets ménagers enfouis. Etude de la recirculation de lixiviats sur colonnes de déchets.* Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2004.
- [11] Mohee R. (2002). Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius; *Resources, conservation and Recycling* 36 (2002) 33 – 43.
- [12] Wei Y-S ; Fan Y.B., Wang M-J et Wang J-S (2000). Composting and compost application in China, *Resources, Conservation and Recycling* 30 (2000) 277 – 300.
- [13] Aloueimine S., Matejka G., Zurbrugg C. et Sidi Mohamed M.E., (2005). Caractérisation des Ordures Ménagers à Nouakchott : Partie II : Résultats en Saison Sèche et en Saison Humide, 8 pages.
- [14] Mbuligwe S.E et Kassenga G.R. (2004). Feasibility and strategies for anaerobic digestion of solid waste for energy production in Dar Es Salaam city, Tanzania, *Resources, Conservation and Recycling* 42 (2004) 183 – 203.
- [15] Waas E., Adjademe N., Bideaux A., Deriaz G., Diop O., Guene o., Laurent F., Meyer W., Pfammatter R., Schertenleib R. et Toure C. (1996). "Valorisation des déchets ménagers organiques dans les quartiers populaires des villes africaines." Genève, Suisse, SKAT.142.
- [16] Charnay F., Thèse de doctorat., l'université de limoges France. (2005) 277p.
- [17] Tezanou J., Koulidiati J., Proust M., Sougoti M., Goudeau J.C., Kafando P. et Rogaume T. (2001). "Caractérisation des déchets ménagers de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso)."
- [18] Soclo H.H., Aguewe M., Adjahossou B.C., Hougue T. et Azontonde A.H. (1999). "Recherche de compost type et toxicité résiduelle au Bénin." TSM 9: 68-76.
- [19] Damodaran N., Robinson A., David E. et Kalas-adams N. (2003). "Urban solid waste generation and management in India." dans " *Ninth International waste management and Landfill Symposium*". 6-10 octobre 2003, Cagliari, Italy.
- [20] Beture Environnement (2001). "Projet Déchets urbains - Egypte." Paris, France 65.
- [21] Ngnikam E. (2000). "Evaluation environnementale et économique de systèmes de gestion des déchets solides municipaux : analyse du cas de Yaoundé au Cameroun". LAEPSI. Lyon, INSA LYON : 314.
- [22] Arinola O.G. et Arinola A.M. (1995). "Solid waste in urban and rural areas of Ibadan, Nigeria : composition, treatment and public health concerns." *Compost Science &Utilization* 3 (3) : 80-83.
- [23] O.N.E.M (2001). "Rapport sur l'Etat de l'Environnement du Maroc ". Chapitre IV : Déchets et Milieux humains". Observatoire National de l'Environnement au Maroc.
- [24] Tchobanoglous G., Theisen H. et Vigil Samuel A., (1993). *Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues*; McGraw-Hill International Editions; Civil Engineering Services; 978 pages.
- [25] Kelly E.J. (2002). *Solid Waste Biodegradation Enhancements and the Evolution of Analytical Methods Used to Predict Waste stability*, thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [26] Braun R. and Jaag O. (1970). *Methods of Sampling and Analysis of Solid Waste. Eawag, Swiss Federal Institute for Water Supply, Sewage Purification and Water Pollution Control; Section for Solid Wastes ;* CH- 8600 Dübendorf, Switzerland; 72 pages.
- [27] Pichler M., Knicker H., Kögel-Knabner I. Changes in the Chemical Structure of Municipal solid waste during composting as studied by solid-state dipolar dephasing and PSRE 13C NMR and solid state 15N NMR spectroscopy. *Environmental Science &technology*, 2000, vol. 34, n°18, pp. 4034-4038.
- [28] Paredes C., Bernal M. P., Cegarra J. And Roig A. Bio-degradation of olive mill wastewater sludge by its co-composting with agricultural wastes. *Bioresourcetechnology*, 2002, vol. 85, pp. 1 - 8.
- [29] Charonnat C., Deportes I., Feix I. And Merillot J.K. *Approche de la qualité des composts de déchets en France.* ADEME Editions, Paris, 2001.
- [30] Soyez K. And Plickert S. Mechanical-Biological Pre-treatment of waste – State of the art and potential of biotechnology. *Acta Biotechnologia*, 2002, vol, 22, n°3-4, pp. 271-284.
- [31] Scheelhaase T. And Bidlingmaier W. Effects of mechanical-biological pre-treatment on residual waste and landfilling. In Proceedings Sardinia 97, *Sixth International Waste Management & Landfill Symposium*. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. 13-17 October 1997. pp. 475-484.
- [32] Hossain MD.S. (2002). *Mechanics of compressibility and strength of solid waste in bioreactor landfills.* Thesis, Faculty of North Carolina State university at Raleigh; Department of Civil Engineering; 199 pages.
- [33] Adani F., Tambone F., Gotti A. Biostabilization of municipal solid waste. *Waste Management*, 2004, vol. 24, pp. 775-783.
- [34] Kelly R.J., Shear B.D, Kim J, Goldsmith C.D, Hater G.R, Novak J.T. Relationships between analytical methods utilized as tools in the evaluation of landfill waste stability. *Waste Management*, 2006, vol. 26, pp. 1349 – 1356.
- [35] Smidt E. and Tintner J. Application of differential scanning calorimetry (DSC) to evaluate the quality of compost organic matter. *Thermochimica Acta*, 2007, vol. 459, pp. 87–93.
- [36] Djakovitch J.L. *Mise au point d'une méthode de détermination rapide du coefficient isohumique de matériaux organiques utilisables pour l'amendement des sols.* Mémoire Diplôme d'ingénieur du conservatoire national des arts et métiers. Bordeaux : CNAM, 1988, 208p.

