

Contribution à la mise en place du modèle de la fraction combustible des déchets ménagers de la ville de Ouagadougou

NZIHOU J.F.* (a), ROGAUME Th[#], B.G. SEGDA*, KOULIDIATI J.* , BOUDA M.*

RÉSUMÉ

Les grandes villes africaines et les capitales africaines en particulier, ont dans la plupart des cas, connu une croissance rapide de leur population durant les quatre dernières décennies. Cette croissance, souvent exponentielle pose aux autorités publiques et aux décideurs, de grands défis dans la gestion des villes notamment dans le domaine de l'assainissement, de la collecte et du traitement des ordures ménagères. C'est ainsi que Ouagadougou capitale du Burkina Faso est en cours de construction de sa politique de gestion des ordures ménagères.

La mise en place d'un système de traitement des ordures ménagères efficace exige une bonne connaissance des caractéristiques de ces déchets afin d'adopter les voies et les traitements les plus appropriés. Cependant la grande hétérogénéité des déchets ménagers en rend très complexe la composition. Aussi le recours à des méthodes statistiques, en l'occurrence la caractérisation est-elle indispensable.

La présente étude, basée sur une caractérisation des déchets ménagers de la ville de Ouagadougou en saison sèche a montré que la fraction combustible des déchets de la ville de Ouagadougou est essentiellement constituée du bois (53%), du carton et papiers (25%) et des plastiques (22%).

Cette connaissance des proportions des constituants essentiels permet d'avoir une idée d'ensemble sur les propriétés du déchet de la ville. Cela permet en premier lieu d'orienter les choix des types de traitement à appliquer au déchet. Ensuite cela permet de réduire le coût des études faites en laboratoire sur des échantillons, au lieu des déchets réels. Enfin cela permet de maîtriser la reproductibilité des expériences de laboratoire : connaissant les proportions du déchet de la ville, on peut en étudier le comportement en utilisant un déchet reconstitué à partir des constituants essentiels et ayant pratiquement les mêmes propriétés.

Mots clés : déchet, combustible, modèle, pouvoir calorifique inférieur.

SUMMARY

Large African cities and the African capitals in particular, have in the majority of the known cases a fast growth of their population during the four last decades. The often exponential growth of their population poses to the public authorities great challenges in the management of the cities, in particular in the field of the cleansing, the collection and the treatment of the household refuse. Thus the town of Ouagadougou is still stammering in its management of the household refuse.

The installation of a household refuse treatment system requires a good knowledge of the characteristics of this waste in order to adopt the most suitable ways and treatments. However the great heterogeneity of domestic waste makes its composition very complex. So the recourse to statistical methods, such as the characterization is essential.

The present study, based on a characterization of domestic waste of the town of Ouagadougou made in dry season has shown that the combustible fraction of Ouagadougou primarily consist of wood (53%), the paperboard and papers (25%) and the plastics (22%).

This knowledge of the essential proportions of the components makes it possible to have an overall idea on the properties of the waste of the city. This makes it possible firstly to direct the choices of the types of treatment to be applied to waste. Then it enables one to reduce cost of the studies made in laboratory on samples, instead of real waste. Finally it help secure the reproducibility laboratory experiments: knowing the proportions of the waste of the city, one can study the behaviour of it by using a waste reconstituted from the essential components and having almost the same properties.

Key words : waste, fuel, model, lower calorific value.

I. INTRODUCTION

La population de la ville de Ouagadougou est passée de 600 000 habitants en 1985 à 1 000 000 en 1995 (PROUST, 2001). Cette croissance s'est un peu ralentie dans la dernière décennie puisque la population de Ouagadougou était estimée à 1 200 000 en 2005. Pendant ces deux décennies, les infrastructures de collecte et de gestion des ordures ménagères n'ont pas connu d'évolutions très significatives (PROUST, 2001 ; TEZANOU, 2004). On assiste donc à l'accumulation des ordures ménagères dans la ville et à la prolifération des décharges publiques non contrôlées

généralisant un véritable problème de santé publique.

Face à ces grandes quantités de déchets, il faut un système de gestion efficace. Un système de gestion des déchets repose sur la collecte, le tri, le transport et le traitement. Le

(*) Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement, Université de Ouagadougou, 03 BP 7021, Ouagadougou 03, Burkina Faso.

(#) Laboratoire de Combustion et de Détonique Université de Poitiers, UPR 9028, Téléport 2 - 1 Avenue Clément ADER, BP 40109 - 86961 FUTUROSCOPE Cedex France.

