



RE.CO.R.D.

ETUDE N° 00-0219/1A

SYNTHESE DE L'ETUDE

FRANÇAIS / ANGLAIS

**COMBUSTION DE MELANGES : COMBUSTIBLES CLASSIQUES-
BIOMASSE. ÉTUDE DES MODIFICATIONS INDUITES AU NIVEAU DE
LA COMPOSITION DES FUMÉES ET DES CENDRES**

septembre 2001

J.-C. GOUDEAU - Laboratoire de Combustion et de Détonique ENSMA POITIERS

A l'aube du 3^{ème} millénaire, le débat sur les énergies renouvelables longtemps négligées en France redevient d'actualité. Les nombreuses catastrophes climatiques de ces dernières années relancent les craintes de réchauffement de la planète sous l'influence des gaz à effet de serre. De plus, le prix du pétrole brut subit à nouveau d'importantes fluctuations après une décennie de stabilité. Enfin, plusieurs pays industrialisés affirment leur volonté de diversifier leurs sources d'approvisionnement d'énergie et de ne plus tout axer sur la seule énergie nucléaire. Dans ce contexte, la question de l'utilisation des énergies renouvelables comme alternative crédible aux énergies fossile et nucléaire se pose.

La biomasse est une réalité quantitative de la biosphère. Les bioénergies d'origine agricole et forestière issues des ressources naturelles renouvelables représentent 3 % du bilan énergétique de l'Union Européenne. En ce qui concerne la France, 5 % de sa consommation annuelle d'énergie, soit 10 millions de tonnes équivalent pétrole, sont issus de ce type d'énergie [ADEME, 1998].

Les procédés de valorisation de la biomasse sont multiples. Ils vont de l'épandage à la gazéification en passant par l'incinération et la liquéfaction. Nous nous limitons ici à la seule valorisation énergétique par incinération. L'usage de la biomasse en substitution aux combustibles fossiles ou encore en mélange avec ceux-ci dans des installations de combustion permettrait de produire de l'énergie neutre en terme d'émissions de CO₂. Elle peut aussi constituer un moyen de réduire la pollution de l'air, des eaux et des sols et d'améliorer la gestion des effluents d'élevage.

L'objectif général de cette étude à caractère bibliographique est d'identifier les conséquences de la combustion de combustibles classiques en mélange avec de la biomasse sur la composition des effluents gazeux ou solides qui en sont issus. Cette identification est faite par l'examen des travaux expérimentaux réalisés à différentes échelles (installations industrielles, pilotes semi-industriels et pilotes de laboratoire). L'analyse de ces travaux permet de répertorier les effets dus aux différents types de biomasse, aux technologies utilisées ainsi qu'à la variation des paramètres opératoires. Enfin, une réflexion sur les mécanismes de réduction des émissions polluantes est menée afin de dégager les avantages et les inconvénients de cette cocombustion.

La valorisation énergétique de la biomasse par la combustion a bénéficié du développement de la chaîne de traitement thermique des déchets. Cette chaîne de traitement est composée de cinq éléments principaux :

- le système d'alimentation de l'équipement de combustion,
- l'équipement de combustion (les différents types de four)
- un éventuel système de récupération d'énergie,
- un dispositif d'analyse et de traitement des fumées,
- un espace de stockage des résidus solides après stabilisation.

Les formes et caractéristiques variables des solides à brûler requièrent des dispositifs de combustion différents. Les technologies les plus utilisées sont les fours à grilles, les fours à lit fluidisé et les fours rotatifs.

Nous ajouterons à cette liste les fours à charbon pulvérisé qui sont très utilisés dans les essais de cocombustion décrits dans la littérature.

La valorisation énergétique de la biomasse par la combustion est une technique couramment utilisée. La qualité de la combustion (faisabilité technique, coût financier, rendement thermique, taux de pollution) dépend de la composition des biomasses, de la technologie utilisée et du mode opératoire impliqué.

Certaines propriétés physico-chimiques de la biomasse (faible masse volumique, taux d'humidité élevé, richesse en espèces volatiles, fusibilité des cendres à basse température) rendent sa combustion moins facile que celle des combustibles fossiles.

Deux technologies sont couramment utilisées pour la combustion de la biomasse : le four à grilles et les fours à lit fluidisé.

