



Production de chaleur par combustion de la biomasse

La combustion en chaudière permet la production de chaleur transférée à un fluide caloporteur. Cette chaleur peut ensuite être valorisée en énergie thermique dans les procédés de transformation (séchage, trituration,...) ou servir à produire de l'énergie mécanique, ou de l'électricité (cf. « Production de force motrice ou d'électricité par cycle vapeur à partir de biomasse »).

Principe

La combustion consiste en l'oxydation complète d'un combustible (charbon, coke, bois, résidus agricoles ...) en présence d'un excès d'air. On obtient un gaz composé de dioxyde de carbone et d'eau. Cette réaction s'accompagne d'un fort dégagement de chaleur.

Lors de la montée en température, la biomasse subit d'abord un séchage puis une pyrolyse, entre 300 et 800°C.

Les matières volatiles issues de la pyrolyse sont ensuite oxydées par l'air (réaction homogène en phase gaz).

L'oxydation produit de la chaleur et la température est de l'ordre de 1300°C. Le résidu carboné est à son tour oxydé, soit par l'oxygène, soit par les produits de combustion, à une température de l'ordre de 1000°C. Ces réactions se font de façon plus ou moins simultanée selon la granulométrie de la biomasse et le type de procédé employé.

Outre les composés majoritaires (CO₂ et H₂O) les gaz de réaction contiennent également d'autres composés en teneur variable selon la qualité de la combustion. Il s'agit de CO (mauvaise combustion), NO_x (produits par oxydation de l'azote contenu dans

la biomasse, SO₂ (oxydation du soufre contenu dans la biomasse) HAP (composés polycycliques aromatiques appelés aussi goudrons présents en trace et dus à une mauvaise combustion) et N₂ (azote de l'air de combustion).

D'autres sous produits sont également formés : des poussières (particules de charbon de faible taille entraînées par le courant gazeux) et les cendres (composés inorganiques présents dans la biomasse initiales).

L'objectif est de récupérer l'énergie dégagée par la réaction et donc d'obtenir les meilleurs rendements de conversion de la biomasse. L'enthalpie de cette réaction est de 32 MJ/kg, ce qui signifie que 1 kg de biomasse (qui contient environ 50% de carbone) dégage potentiellement par combustion environ 4,4 kWh d'énergie sous forme de chaleur. La chaleur est récupérée dans un échangeur pour la production de vapeur sous pression ou d'un autre fluide caloporteur (eau chaude, eau surchauffée, air chaud ou huile). Elle peut être utilisée soit directement (application domestiques ou industrielles avec des puissances allant de 500 kW à plusieurs centaines de MW), soit se combiner à la production d'électricité via une turbine ou un moteur à vapeur (se reporter à la fiche sur la production d'électricité à partir de vapeur). On parle alors de cogénération.