(a) Auteur correspondant: NZIHOU Jean Fidèle, 09 BP 1197, Ouagadougou 09 Burkina Faso.
E-mail: jean_fidele@hotmail.com

présent travail vise à décrire les caractéristiques de choix des méthodes de traitement. Parmi les différentes techniques de traitement des déchets (stockage, compostage, incinération, pyrolyse, méthanisation...) l'incinération se révèle une des plus pertinente et performante et apparaît le plus souvent comme incontournable. En effet, outre le fait qu'elle permette une forte réduction du volume des déchets, jusque 70 % de leur masse et 90% du volume, elle permet la destruction des germes pathogènes et dangereux (MAES, 1992; PANTALONI et TADRIST, 1996). Toutefois, de part ces caractéristiques, l'incinération ne s'applique qu'à des déchets respectant certaines propriétés, telles que :

- Taux d'humidité < 50% ;
- Taux d'inertes < 60 % ;
- Taux de fraction combustible > 25% ;
- Pouvoir Calorifique Inférieur suffisamment élevé.

Ceci est illustré par le triangle d'incinérabilité ci-dessous :

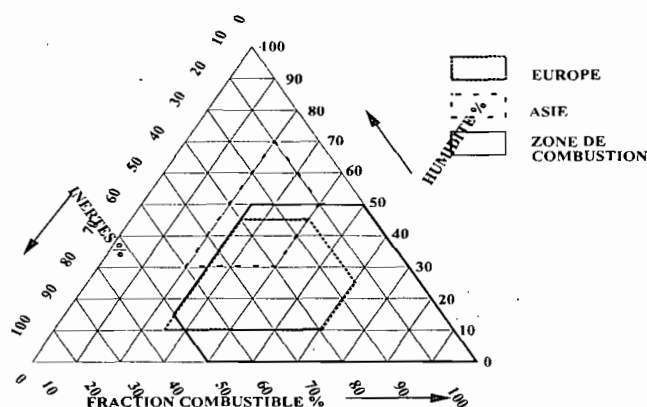


Figure 1 : triangle d'incinérabilité des déchets

Ainsi, une bonne connaissance des caractéristiques des déchets à incinérer est indispensable.

De par leur hétérogénéité, et leur composition très variable, la composition des déchets est très complexe et délicate à appréhender. Sa connaissance est pourtant une condition indispensable, même si les travaux d'ANDZI BARHE (2004) ont montré que des faibles variations de la composition des ordures ménagères n'ont pas d'incidence notable sur les caractéristiques de la combustion et sur les polluants gazeux générés.

La caractérisation des déchets, qui vise à identifier les principales composantes, leurs quantités et les propriétés essentielles des déchets, est basée sur l'emploi de méthodes statistiques. De ces méthodes, il ressort fréquemment que si les déchets sont fortement hétérogènes, il sont constitués de composants majeurs, de type cellulose et plastiques, dont les proportions sont les plus importantes. Ces composés majeurs et prédominants contrôlent alors les propriétés des déchets. A partir des résultats de cette caractérisation, il est possible de mettre en place un déchet modèle permettant la réalisation d'études à l'échelle du laboratoire, notamment des tests de combustion.

La connaissance du pouvoir calorifique des déchets à brûler est aussi importante dans un projet d'incinération, car ce dernier permet de juger de l'opportunité de brûler ou non les déchets considérés dans des conditions économiquement viables.

C'est dans ce contexte que vient s'inscrire cette étude qui se propose à partir de la caractérisation des ordures de la ville de Ouagadougou, de construire un modèle de la fraction combustible du déchet ménager de cette ville.

En commençant par la caractérisation faite par PROUST (2001), nous ferons ressortir les caractéristiques essentielles du déchet ménager de la ville de Ouagadougou. Ensuite nous donnerons une formule simplifiée de ce modèle de déchet. Enfin une proposition de calcul du PCI est faite.

II. RÉSULTATS

2.1. Etude de la caractérisation des déchets ménagers de Ouagadougou

Dans le cas de la ville de Ouagadougou, nous avons peu d'études de caractérisation disponibles. Nous allons nous servir des résultats de la caractérisation en saison sèche faite par PROUST (2001) et en saison humide faite par TEZANOU (2003).

