

CULTURES ENERGETIQUES et COMBUSTION

Vendredi 11 décembre 2009

AGRO SUP Dijon

- Mieux connaître les biocombustibles
- La combustion de la biomasse
- Les spécificités liées à la combustion de la biomasse agricole
- Combustion et rejets polluants
- Conclusion

La composition des biocombustibles

- Equation de la photosynthèse :



- Un peu plus complexe ... car il faut aussi :
 - ✓ N, P, K, Ca, S, Mg, Cl
 - ✓ Éléments minéraux, dont oligoéléments : Mn, Cu, Al, Cr, Zn, Ni, Cd, Hg,...

La composition des biocombustibles

● La fraction organique :

➤ Résines, tanins, polymères (cellulose, hémicellulose, lignine, ...)

➤ Composition (en % du poids anhydre) :

C	H	O	N
45 à 51	6	43 à 44	0,2 à 1

➤ Présence d'oxygène / eau

➤ Soufre et chlore en présence + ou - importante

● La fraction minérale (=les cendres) :

➤ Entre 0,5 et 20 % de la masse anhydre

➤ Des éléments fertilisants majeurs : CaO , K_2O , MgO , P_2O_5

➤ Des éléments traces métalliques : Fe, Mn, Cu, Al, Cr, Zn, Ni, ...

➤ Présence de silice (SiO_2)

Quelques exemples (relevés dans la littérature ...)

Composition chimique élémentaire (en % massiques)

	C	H	O	N	Cl
Hêtre	49,7	6,1	43,8	0,4	0,01
Epicéa	51,1	5,7	43,1	0,1	0,01
Ecorces chêne	50,4	5,6	42,8	0,5	0,02
Paille de blé	45,7	5,7	41,2	0,6	0,21
Paille d'orge	44,7	5,9	44,7	0,6	0,25
Blé (grain)	45,8	5,1	48,3	0,3	0,43
Miscanthus	49,0	6,0	43,8	0,6	0,15
Switchgrass	48,7	6,0	42,3	0,7	0,01
Sorgho	47,3	5,8	46,1	0,4	0,30

Quelques exemples (relevés dans la littérature ...)

Taux de cendres (en % massique)

	cendres
Hêtre	1,01
Epicéa	0,77
Ecorces chêne	3,30
Paille de blé	6,40
Paille d'orge	7,65
Blé (grain)	7,27
Miscanthus	1,10
Switchgrass	4,81
Sorgho	4,74

Quelques éléments techniques

- ◆ P.C.I. : pouvoir calorifique inférieur = quantité de chaleur dégagée par la combustion complète de 1 kg de combustible
- ◆ Le P.C.I. s'exprime en kJ / kg, kcal / kg, kWh / kg
- ◆ Le pouvoir calorifique dépend :
 - du taux d'humidité du produit
 - de sa composition chimique, en particulier la teneur en C et H

Quelques valeurs de PCI (relevées dans la littérature)

Produit	Humidité en %	PCI en kWh /kg
Paille « jaune »	15	4,0
Paille « grise »	15	4,2
Granulés de bois	9	4,5
Ecorces de résineux	50	2,1
Miscanthus	10	4,4
Switchgrass	10	4,3
Céréales (B,O,S)	15	4,2
Avoine	15	4,5
Sarments de vignes	30	2,9
Pépins de raisins	15	4,7

La composition des biocombustibles

Plusieurs facteurs ont un impact sur la plante
et sa composition :

● Liés à la plante et son milieu :

- ✓ Espèce (variété ?) : ex des crucifères
- ✓ Caractéristiques du sol (ex du Mn en Morvan)
- ✓ Maturité de la plante (migration d'éléments)
- ✓ Partie de la plante : tige, feuille, graine.
- ✓ ...

● Liés à des facteurs externes :

- ✓ Modalités de récolte et de conservation (Exemple de la paille)
- ✓ Pollutions atmosphériques
- ✓ Résidus de produits de traitement
- ✓ ...

La combustion de la biomasse

- Equation de la combustion :



- La combustion parfaite n'existe pas ...

- Exemple du méthane :

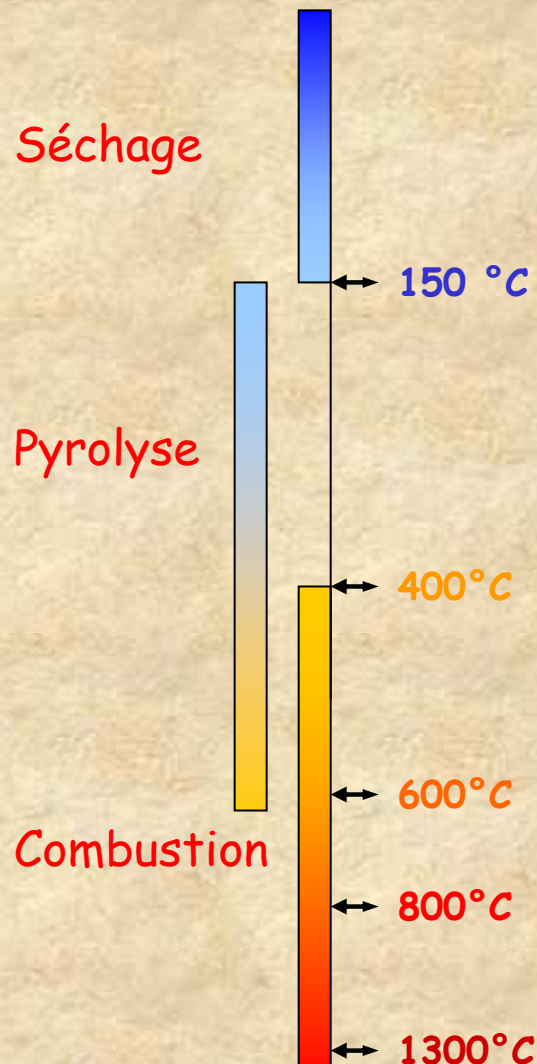


- Pour la biomasse ... c'est plus complexe :