Le four à grilles est préconisé pour des petites unités. Il permet de réaliser la combustion de combustibles hétérogènes, de taille variable et à forte humidité. L'alimentation du four en mode continu est celle qui donne de meilleurs résultats en terme de rendement de combustion et de faible pollution. Toutefois, cette technologie nécessite l'adjonction d'équipements supplémentaires pour la réduction des NOx.

Les fours à lit fluidisé sont utilisés dans les grandes installations de production d'énergie. Le principe de ces fours (brûler le combustible solide dans un lit de matériau inerte, souvent du sable, mis en suspension par injection d'air à sa base) permet un meilleur transfert de chaleur entre matériau inerte et combustible et donc un meilleur contrôle de la combustion. Cependant, ce résultat ne peut être obtenu que si la biomasse et le matériau inerte ont une granulométrie assez proche. Cette condition n'est pas toujours remplie. De ce fait on observe

très souvent une séparation entre biomasse et sable qui se traduit par un fort taux d'imbrûlés dans les cendres et dans les fumées.

Les cendres de la biomasse sont riches en sels divers et notamment en sels alcalins. Lors de la combustion, ces sels réagissent avec la silice (principale composante du sable) pour former une entité dont le point de fusion est à peu près de 800 °C, température de combustion de la biomasse. Cette fusibilité des cendres entraîne le frittage du lit fluidisé de même qu'elle provoque l'encrassement des parois internes du four et le risque de corrosion.

Cette difficulté peut être résolue par l'utilisation de l'oxyde ferreux à la place du sable. Cependant, cette solution a l'inconvénient d'être plus onéreuse et donc moins intéressante sur le plan industriel.

L'ensemble des travaux de cocombustion mentionnés dans la littérature fait ressortir un certain nombre de caractéristiques communes. Le degré d'efficacité de la cocombustion dépend très souvent de la possibilité de mélanger le charbon et la biomasse. En effet les différences de granulométrie et de densité entre ces deux combustibles se font plus ou moins ressentir selon la technologie de combustion utilisée. Si dans l'ensemble, la combustion du mélange est améliorée par un fin broyage des combustibles, la différence de taille des particules pose moins de difficultés dans le four à grilles que dans les fours à charbon pulvérisé ou à lit fluidisé. Dans le four à charbon pulvérisé, la proportion de biomasse dans le mélange dépend essentiellement de la possibilité de broyer plus ou moins finement cette biomasse. Notons que peu d'études font état de la taille idéale des particules de biomasse. Divers auteurs mentionnent la nécessité de travaux sur ce paramètre.

Le mélange charbon – biomasse permet de réduire les émissions de NOx et de SOx. Cette réduction qui est en moyenne de 20 % est encore plus efficace si la combustion est étagée c'est à dire si le comburant est introduit de façon fractionnée dans la chambre de combustion. Les résultats sont encore meilleurs lorsque la biomasse ou les gaz issus de sa pyrolyse sont utilisés comme combustible de reburning. Toutefois, il faut toujours trouver un compromis entre le rendement de combustion et la réduction des oxydes d'azote. En effet la réduction des NOx s'améliore avec l'augmentation de la proportion de biomasse dans le mélange. Dans le même temps, les essais montrent qu'au delà d'un certain taux de biomasse dans le mélange, la combustion est rendue difficile ou alors elle se fait avec une diminution du rendement thermique et le rejet de beaucoup d'imbrûlés.

Ici aussi comme en monocombustion, la richesse des cendres en sels alcalins (Na₂O, K₂O) et en chlore entraîne des problèmes de frittage du lit fluidisé et d'encrassement des parois internes du four pouvant conduire à la corrosion.

La biomasse est une réalité quantitative de la biosphère dont l'exploitation au plan économique ne saurait se limiter aux productions alimentaires, pour la biomasse agricole, et pour la biomasse forestière, aux productions de bois d'œuvre, de matières industrielles et de combustible domestique. Le contexte énergétique et écologique international permet aujourd'hui de voir en la biomasse végétale une source de biocombustible renouvelable et donc l'impact sur l'effet de serre est quasi-nul.

Cette étude bibliographique sur la cocombustion biomasse – combustible fossile montre la nécessité d'études supplémentaires pouvant permettre une meilleure valorisation des gisements de biomasse non encore exploités. Les essais décrits à ce jour ont été menés soit sur des grandes installations peu adaptées, soit sur des pilotes de laboratoire trop petits pour permettre une extrapolation au niveau industriel. La solution aux problèmes de conditionnement du mélange, de différence de granulométrie et d'alimentation des fours de combustion viendrait probablement d'essais réalisés sur des pilotes semi-industriels initialement conçus pour la cocombustion. Ces installations pourraient également permettre de réaliser la combustion de la biomasse avec d'autres combustibles fossiles que le charbon, notamment les gaz et les fuels.