De la première étude il ressort que la composition des déchets ménagers de Ouagadougou en saison sèche est la suivante, tableau I :

Tableau I : pourcentages en masse par rapport à la masse totale

| Composantes | Ville de Ouagadougou (PROUST M., 2001) | Moyenne Française (ROGAUME T., 2001) |
|---------------------|--|--------------------------------------|
| Fermentescibles | 39.50 | 28.8 |
| Papiers | 8.56 | 2.3 |
| Textiles | 5.82 | 5.7 |
| Plastiques | 9.56 | 11.1 |
| Métaux | 4.18 | 4.1 |
| Verre | 2.73 | 13.1 |
| Spéciaux | 1.59 | 0.5 |
| Composites N.C. | 4.54 | 3.2 |
| Incombustibles N.C. | 18.49 | 6.8 |
| Composites | 4.02 | 1.4 |
| Total | 100 | 100 |

L'examen de ce tableau montre que les constituants les plus importants au sein des déchets ménagers de Ouagadougou sont : les fermentescibles, les incombustibles non classés, les plastiques, les papiers et les textiles. Les autres constituants ne dépassent pas 5% de la masse totale.

Les normes environnementales de plus en plus strictes imposent un contrôle approfondi des rejets atmosphériques polluants. Une unité d'incinération des ordures ménagères doit donc autant que faire se peut, réduire au strict minimum ses rejets polluants. De ce fait elle doit :

- éviter de brûler les métaux qui se retrouveraient dans les cendres volantes,

- éviter de brûler les produits dont la combustion produit des fluides volatils très toxiques (composés de soufre et de chlore par exemple). Leur élimination des gaz est trop coûteuse et les effets dévastateurs (pluies acides).
- optimiser ses paramètres de combustion, tels que le temps de séjour, les débits d'air primaire et secondaire. L'optimisation de ces paramètres exige une bonne connaissance des propriétés physiques et chimiques du déchet à brûler,
- opérer dans des conditions économiquement viables.

Ces exigences nous amènent donc à concevoir un déchet modèle dans lequel :

- on ne brûlera pas les métaux : ils devraient être triés en amont,
- on ne brûlera que les combustibles car la présence des incombustibles (par exemple des gravats) diminuerait inutilement le rendement de combustion, et donc la rentabilité économique de l'unité d'incinération,
- on simulera la combustion des déchets en laboratoire, sur des échantillons représentatifs.

Le modèle que nous proposons ici se limitera donc à la fraction combustible du déchet ménager de la ville de Ouagadougou. Différentes analyses chimiques et physiques ont montré que les composés complexes comme les fermentescibles et les papiers ont des propriétés très proches des éléments moins complexes tels que le bois et le carton (ROBERT,1985; DUMONT et GELUS, BEAUMONT).

Pour la modélisation de la fraction combustible du déchet ménager de la ville de Ouagadougou, les hypothèses suivantes ont été réalisées :

- Les fermentescibles sont constitués de déchets de jardin, la composante dominante est le bois. On assimile donc les Fermentescibles au Bois car chimiquement leur constitution est très proche de ce dernier.
- Les papiers et les cartons sont fabriqués à partir des fibres végétales. Le carton est obtenu par agglomération des papiers (T.ROGAUME,2001) et sa constitution est similaire à celle des papiers. On assimile donc les papiers au carton.
- Les caractérisations des déchets ménagers en France montrent que les plastiques se répartissent en deux principales variantes. Le polyéthylène téréphtalate et le polyamide 6-6. Ces caractérisations montrent que le plastique est considéré comme formé à 91% de polyéthylène téréphtalate (P.E.T) et à 9% de polyamide 6-6 (P.A.).
- Les Textiles et Textiles Sanitaires sont assimilés au Carton.
- Les Spéciaux sont constitués de films plastiques et leurs polymères, on les assimile au Plastique.
- Les Combustibles non classés. On les assimilera pour moitié au Bois et pour moitié au Plastique.
- Les Composites sont constitués de mélanges de carton et de films plastiques. C'est par exemple le cas des emballages alimentaires en carton renforcées d'une couche interne en plastique. Ils sont assimilés pour moitié au Carton et pour l'autre moitié au Plastique.
- Les incombustibles sont constitués des gravats, de débris de

nettoyage des habitations (cailloux, sable, etc.). Ils ne sont pas pris en compte ici car de part leur nature incombustible, ils ne participent pas aux réactions chimiques qui ont lieu pendant l'incinération des déchets. Ce sont des débris inertes que l'on doit soit valoriser dans la construction, soit enfuir directement dans les décharges prévues à cet effet.

