



Voies de traitements de déchets solides: *Valorisation matière et énergie*

C. Gisèle JUNG

Université Libre de Bruxelles (ULB) – Centre Emile Bernheim - Service 4MAT
50, Av.F.D. Roosevelt CP 165/63-1050 Bruxelles – Belgique; cgjung@ulb.ac.be

Reçu: le 11 Avril 2013

Accepté: le 1 Novembre 2013

Publié: le 6 Novembre 2013

RESUME

Mots clés : biogaz, combustibles de substitution, compost, char, tri, valorisation énergétique

La caractérisation du déchet est primordiale pour déterminer le mode de traitement le mieux adapté. En effet, en fonction de la composition d'un déchet, après tri préalable, chaque fraction peut être orientée vers des filières de traitement appropriées. Disposer d'un échantillon représentatif d'un déchet permet de déterminer son taux d'humidité (ou la teneur en matières sèches), sa teneur en cendres (sur matières sèches), le rapport matières volatiles sur matière sèche, la présence de divers polluants potentiels ainsi que son pouvoir calorifique inférieur (PCI en MJ/kg). Sur base de cette caractérisation, différentes filières de traitement de déchets telles que compostage, biométhanisation ou traitements thermiques, etc. peuvent alors être examinées sur les plans de récupération matières et valorisation énergétique. L'exposé des différentes voies de traitement devrait permettre de favoriser le choix d'un traitement en respectant les contraintes environnementales, en tenant compte des circonstances locales et être réalisé dans des conditions économiquement acceptables avec l'objectif essentiel d'un développement durable.

SUMMARY

Key-words: biogas, substitution fuels, compost, char, sorting, energy valorisation

Waste characterisation is essential to determine the mode of the best adapted treatment. Indeed, according to the composition of a waste, after preliminary sorting, every fraction can be directed to appropriate sectors of treatment. Have a representative sample of a waste allows to determine its rate of humidity (or the content in dry material, its ash content (on dry matter), the report (relationship) volatile matters on dry material(subject), the presence of diverse potential pollutants as well as its lower calorific value (NCV in MJ/kg). On base of this characterization, various ways of treatment such as composting, biomethanisation or thermal treatments can be then examined on the plans of material and energy valorisation. The presentation of the various ways of treatment should allow to favour the choice of a treatment by respecting environmental requirements, by taking into account local circumstances and to be realized in economically acceptable conditions with the essential objective of a sustainable development.

1. INTRODUCTION

Les déchets sont générés régulièrement tout au long de l'année en ce qui concerne par exemple les ordures ménagères ou selon les saisons pour les déchets de fruits, de cultures, etc.

Malheureusement, les déchets sont souvent associés à la détérioration de notre environnement et à de multiples risques pour la santé humaine.

Sous l'angle technologique, les principaux secteurs concernés par la maîtrise des impacts environnementaux sont ceux des économies d'énergie, de la dépollution des eaux, du traitement des effluents

gazeux et de la gestion des déchets solides. Les déchets solides regroupent toute la variété des espèces chimiques minérales ou organiques, naturelles ou synthétiques, seules ou en mélange.

L'objectif de ce document est d'aider à orienter le choix entre les multiples stratégies de valorisation du contenu matière et énergie des déchets solides en fonction de la caractérisation des diverses fractions en se basant sur les techniques de traitements existantes.



2. ANALYSE DE LA STRATEGIE DES VOIES DE VALORISATION DES FLUX DE DECHETS

Les déchets sont constitués d'humidité, de matières organiques et de matières minérales métalliques ou non métalliques (analyse immédiate).

Tous les déchets sont potentiellement valorisables et ce en fonction de leur nature chimique, de leurs propriétés mécaniques, physico-chimiques ou de leur pouvoir calorifique (PCI). Dans le cas des déchets solides, lorsqu'ils sont hétérogènes, chaque catégorie de déchets, voire chaque fraction au sein d'une catégorie, doit être envisagée pour effectuer le choix d'une voie de traitement.