- ✓ Combustible solide
- ✓ Présence d'eau
- ✓ Il n'y a pas que C et H ...
- ✓ Présence des éléments minéraux

La combustion de la biomasse

Elle se déroule en 3 phases :



✓ Séchage par évaporation de l'eau contenue dans le produit

✓ Gazéification de +/- 80% de la masse par craquage des molécules complexes en gaz simples (H_2 , CO , CH_4 , ...), produisant un résidu solide : le charbon

✓ Oxydation des gaz de pyrolyse et du charbon résiduel grâce à l'oxygène de l'air comburant, conduisant à la production de CO_2 , H_2O et un résidu solide : les cendres (1 à 7 %)

Les conditions d'une bonne combustion

La combustion de la biomasse est complexe et nécessite :

- Des températures de foyer suffisantes (+ou - 800 °C)
- Un apport d'oxygène en quantité suffisante
- Des turbulences dans le foyer
- Un temps de séjour des gaz suffisant dans le foyer (+ ou - 1,5 sec)

pour obtenir une oxydation complète des gaz et du résidu carbonneux

Les conséquences d'une mauvaise combustion

Si la combustion est incomplète ou mal maîtrisée :

- On génère des imbrûlés :
 - ✓ Gazeux dont les principaux sont : CO , COV , HAP , ...
 - ✓ Solides : particules sur lesquelles peuvent être condensés des HAP
- Des cendres où subsiste du carbone non oxydé
- Le rendement de l'appareil est affecté

Les spécificités de la biomasse agricole

(par rapport à la biomasse forestière)

Deux types de problème ont été identifiés :

● Des problèmes d'ordre technique liés :

- ✓ À la présence de S et de Cl, susceptibles de générer des acides qui peuvent avoir un impact sur la durée de vie des équipements
- ✓ À la présence d'éléments minéraux (SiO_2 notamment) qui ont un impact sur la température de fusion des cendres et la formation de mâchefers

(-> cf les réponses des fabricants ou des prescriptions d'installation)

● Des problèmes liés à la qualité des rejets gazeux

Combustion et rejets polluants

- Il existe un certain nombre de normes et réglementations en matière de combustion de la biomasse ... qui sont appelées à évoluer dans les prochaines années
- La combustion du bois, en particulier dans le secteur du chauffage domestique, est montrée du doigt en matière d'émissions polluantes :
 - ✓ CO, COV
 - ✓ Particules
 - ✓ HAP, dioxines
- Peu d'études ou de références existent en France sur le sujet de la qualité de l'air et la combustion d'autres biomasses.
- L'ADEME a lancé un certain nombre de travaux sur ce thème en partenariat avec d'autres organismes : recherche bibliographique européenne, campagnes de mesures, expertise, ...

Combustion et rejets polluants

- En 2007, l'ADEME a lancé une campagne de mesures sur 9 chaufferies de moyenne et forte puissance, dont une chaufferie utilisant de la paille.
- Une analyse des rejets a été réalisée :
 - ✓ Poussières, CO, NOx, SO2
 - ✓ COV, HAP, dioxines
 - ✓ Métaux lourds
- Une comparaison a été effectuée avec les valeurs figurant dans différentes réglementations concernant la combustion
 - ✓ Combustion de biomasse entre 2 et 20 MW
 - ✓ Combustion de biomasse > à 20 MW
 - ✓ Incinération d'ordures ménagères

Chaufferie paille

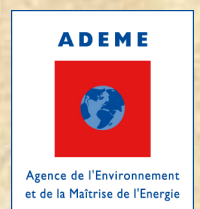


Chaufferie
4500 kW

Photos :
ADEME

10/12/2009

Michel AZIERE



Principaux résultats

● Pour la combustion de paille :

- ✓ On respecte l'ensemble des valeurs limites des réglementations considérées
- ✓ Pour certains polluants, les résultats sont très inférieurs (entre 7 et 500 fois moins que les valeurs limites) : COV, HAP, dioxines, ETM, poussières,
- ✓ Pour les polluants classiques, les résultats sont inférieurs (entre 1,3 et 2,6 fois moins que les valeurs limites) : NOx, CO, SO2
- ✓ Un renforcement de la réglementation pourrait conduire à un dépassement des valeurs limites,
- ✓ Des améliorations sont possibles par des réglages ou des équipements spécifiques
- ✓ SO2 / NOx ?...

CONCLUSION

- On manque en France de retour d'expérience sur la combustion de biomasse autre que le bois ...
 - ✓ d'un point de vue strictement technique
 - ✓ d'un point de vue environnemental : rejets, énergie « grise »,
- Pour ce qui concerne les rejets gazeux, si on admet que l'on peut établir un parallèle entre cultures énergétiques et paille, les résultats sur **installations de forte puissance** sont **encourageants**
 - ✓ (cf essai de combustion de switchgrass)
- Comme pour le bois, il est **impératif** de veiller aux bonnes règles :
 - ✓ de conception : dimensionnement par rapport aux besoins, ...
 - ✓ d'exploitation : respect du cahier des charges combustible, réglages, ...
- Pour les installations de petite puissance, la prudence reste d'actualité