- les métaux et le verre ne sont pas pris en compte car ce sont des inertes.

A partir de ces hypothèses, la répartition massique suivante est obtenue :

Tableau II : assimilation des composantes pour modèle

| Composantes | Assimilation au... | | | |
|---------------------|--------------------|--------|-----------|-------|
| | Bois | Carton | Plastique | Total |
| Fermentescibles | 39.50 | --- | --- | 39.50 |
| Papiers | --- | 8.56 | --- | 8.56 |
| Textiles | --- | 5.82 | --- | 5.82 |
| Plastiques | --- | --- | 9.56 | 9.56 |
| Métaux | --- | --- | --- | 4.18 |
| Verre | --- | --- | --- | 2.73 |
| Spéciaux | --- | --- | 1.59 | 1.59 |
| Composites N.C. | --- | 2.27 | 2.27 | 4.54 |
| Incombustibles N.C. | --- | --- | --- | 18.49 |
| Composites | --- | 2.01 | 2.01 | 4.02 |
| Total | 39.5 | 18.86 | 15.43 | 100. |

Nous nous intéressons maintenant au rapport de la masse de chaque constituant combustible sur la masse totale combustible. Cela nous donne les proportions par rapport à la fraction combustible consignées dans le tableau III ci-dessous :

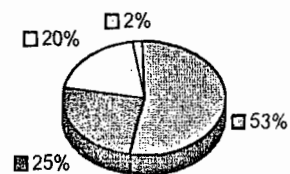
Tableau III : proportions des composants du déchet modèle

| | Bois | Carton | P.E.T. | Polyamide 6-6 | Total |
|-------------|-------|--------|--------|---------------|--------|
| Masse | 39.5 | 18.86 | 14.02 | 1.41 | 73.79 |
| Proportion | 53.53 | 25.56 | 18.999 | 1.91 | 99.999 |
| Pourcentage | 53.5% | 25.5% | 19% | 2% | 100.0% |

Par comparaison, le déchet modélisant les ordures ménagères françaises utilisé par Thomas ROGAUME (2001) est le suivant :

- Bois : 41%
- Carton : 37%
- P.E.T. : 19%
- Polyamide 6-6 : 3%

Modèle dechet ménager de Ouagadougou



■ Bois ■ Carton □ PET □ PA

Figure 2 : Proportions massiques dans le déchet ménager de Ouagadougou

2.2. Reconstitution du déchet modèle

Pour l'exploitation des résultats obtenus, nous avons constitué un échantillon de déchet modèle à partir de ses constituants. Pour le bois, nous avons utilisé du copeau trouvé chez les menuisiers de la place. Le carton est constitué de carton d'emballage non imprimé et sans colle. Il est découpé en petits rectangles de 2cm x 2cm environ. Pour le plastique, nous avons utilisé des bouteilles d'eau minérale en PET, débarrassées de leurs bouchons, parties imprimées ou ayant de la colle.

Nous avons ainsi utilisé un mélange en proportions massiques de 54% de Bois, 24% de Carton, 22% de Plastique.

Les propriétés physiques et chimiques du déchet sont déterminées par la composition des ses principaux constituants (bois, carton, plastiques). Ces derniers sont eux-mêmes constitués d'éléments chimiques. Nous allons donc déterminer la composition chimique élémentaire de la fraction combustible du déchet modèle par déduction à partir des compositions élémentaires du bois, du carton et du plastique.

2.2.1. Composition élémentaire du bois

Selon ROBERT (1985) et DUMON (1982), le bois est essentiellement composé de trois polymères : la cellulose, les hémicelluloses et la lignine, ainsi que des matières organiques, de la potasse, la silice, etc.

- La cellulose représente 40 à 50% de la composition du bois. C'est un polymère linéaire composé majoritairement de d-glucose (C₆H₁₀O₅).
- L'hémicellulose complète cette composition pour 30 à 50%. Ce sont des polymères branchés avec du d-xylose (C₅H₁₀O₅), et du d-manose (C₆H₁₂O₆).
- La lignine à raison de 24 à 30% parachève la composition du bois.

La répartition de ces différents constituants varie en fonction des différents bois et surtout de leurs essences. Le tableau suivant dû à BEAUMONT (1985) c le met en évidence.