Il est donc évident qu'un tri préalable de ces déchets s'impose. Après un tri à la source (par exemple pour les ordures ménagères), la mise en œuvre de procédés de séparation physiques, mécaniques permettent de générer diverses fractions recyclables ou valorisables. Un déchet peut donc être valablement traité par différentes filières. Les voies de valorisation des traitements de déchets sont classées hiérarchiquement en:

A. Valorisation matière:

- en agriculture et en élevage;
- en matériaux

B. valorisation énergie:

- combustibles de substitution
- électricité

C. élimination

2.1. Valorisation matière

En agriculture et élevage: Le secteur agricole a de tout temps utilisé des déchets, en particulier ceux de sa propre activité. Des filières plus larges se sont développées avec le compostage de la fraction organique des ordures ménagères, l'épandage des boues de stations d'épuration ou bien encore l'alimentation animale (déchets alimentaires, farines...). Certains déchets (sable, chaux...) sont utilisés également comme amendements minéraux ou pour améliorer les propriétés des sols de culture.

En industries dédiées: Ces industries permettent la récupération notamment de certaines matières plastiques, de métaux, de verre, de papiers...

2.2. Valorisation énergétique

2.2.1. Obtention de combustibles de substitution par des procédés biologiques

Lorsque les déchets hydrocarbonés sont biodégradables, on peut mettre en œuvre des fermentations méthaniques ou alcooliques qui conduisent à la production de biogaz ou d'alcool qui sont utilisés ensuite comme combustibles gazeux ou liquides homogènes.

2.2.2. Obtention de combustibles de substitution par des procédés thermiques

Des procédés comme la pyrolyse, la thermolyse, la gazéification permettent de transformer, en atmosphère non ou peu oxydante, les molécules hydrocarbonées des déchets en combustibles liquides, gazeux ou solides en jouant sur différents paramètres (pression, température...).

2.2.3. Production d'électricité

Les traitements thermiques de déchets en version intégrée permettent une valorisation directe en électricité via turbines ou moteurs à gaz. Ces technologies (pyrolyse et gazéification intégrées) présentent un intérêt particulier puisqu'elles permettent de fournir l'électricité aux populations de manière économique en valorisant leurs déchets.

2.3. Elimination

Les centres d'enfouissement techniques (CET) des déchets solides communément dénommés décharges peut générer des nuisances au niveau des gaz et lixiviats s'ils ne sont pas contrôlés. Les directives européennes ont prévu de n'utiliser les décharges à l'avenir que pour des résidus ultimes après traitement préalable du déchet brut.

Pour faire un choix adéquat d'une (ou de plusieurs) filières pour un déchet donné, il est important d'utiliser un outil décisionnel. Ce choix dépendra essentiellement de :

- la connaissance de la composition du déchet (analyse immédiate et élémentaire) du déchet;
- des quantités et de la dispersion des déchets à traiter;
- des contraintes socio-économiques locales.

La difficulté d'installer des unités de traitement est liée surtout à l'accroissement des coûts exigés par un traitement des déchets particuliers et donne à leur gestion une importance nouvelle qui doit être prise en considération par les autorités locales.

3. VOIES DE TRAITEMENT

La connaissance du déchet est primordiale si l'on souhaite déterminer le mode de traitement le mieux adapté en tenant compte des circonstances locales et avec l'objectif essentiel d'un développement durable. En effet, en fonction de la composition d'un déchet, le choix d'une valorisation matière ou énergie doit être effectué dans des conditions économiquement acceptables tout en respectant les contraintes environnementales. En tout état de cause, un tri préalable du déchet pour séparer les fractions valorisables séparément est hautement souhaitable. La connaissance des caractéristiques du déchet permet d'orienter vers un choix de filière approprié.

On distingue les voies de traitements thermiques tels que l'incinération, la coïncinération, la calcination, la pyrolyse et la gazéification ainsi que voies de traitements de type biologique tels que le compostage et la biométhanisation.