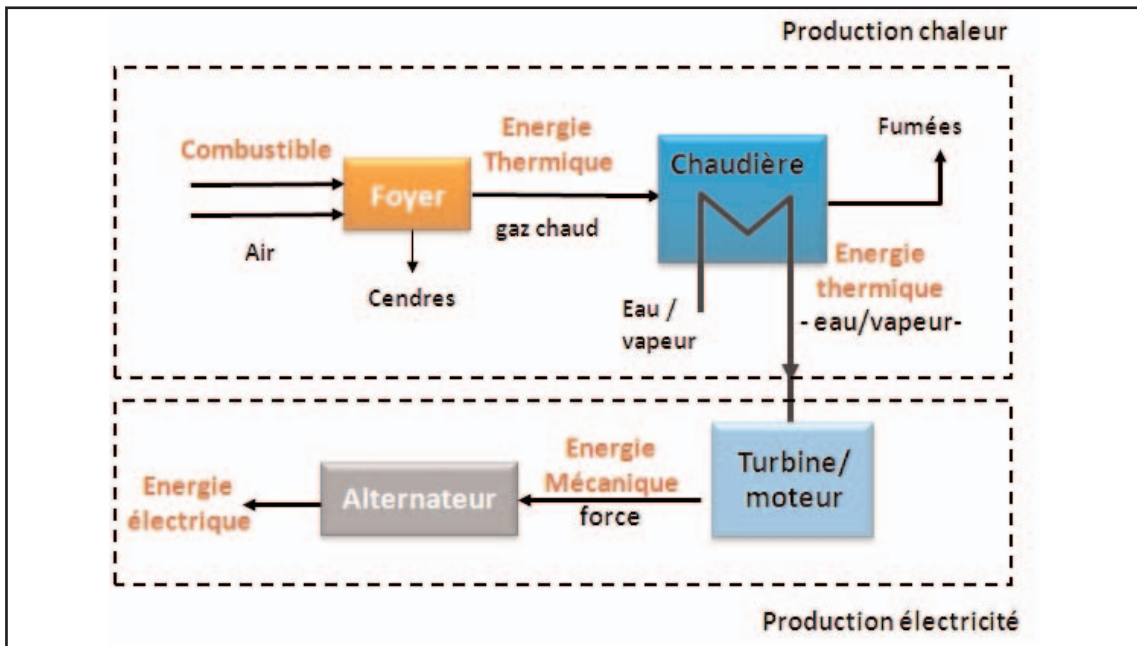


Schéma de principe d'une centrale de cogénération en cycle vapeur à partir de biomasse.

Les différents procédés

Il existe principalement deux modes de combustion : la combustion en lit fixe ou la combustion en lit fluidisé.

Combustion en lit fixe sur foyer

Le foyer peut être à grille ou par alimentation par le bas. L'air primaire traverse le lit de combustible qui passe successivement par les 3 étapes de transfor-

mation : séchage puis pyrolyse puis combustion des fumées et des braises. Les gaz de combustion sont brûlés dans une zone séparée avec introduction d'air secondaire. Ils sont adaptés à des biomasses ayant une forte teneur en humidité, ainsi qu'à des biomasses dont la granulométrie est variable avec des tailles importantes (20 à 300 mm). La grille assure un transport régulier et une bonne répartition du combustible, ce qui permet un meilleur contrôle de l'apport d'oxygène.

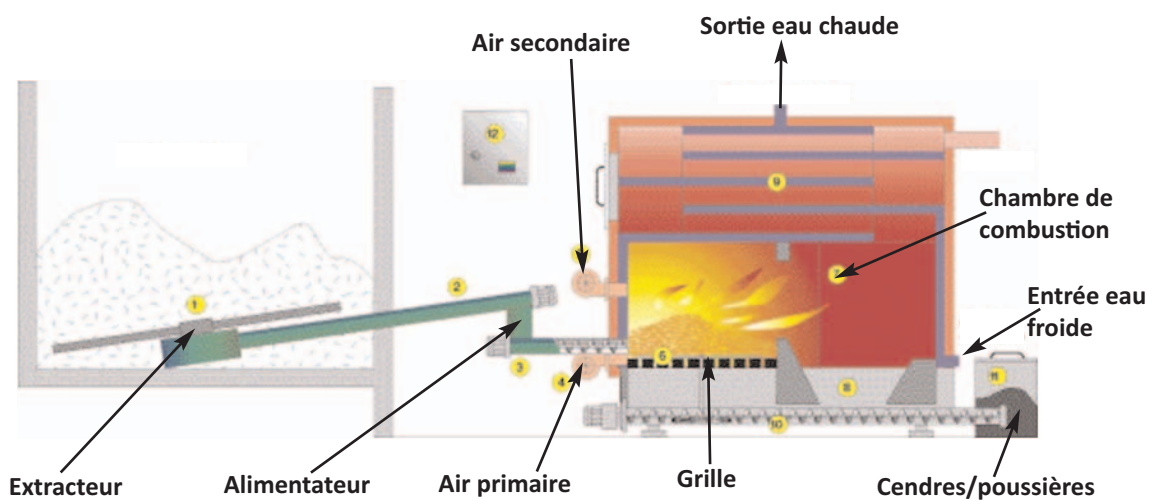


Schéma d'une chaudière à lit fixe pour la production d'eau chaude.



Ces foyers peuvent ainsi fonctionner avec de faibles excès d'air. La grille peut être mobile et permettre l'évacuation des cendres. Elle peut également être étagée, avec une admission d'air à plusieurs niveaux pour différencier et bien contrôler les températures aux différentes étapes de réaction.

Le foyer à grille n'est toutefois pas adapté aux biomasses très cendreuses à cause du risque de fusion des cendres.

Dans le foyer avec alimentation par le bas, la biomasse est amenée par une vis en bas du foyer. Ce type d'alimentation est adapté aux biomasses de faible granulométrie et à faible taux de cendres, et aux installations de petite à moyenne puissance.