Tableau IV : Répartition des constituants du bois selon les essences, en pourcentages massiques.

| Polymères | Feuillus | Résineux |
|-------------------|----------|----------|
| Cellulose | 40 | 40 |
| Hémicellulose | 34 | 26 |
| Lignine | 21 | 27 |
| Autres substances | 5 | 7 |

Le bois est donc essentiellement composé de structures aromatiques. Les cendres du bois sont majoritairement constituées de sels minéraux. Il se distingue par son hétérogénéité et sa complexité. Il est très riche en matières volatiles, de l'ordre de 73 à 87%. La composition pondérale du bois sec change avec l'essence, mais varie peu en fonction des parties de l'arbre comme présenté ci-dessous :

Tableau V : Composition élémentaire moyenne du bois en fonction de sa nature

| Composants | Bois tendres | | Bois durs | |
|---------------|--------------|-------|-----------|-------------|
| | Cèdre | Sapin | Hêtre | Chêne blanc |
| Carbone (C) | 48.8 | 52.3 | 51.64 | 50.44 |
| Hydrogène (H) | 6.37 | 6.3 | 6.26 | 6.59 |
| Soufre (S) | -- | -- | -- | -- |
| Oxygène (O) | 44.46 | 40.5 | 41.45 | 42.73 |
| Azote (N) | -- | 0.1 | -- | -- |
| Cendres | 0.37 | 0.8 | 0.65 | 0.24 |

On constate que les écarts de compositions sont relativement faibles entre les différents types de bois. Mais la composition élémentaire du bois varie selon les auteurs. Le tableau suivant l'illustre pour le bois de sapin.

Tableau VI : Composition pondérale moyenne du bois de sapin de deux auteurs

| Nature | DUMON (1982) | BEAUMONT (1986) |
|-----------|--------------|-----------------|
| Carbone | 49.5 | 50.9 |
| Hydrogène | 6.0 | 5.76 |
| Oxygène | 43.0 | 42.1 |
| Azote | 0.5 | 0.2 |
| Soufre | -- | 0.04 |
| Cendres | 1.0 | 1.0 |

Nous retiendrons la composition donnée par BEAUMONT.

2.2.2. Composition élémentaire du carton 6

Le carton est constitué d'environ 90% de cellulose. L'hémicellulose en forme 2%, la lignine près de 2% aussi. Les 6% restant sont constitués d'éléments minéraux divers : sels minéraux tels que la potasse dans de très faibles proportions chacun. Cette composition varie légèrement selon les différents types de carton (carton assemblé par pression, carton moulé, carton ondulé). T. ROGAUME (2001), indique que la composition centésimale moyenne observée dans la littérature est la suivante :

| | |
|-------------|-------|
| Carbone : | 43,7% |
| Hydrogène : | 5,8% |
| Oxygène : | 44,9% |
| Azote : | 0,1% |
| Soufre : | 0,2% |
| Cendres : | 5,3% |

2.2.3. Composition élémentaire du PET (T. ROGAUME, 2001)

Les plastiques se répartissent en trois familles : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères. Les thermoplastiques peuvent être mis en forme sous l'effet de la chaleur de façon réversible. Le PET constitue la majeure partie des plastiques qu'on retrouve dans les déchets ménagers (91%). Il appartient à famille des thermoplastiques. Sa composition pondérale moyenne obtenue dans la littérature est la suivante :

| | | | |
|-------------|-------|-----------|-------|
| Carbone : | 59,7% | Azote : | 0,06% |
| Hydrogène : | 14,2% | Soufre : | 0,04% |
| Oxygène : | 24,8% | Cendres : | 1,2% |

La composition élémentaire de ces trois principaux constituants des déchets ménagers est donnée ci-dessous :

Tableau VII : Analyse élémentaire des matières sèches

| Nature du combustible | C% | H% | N% | O% | S% | Cendres % |
|-----------------------|-------|------|------|-------|------|-----------|
| Bois | 50.9 | 5.76 | 0.2 | 42.1 | 0.04 | 1 |
| Carton | 43.73 | 5.7 | 0.09 | 44.93 | 0.21 | 5.34 |
| Plastique (P.E.T.) | 59.7 | 14.2 | 0.06 | 24.8 | 0.04 | 1.2 |

Le tableau VIII ci-dessous tiré des travaux de ZOU et al. (1990, 1992, présente les résultats d'analyse des différents combustibles et autres caractéristiques thermiques physiques :