3.1. Gisement pour une valorisation matière

La fraction fermentescible des déchets renferme un potentiel considérable en tant que source d'énergie renouvelable et matériaux recyclés. Si c'est déchets sont mis en décharges non contrôlées, ils se décomposent et produisent des gaz et lixiviats de décharge. Ce gaz, composé principalement de méthane, contribue fortement à l'effet de serre s'il n'est pas récupéré. A l'inverse, ces déchets peuvent faire l'objet d'une valorisation énergétique en récupérant ce biogaz par biométhanisation. En effet, une tonne de substances fermentescibles subissant un traitement biologique peut produire jusqu'à 500 m³ de biogaz.

D'autre part, la fraction fermentescible des déchets ménagers peut faire l'objet d'une valorisation matière organique par leur transformation en **compost**, dont les atouts environnementaux sont importants, notamment dans un pays agricole:

- l'utilisation du compost en tant qu'amendement pour sols ou engrais présente des avantages agronomiques comme l'amélioration de la structure du sol et de l'apport de nutriments, le recyclage du phosphore, en particulier, pouvant réduire la nécessité des apports d'engrais minéraux et le remplacement de la tourbe permettant de réduire les dégâts causés aux écosystèmes des zones humides;
- une meilleure capacité de rétention de l'eau facilite le travail des sols et peut contribuer à prévenir les inondations (capacité d'absorber l'eau importante);
- l'utilisation du compost permet de lutter contre l'appauvrissement progressif des sols en matière organique.

C'est la raison pour laquelle il semble évident que les traitements les mieux adaptés aux déchets organiques sont le compostage (fermentation aérobie des déchets) et la biométhanisation (fermentation anaérobie).

3.1.1. Compostage

Le compostage est un traitement biologique en milieu fortement oxygéné de déchets ou matières fermentescibles. Il permet une valorisation matière organique, en transformant ces matières en un compost susceptible d'être introduit comme amendement dans les sols. A défaut, son utilisation reste possible dans le cadre d'un plan d'épandage. Les principaux déchets traités par compostage sont les déchets verts (tontes de pelouses, feuilles) parfois en mélange avec des boues d'épuration urbaines ou industrielles, puis des déchets

agro-alimentaires, déchets de cuisine, effluents d'élevage (fientes, fumiers), ainsi que les déchets ménagers. Le compostage peut être réalisé sur des installations industrielles mais aussi à domicile ou dans le cadre d'un compostage de quartier.

3.1.2. Biométhanisation

La biométhanisation est basée sur la dégradation par des micro-organismes de la matière organique, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène, qui aboutit à la production :

- d'un produit humide riche en matière organique partiellement stabilisée appelé digestat : celui-ci peut être épandu sur des terres agricoles sous réserve du respect d'exigences de qualité agronomique et sanitaire ou devenir, après une phase de compostage et de maturation, un amendement organique, s'il satisfait à des critères de qualité ;
- de biogaz, mélange gazeux saturé en eau à la sortie du digesteur et composé d'environ 50 % à 70 % de méthane (CH₄), de 20 % à 50 % de CO₂ et de quelques gaz traces (NH₃, N₂, H₂S) ; épuré et enrichi, il peut être valorisé sous différentes formes (électricité, chaleur, carburant).

La biométhanisation permet donc en principe, si on utilise le digestat en épandage, une valorisation énergétique et organique. Il existe quatre secteurs favorables au développement de la méthanisation : agricole, industriel, déchets ménagers, boues urbaines. Concernant la valorisation des déchets ménagers, le compostage est le traitement le plus adapté pour les déchets verts et les matières ligneuses alors que la méthanisation est particulièrement adaptée au traitement des déchets fermentescibles humides.

En résumé, le compostage et la biométhanisation peuvent être réalisés sur la fraction fermentescible, de manière la plus rentable, soit collectée séparément par tri sélectif par l'habitant.