- [37] François V., Feuillade G., Skhiri N., Lagier T & Matejka G. Indicating the parameters of the state of degradation of Municipal Solid Waste. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, vol.137(2), pp. 1008 - 1015.
- [38] Liwarska-Bizukojc E. AND Ledakowicz S. Elemental balance for the biodegradation process of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW). In *Proceedings Sardinia 2001, Eighth International Waste Management & Landfill Symposium*. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. 1-5 October 2001. pp. 383-390.
- [39] FCQ, 1999. *Front Commun Québécois. Mémoire du Front commun québécois pour une gestion écologique des déchets sur la consultation publique sur la gestion de l'eau au Québec*, 33 pages.
- [40] Kang K.H., Shin H.S. & Park H. *Characterization of humic substances present in landfill leachates with different ages and implications*. *Wat. Res.*, 2002, vol. 36(16), pp. 4023-4032.
- [41] Sanchez-Monedero M.A., Roig A., Paredes C. & Bernal M.P. (). "Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, Ec and maturity of the composting mixtures." *Bioresource Technology*, 2001, vol. 78, pp. 301 - 308.
- [42] Zucconi F. and De Bertoldi M. *Compost specification for the production and characterisation of compost from municipal solid waste*. In: *Compost, production, Quality and Use*. Eds: M. de Bertoldi, M.P. Ferranti, P. L'Hermite, F. Zucconi. Elsevier Applied Science, 1987, pp. 30 – 50.
- [43] Jimenez E.I, Garcia V.P. Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agric.Ecosystems Environ.*, 1992, vol. 38, pp. 331- 343.
- [44] De Araujo Morais J., Achour F., Ducom G. And Bayard R. (2005). *MBT before landfilling in France -state of the art and results of mass balance in SDEE-Mende Landfill*. In: Kühle- Weidemeier (Wasteconsult International), editor. *International Symposium MBT 2005*, 23-25 November 2005, Hanover, Germany, 2005; pp.122-130.
- [45] Juste C., Solda P., Dureau P. *Mise au point de tests agronomiques légers permettant de déterminer simultanément la phytotoxicité globale des ordures ménagères et leur degré de maturation*. *Convention d'étude n° 77-147*, Ministère de l'environnement et du cadre de vie, INRA Bordeaux, 1980.

ANNEXE

	Références	Fermentescibles et végétaux	Verres	Plastiques	Papiers & cartons	Métaux
Bénin	[35]	45	?	3-4	?	2
Burkina Faso	[36]	39	3	10	9	4
Egypte	[37]	60	2,5	1,5	13	3
Guinée	[38]	69	0,3	22,8 (+textiles)	4,1	1,4
Ile Maurice	[30]	68	1	13	12	1
Inde	[39]	38,6	1	1,03	5,57	0,23
Liban	[40]	62,4	5,6	11	11,3	2,9
Malaisie	[25]	36,5	3,2	18,4	27	3,9
- Petaling Jaya						
Malaisie	[25]	30,1	1,5	12	30,8	3,2
- Seberang Perai						
Maroc	[25]	65-70	0,5-1	2-3	18-20	5,6
Mexique	[41]	55	4	4	15	6
Mauritanie	[28]	4,8	3,8	20	3,6	4,2
Pérou	[42]	34,7	7,1	7,2	6	2,8
Tunisie	[26]	68	2	7	11	4
Turquie	[43]	36,1	1,2	3,1	11,2	4,6
Allemagne	[44]	15	9	3	27,5	6,5
Etats-Unis	[44]	23,8	5,9	9,4	38,1	7,7
France	[44]	29	13	11	25	5
Japon	[44]	30	7-13	8-10	40-42	4-7,5
Grèce	[45]	45	4	11	22	4,5