Tableau VIII : Composition globale des différents combustibles et pouvoir calorifique inférieur

| Nature du combustible | C fixe % | Matières volatiles % | PCI (kJ/kg) |
|-----------------------|----------|----------------------|-------------|
| Bois | 18 | 81 | 18900 |
| Carton | 12.94 | 81.74 | 17100 |
| Plastique (P.E.T.) | 0.07 | 98.74 | 41380 |

2.3. Formule brute approchée de la fraction combustible du déchet modèle de la ville de Ouagadougou

Les différents constituants du déchet modèle que sont le bois, le carton et le plastique sont essentiellement composés d'atomes de carbone, d'azote, d'hydrogène et d'oxygène. Nous allons établir une formule brute approchée de ce déchet modèle en négligeant les cendres. En effet bien que les cendres représentent jusqu'à 5.34% dans le carton, elles ne seront pas prises en compte puisqu'il s'agit d'un mélange demandant une analyse. Pour bien faire, il aurait fallu effectuer une analyse chimique élémentaire de la fraction combustible du déchet ménager de Ouagadougou. Mais le LPCE n'est pas encore équipé pour de telles analyses, la formule proposée sera donc provisoire et approximative. Elle devra être affinée plus tard lorsque les moyens expérimentaux mis à disposition le permettront.

Nous allons prendre les résultats de l'analyse élémentaire de ROGAUME T. et al. (2001, 2002). On se résume donc au tableau suivant des principaux constituants atomiques simples du déchet modèle :

Tableau IX : Constituants significatifs détaillés du déchet modèle

| Nature du combustible | C% | H% | N% | O% | S% |
|-----------------------|-------|------|------|-------|------|
| Bois | 50.9 | 5.76 | 0.2 | 42.1 | 0.04 |
| Carton | 43.73 | 5.7 | 0.09 | 44.93 | 0.21 |
| Plastique (P.E.T.) | 59.7 | 14.2 | 0.06 | 24.8 | 0.04 |
| Masse atomique | 12 | 1 | 14 | 16 | 32 |

On trouve donc dans le mélange :

Dans le déchet ménager de la ville de Ouagadougou, on trouve : 53,5% de bois, 25,5% de carton et 21% de plastique, on a donc :

Tableau X : Nombre de moles d'atomes des constituants du déchet modèle

| | Carbone | Hydrogène | Azote | Oxygène | Soufre |
|-----------------|---------|-----------|---------|---------|---------|
| Bois (53,5%) | 2,26929 | 3,08160 | 0,00764 | 1,40772 | 0,00067 |
| Carton (25,5%) | 0,92926 | 0,12113 | 0,00191 | 0,95476 | 0,00446 |
| Plastique (21%) | 1,04475 | 2,96520 | 0,00090 | 0,32550 | 0,00026 |
| Total de moles | 4,24330 | 6,16793 | 0,01046 | 2,68798 | 0,00539 |

D'où la formule « brute » de la fraction combustible du déchet ménager de Ouagadougou :
 $C_{4,24} H_{6,16} O_{2,69} N_{0,01} S_{0,005}$

Mesure du pouvoir calorifique inférieur (PCI)

La connaissance du pouvoir calorifique inférieur d'un déchet est importante car elle détermine l'incinérabilité de ce dernier. Nous avons donc évalué le PCI du modèle de la fraction combustible du déchet ménager de Ouagadougou.

2.3.1 Le dispositif de mesure du PCI

Le pouvoir calorifique inférieur est la quantité de chaleur minimale que dégage la combustion complète d'une unité de masse d'un combustible. Notre laboratoire est équipé d'un dispositif de mesure du PCI mis au point par le Laboratoire de Combustion et de Détonique (L.C.D.) de l'Université de Poitiers, France. Son élément principal est une chaudière construite par la société EQUADOR, dont nous reproduisons le schéma ci-dessous.