At the beginning of the third millenium, discussions about renewable energy are hot issues. For the last decade, numerous natural hazards have fed the fear about greenhouse gazes effect. Moreover, oil price dramatically increases again after having stabilized during the last years. Last, industrialized countries would like to stop their nuclear program and diversify their sources of energy. In this context, renewable energy seems to be trust worthy alternative.

Biomass holds a good place between the different renewable energy sources. It represents a clean energy source that could become an alternative to the traditional energy fuels. It is estimated that in all its forms, biomass currently provides about 3 % of the European Union annual energy consumption. In France 5% of the energy consumption (10 millions T.E.P.) come from biomass.

There is a lot of valorization processes of biomass (spreading, gasification, combustion). In this paper, we focus on combustion processes. The aim of this paper is to make a state of the art on the cocombustion of biomass with fossil fuels (coal, oil and gas). To do this, we examine the experimental studies made at different scale (industrial full scale, pilot-scale and laboratory scale). The analysis of these studies permits to index the effect due to the different biomass, the technology used and the operating conditions.

Heat recovery from biomass benefits of the development of the thermal treatment of wastes. For information, waste incineration includes fives steps:

- a feeding system of the furnace,
- the furnace,
- a heat recovery system,
- apparatus for the analysis of the gas of combustion,
- a space for the storage of solid residue.

Technologies used for combustion of solid fuels are grate fire furnace, fluidized bed furnace, rotative furnace and pulverized coal furnace. Heat recovery from biomass by combustion is currently used.

Some physical and chemical properties of agricultural residue (that represents a large part of biomass fuels) make it difficult to burn correctly: high moisture content, low bulk density, low melting point of ashes and high volatile matter content.

Two kinds of furnaces are currently used for the combustion of biomass: grate fire furnace and fluidized bed furnace. The first is used in small-scale devices. It allows the combustion of heterogeneous and wet wastes. But this technology requires special equipment for the reduction of NO_x and SO_x. Fluidized bed furnaces are used in large scale power plants. The principle of this furnace is to burn the fuel in an inert material (silica sand) in suspension by injection of air. With this technology, transfer of heat between inert material and fuel is optimal and the combustion temperature is homogeneous. But this good combustion condition is possible if biomass and inert material have nearly the same particle size. This condition is difficult to reach with biomass.

For most of the biomass, the ash formed during combustion has a low melting point: this is mainly due to the presence of sodium or potassium oxides. The high content of these compounds leads to problems like bed agglomeration, slagging on furnace walls or super heater tubes and fouling of heat transfer. In order to solve this problem, experiments with different inert bed materials have been realized. Ferric oxide was the only tested material that could successfully be used instead of silica sand. But this solution is not economically interesting for industrials.

Most of information about cocombustion of biomass and fossil fuels found in literature deal essentially with the cocombustion of biomass with coal. The experiments have some common characteristics. The efficiency of cocombustion depends on the possibility of blending biomass with coal. These two fuels have not the same particle size. Generally, combustion of this mixture is better when biomass and coal are finely milled. But this operative condition is not always possible, particularly in pulverized coal furnace. Cocombustion of coal and biomass blend permits the reduction of NO_x and SO₂ emissions by 20 % (average). The reduction of this pollutants amounts increases with the proportion of biomass in the mixture (in some limits). The reduction results are better in staged combustion and when biomass (wood especially) is used as reburning fuel.

As in combustion of biomass, the high content of sodium and potassium oxides in biomass ashes leads to bed agglomeration, slagging on furnace walls or super heater tubes and fouling of heat transfer.

The international energetic and ecological context nowadays allows to see in biomass a renewable bio-fuels source whose exploitation has very few influence in greenhouse effect, compared to classic fossils fuels.

This bibliographical study about cocombustion of biomass with coal shows how necessary more experiments would enable a better valorization of non exploited biomass. Experiments

described up to now were led on non adapted large scale facilities or in laboratories scale, not large enough to be reliably extrapolated to industrial scale. Solution to processing and blending problems is likely to come from semi industrial prototype initially designed for cocombustion. These facilities would allow to enhance the cocombustion of biomass with other fossils fuels, namely natural gas and oil.