Le tri vise à fractionner les déchets et à isoler progressivement certains éléments valorisables en tant que matériaux (métaux, plastiques, verre), déchets fermentescibles ou déchets non biodégradables à fort pouvoir calorifique (PCI). Les divers objectifs de tri sont:

- d'améliorer les taux de recyclage en triant et en isolant les matériaux recyclables;
- d'extraire une fraction organique destinée, après traitement, à retourner au sol sous forme de compost ou par biométhanisation avec production de biogaz pour les fermentescibles;
- d'améliorer la valorisation énergétique par traitements thermiques pour les refus de tri tels que mélanges de matière organique résiduelle, de plastiques, de bois, et de matières minérales.

3.2. Gisement pour une valorisation énergie : traitements thermiques - incinération, gazéification et thermolyse.

Si la valorisation matière organique est recommandée par l'utilisation du compost ou de biogaz, l'objectif général de diminution des quantités de déchets solides mis en décharge doit être poursuivi en tenant compte des investissements importants à réaliser pour éviter la pollution engendrée par les décharges sauvages. Les choix de modes de traitements doivent être adaptés aux situations locales.

Le fait d'orienter les déchets fermentescibles vers d'autres modes de traitement diminue les fractions humides à traiter par des procédés thermiques et en accroît le pouvoir calorifique inférieur (PCI) et la performance énergétique.

Les traitements thermiques mettent en œuvre, selon les conditions opératoires, une volatilisation des matières organiques, une décomposition ou une dégradation en gazéification ou pyrolyse et une destruction par oxydation thermique, en combustion. Ces traitements thermiques nécessitent de prévoir une unité de traitement des fumées dont le dimensionnement dépend de la nature des polluants et des technologies appliquées. Ces différentes voies de traitement thermique des déchets sont illustrées dans le tableau 1.

Tableau 1: Mode de traitement thermique des déchets solides

Incinération et co-incinération	Combustion spontanée <i>excès d'air</i>	Pas de combustible d'appoint T > 850°C
Gazéification	Carbonisation <i>défaut d'air</i>	Production d'un gaz combustible pauvre T≈850°C
Pyrolyse	Carbonisation <i>absence totale d'air</i>	Production de combustibles gazeux, liquide et solide T≈550°C

3.2.1. Incinération

L'incinération des déchets solides bénéficient de plusieurs technologies, certaines sont disponibles et d'autres en cours de développement. Actuellement, la technique de combustion sur grille est la mieux adaptée au traitement des fractions résiduelles résultant de la valorisation matière recyclage, compostage, méthanisation ou des filières de production de combustibles dérivés de déchets. De surcroît, les techniques alternatives telles que la technique du lit fluidisé sont incompatibles avec le caractère hétérogène des déchets ménagers car elle requiert une préparation exigeante du gisement, génératrice de surcoûts. Dans cette technique, les déchets, broyés, alimentent un four où ils entrent en contact avec du sable porté à 850°C. Les déchets et le sable sont brassés par injection d'air afin d'assurer une combustion homogène des ordures.

Cette technique nécessite en effet de trier et de broyer les déchets avant l'incinération retrait des métaux ferreux par électro-aimant, séparation des objets lourds et légers par tri aéraulique.

3.2.2. Pyrolyse

La pyrolyse (thermolyse) des déchets solides reste un procédé qui, comparé à l'incinération présente l'avantage de produire un combustible stockable et transportable et d'émettre une quantité plus faible de polluants atmosphériques. En revanche, ce sont des procédés qui produisent des gaz chauds (condensables ou non-condensables) et un combustible solide (le char) dont les débouchés doivent être assurés. La pérennisation de ces produits est difficile dans les pays industrialisés là où les spécificités et les normes des produits dérivés sont strictes. Un tel procédé peut avoir un intérêt tout particulier dans d'autres pays moins industrialisés qui pourraient utiliser les produits gazeux et solides issus de la pyrolyse comme combustibles de substitution pour générer de l'électricité.