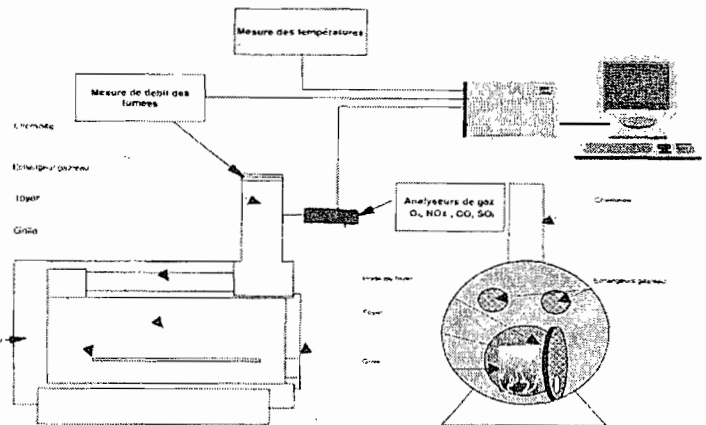


Figure 3 : Dispositif de mesure du PCI

Lorsqu'on brûle un déchet, l'énergie produite arrive sur un échangeur de chaleur situé au dessus du foyer du dispositif (figure 3). Dans le circuit échangeur de chaleur gaz/ eau, circule en circuit fermé une quantité d'eau déterminée. La circulation de l'eau est assurée par une pompe intercalée dans le circuit de l'eau. Cette eau peut être renouvelée par vidange ; en ouvrant les « robinet 2, 3 et 4 » (figure 4) et le remplissage réalisé en ouvrant le « robinet 1 » approvisionné

par le réseau public de distribution de l'eau et en fermant les « robinet 3 et 4 ». En fonctionnement normal, les « robinets 1 et 3 » sont fermés et les « robinet 2 et 4 » sont ouverts (cf. figure 4).

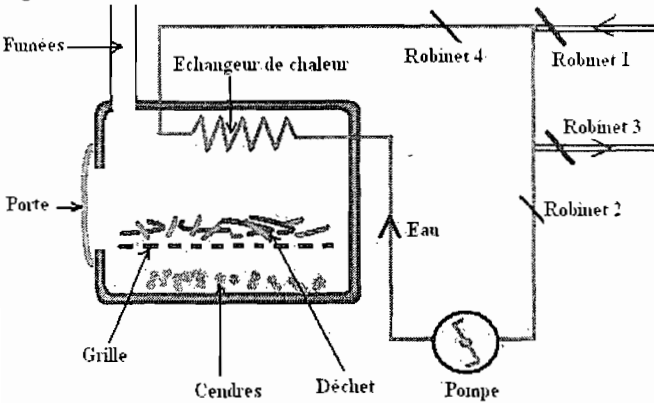


Figure 4 : Circuit échangeur de chaleur du dispositif de mesure du PCI

La combustion d'une masse m_d du déchet produit une énergie Q qui se répartie entre :

- L'eau circulant dans l'échangeur qui emmagasine l'énergie Q_1 .
- Les fumées qui emportent l'énergie Q_2 .
- La porte qui évacue une énergie Q_3 vers le milieu extérieur.
- Les cendres qui accumulent une énergie Q_4 .

Le bilan d'énergie du dispositif est donc : $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$.

D'après ZHOU 11 ,pour des températures de combustion dans le foyer de l'ordre de 700°C à 900°C , les fumées peuvent encore atteindre les températures supérieures à 200°C , on définit ainsi la quantité de chaleur Q_2 correspondant à la chaleur sensible des fumées :

$$Q_2 = \int_0^{t_{\max}} C_g(t) V(t) T_F(t) dt$$

La construction de la chaudière est telle que Q_3 et Q_4 sont très négligeables devant Q_1 .

Connaissant la température de l'eau après la combustion du déchet, on détermine son PCI :

$$PCI \approx \frac{1}{m_d} (Q_1 + Q_2) = \left[\frac{m_e C_p (T_f - T_e)}{m_d} + \int_0^{t_{\max}} C_g(t) V_F(t) T_F(t) dt \right]$$

- m_e : masse de l'eau dans le circuit.
- C_p : pouvoir calorifique de l'eau à pression constante.
- T_f : température finale de l'eau.
- T_e : température initiale de l'eau.
- t_{\max} : température maximale des fumées à la sortie.
- $C_p(t)$: pouvoir calorifique des gaz à pression constante.
- $V_F(t)$: débit volumique des fumées.
- $T_F(t)$: température des fumées.

2.3.2. Résultats obtenus

Nous avons effectué deux mesures du PCI du déchet modèle. D'autres mesures d'essai faites avec le bois avaient pour but une estimation grossière. La très faible masse de bois utilisé ne justifie pas

Pour chaque mesure, nous avons procédé comme suit :

- Mesure de la masse de l'échantillon
- Lancement de l'acquisition sur le PC
- Réglage du débit d'air
- Allumage du combustible et fermeture de la porte.
- Attente de la stabilisation des températures de l'eau. L'expérience est terminée quand la température de l'eau est proche de celle des fumées.