3.2.3. Gazéification

La gazéification des déchets consiste à les chauffer à une température supérieure à 850 °C, en présence d'une quantité limitée d'oxygène. Le gaz combustible de synthèse produit présente l'avantage de limiter les rejets atmosphériques de polluants vu les hautes températures qui limitent les substances imbrulées et réduisent la formation de dioxines. Le gaz de synthèse produit peut être soit brûlé directement pour valoriser son énergie, soit épuré pour une production d'électricité par moteur à gaz. En comparaison à une incinération classique de déchets avec production d'électricité (par turbines à vapeur), le bilan électrique net est très favorable grâce au rendement élevé des moteurs à gaz.

4. CONCLUSION

L'adaptation des décharges pour la récupération du biogaz ou le compostage de la fraction fermentescible issu du tri des déchets solides ménagers ou industriels sont les voies privilégiées dans le cadre du contexte local des pays de l'Afrique centrale. Cependant, les filières de traitement thermiques sont des voie alternatives qui présentent l'avantage de transformer la fraction organique des matières contenues dans les déchets en combustibles de substitution avec la possibilité de produire de l'électricité dans des régions qui en sont dépourvues. Ces solutions sont à examiner dans le cadre d'un développement durable avec valorisation de déchets solides spécifiques et caractérisés, pour une production d'énergie utile à moyen et long terme.

REFERENCES

- A. Fontana et C. G. Jung (1999) . Recyclage et valorisation des déchets ménagers », G. Miquel, Rapport 415 (98-99), Ed. Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques , Ref.1693, pp166-189 <http://www.senat.fr/rap/o98-415/o98-415.html>
- Dongqing Zhang a, Tan Soon Keat b, Richard M. Gersberg (2010). *A comparison of municipal solid waste management in Berlin and Singapore*”, Waste Management 30, 921–933 ,
- S. M. Al-Salem, P. Lettieri and J. Bayens (2009) . *Recycling and recovery routes of plastic solid waste: A review*, Waste Management 29, 2626-2643
- A. Fontana, B. Weis, C. G. Jung, C. Braekman-Danheux, Ph. Laurent (1997) . Pyrolysis of municipal solid waste: an additional technique for waste management. *Environmental Protection Bulletin*, IChem^E, 48, 15-20,
- A. Fontana et C. G. Jung (2003). Préparation thermique de combustibles alternatifs par biométhanisation, thermolyse et gazéification ». *Les techniques de l'Industrie Minérale*, 18: 95-100
- C. G. Jung and A. Fontana (2006) . Pyrolysis and gasification of mixed plastics. Production of substitution fuels, Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste plastics. Chapitre 10: p 251-284.
- C. G. Jung (2008) . Pyrolysis and gasification of industrial waste towards substitution fuels”, High Temperature materials and processes, 27, N°5: 299
- C.G. Jung (2008) . Modèle prédictif et étude de cas des techniques thermiques dans Les Ouvrages de l'Industrie Minérale, volume 1, «le Recyclage» p. 283
- A. Fontana et C. G. Jung (2008) . Les aspects stratégiques du recyclage: les moteurs Société et Entreprise, Recyclage & Valorisation des matières résiduelles et des déchets, Société de l'Industrie Minérale, volume 1, « le Recyclage », p79
- A. Fontana (2011) . La Planète et l'Homme, Working Papers CEB 11-051, Université Libre de Bruxelles. <https://dipot.ulb.ac.be/dspace/bitstream/2013/101480/3/wp11051.pdf>,
- O. Ioannidou, C. G. Jung and A. Zabaniotou (2011). A thermogravimetric model to predict yield product distribution in pyrolysis of agricultural biomass, Catalyst Today, 167
- M. Daniel Soulage, Rapport d'information sur les déchets, N° (2010), Sénat français <http://www.senat.fr/rap/r09-571/r09-5711.pdf>