Nous avons obtenu :

Premier essai :

$$PCI1A = 19,621.106 \text{ J.kg}^{-1}$$

$$PCI1B = 19,237.106 \text{ J.kg}^{-1}$$

Le premier indice se rapporte à l'essai. Le deuxième se rapporte aux thermocouples A et B mesurant la température de l'eau en deux points diamétralement opposés du circuit de l'eau.

Deuxième essai :

$$PCI2A = 11,166.106 \text{ J.kg}^{-1}$$

$$PCI2B = 11,113.106 \text{ J.kg}^{-1}$$

Le PCI moyen que nous avons trouvé pour le déchet modèle de la ville de Ouagadougou est donc :

$$PCI \text{ déchet} = 15\,284 \pm 4\,337 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Avec, dans tous les cas : $X = X_{\text{moyen}} \pm \Delta X$ avec $\Delta X = \max |X_{\text{moyen}} - X_i|$, $i=1,2$.

Nous n'avons pas pris en compte le deuxième terme de notre formule de calcul du PCI, ceci par manque de débitmètre au moment de nos expériences. Le PCI proposé n'est donc qu'une estimation.

Les PCI du bois, du carton et du plastique respectivement que nous avons trouvé dans la littérature sont de l'ordre de 18 900, 17 100 et 41 380 KJ.kg-1. La comparaison de ces chiffres avec le PCI du déchet modèle estimé montre que ce dernier est dans tous les cas plus petit. Cela s'explique par le fait que notre estimation n'a pas pris en compte le deuxième terme de la formule de calcul du PCI. En effet ce deuxième terme représente les pertes de chaleur dues aux fumées, car la température d'évacuation des fumées est non négligeable.

CONCLUSION

Le modèle proposé ne tient compte que de la fraction combustible du déchet ménager. Cette limitation se justifie par le fait qu'il serait inconséquent de brûler les métaux : ils se retrouveront dans l'atmosphère et/ou les mâchefers. Le verre

et les combustibles non classés comportant par exemple des gravats n'ont pas vraiment besoin d'être brûlés. On doit les séparer en les triant en amont et n'incinérer que ce qu'il faut. Toutefois, on ne pourrait éviter certains combustibles non classés dans la combustion du déchet réel. Ils devront donc être pris en compte afin de valider un modèle de la combustion du déchet ménager de la ville de Ouagadougou. Cela reviendra à résoudre les problèmes dus aux mâchefers que produira cette combustion du déchet réel. Il serait souhaitable que cette formule brute du déchet modèle de Ouagadougou soit déduite des analyses chimiques faites au sein même du LPCE, lorsque cela sera possible.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDZI BARHE T.**, « Etude expérimentale et numérique des paramètres opératoires sur les mécanismes de formation des oxydes d'azote lors de la combustion de mélanges de matériaux cellulosiques et plastiques », thèse de doctorat de l'Université de Poitiers. Octobre 2004.
- BEAUMONT O.**, « La combustion du bois », Biomasse actualité n° 17, mars 1985.
- DUMON R. et GELUS M.**, « Valorisation chimique du bois », cha III : « Préparation chimique du bois de feu », Edition Masson, 1982. Pp 8-9,11.
- MAES M.**, « Option déchets », Editions JOHANET, 1992.
- PROUST M.**, « Caractérisation des déchets ménagers de la ville de Ouagadougou ». LPCE, Université de Ouagadougou, avril 2001.
- PANTALONI J. et TADRIST L.**, « Etat de l'art sur les techniques de l'incinération des déchets ». Organisé par les clubs CRIN, mars 1996.
- Rapport d'information n° 098-415 du sénat français.**
- ROBERT P.**, « De la forêt aux chaufferies à bois à alimentation automatique », 1985, p.9.
- ROGAUME Th.**, « Caractérisation expérimentale et modélisation de l'émission de polluants lors de l'incinération des déchets ménagers », Thèse de doctorat de l'Université de Poitiers, 2001.
- ZHOU X.**, « Contribution à l'étude de l'incinération des déchets urbains : expérimentation en réacteur en lit fixe à contre-courant, approche théorique du déplacement du front d'inflammation » Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers, 1994, page 33.
- ROGAUME T., AUZANNEAU M., JABOUILLE F., GOUDEAU J.C., TORERO J.L.**, « The effects of different airflows on the formation of the pollutants during waste incineration », FUEL, Vol. 81, pp 2277-2288, 2002.