Combustion en lits fluidisés

La biomasse est brûlée dans une suspension de gaz et de particules solides (le lit), habituellement du sable ou de la dolomite. Ce système permet un bon transfert de chaleur et donc une bonne combustion avec peu d'excès d'air. La température est relativement basse ce qui permet de limiter le risque de fusion des cendres. Par contre, les gaz de combustion contiennent généralement des quantités impor-

tantes de poussières, et requiert des systèmes de dépoussiérage performants. Les lits fluidisés sont adaptés pour les grandes capacités, supérieures à 5 MW.

Combustion en brûleurs

La combustion en brûleur est adaptée à des biomasses finement pulvérisée et a été développée pour la combustion du charbon minéral. Un excellent mélange entre le combustible et l'air permet un très bon contrôle de la combustion avec de faibles temps de séjour. Les limites de ce mode de combustion est le broyage fin qui est difficile et coûteux pour la plupart des biomasses. Le faible temps de séjour peut également constituer un problème pour certaines biomasses.

La Directive sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales, du 6 décembre 2006, indique quelles sont les gammes d'utilisation possibles en fonction de la technologie utilisée, résumées dans le tableau ci-après.

Application type	Gamme de dimension	Combustibles	Cendres	Teneur en eau au foyer
Four mécanique à foyer tournant	2 - 5 MW	copeaux de bois à haute teneur en eau	< 50%	40-65 %
Brûleur à cigare	3-5 MW	balles de paille	< 5%	20 %
Four à balles entières	3-5 MW	balles entières	< 5%	20 %
Four à paille	100 kW - 5 MW	balles de paille avec coupeur de balles	< 5%	20 %
Lit fluidisé stationnaire	5-15 MW	biomasse diverse diam. < 10 mm	< 50%	5-60 %
Lit fluidisé à circulation	15-100 MW	biomasse diverse diam. < 10 mm	< 50%	5-60 %
Brûleur de poussière, flux entraîné	5-10 MW	biomasse diverse diam. < 5 mm	< 50%	< 20 %

Caractéristiques et application des différentes technologies de chaudière.



Aspects économiques

Les coûts d’investissements des centrales électriques à biomasse par cycle vapeur sont fortement influencés par le type de biomasse combustible, les choix technologiques et de performances ainsi que les charges de mises en œuvre propres à chaque zone économique mondiale. Les réglementations en vigueur dans chaque pays peuvent avoir également un impact fort sur le niveau des investissements.

Par ailleurs, des facteurs externes peuvent influencer le marché des fournisseurs d’équipements : il s’agit des variations des prix des matières premières comme l’acier dont les prix ont fortement fluctuer depuis 2002.

Le besoin d’investissement pour la mise en place des centrales électriques par cycle vapeur ou de production de chaleur à partir de biomasse combustible est présenté dans les tableaux suivants.

Type de centrale énergétique, complète installée	Niveau de puissance en MWe	Coûts d’investissement en k€/MWe installé
chaudière + moteur à vapeur	0.55	2400-3800
	0.75	2400-3500
chaudière + turbine à vapeur à condensation	0.75	2700-3700
	1.25	2600-3400

Tableau du coût d’investissement indicatif d’une centrale de production d’électricité à partir de biomasse en Afrique.

	Niveau de puissance en MWth	Coûts d’investissement en k€/MWth installé
Centrale de production de chaleur industrielle	0.5	350-450
	3	250-400
	6	250-350

Tableau du coût d’investissement indicatif d’une centrale de production de chaleur à partir de biomasse en Afrique.

Conclusion

Les technologies de chaudières à biomasse pour la production de vapeur sont fiables et éprouvées et sont adaptées à une large gamme de puissances. Les centrales électriques à cycle de Rankine (avec moteur ou turbine à vapeur) permettent d’obtenir un rendement énergétique généralement compris entre 12 et 25% en production d’électricité seule. Le choix de la technologie d’une centrale énergétique à biomasse résulte d’une optimisation entre le coût d’investissement, le rendement énergétique visé. Le rendement énergétique global peut monter jusqu’à 60% et plus s’il y a simultanément des besoins d’énergie thermique et d’électricité permettant de configurer une centrale de cogénération.

Ce document a été établi dans le cadre d’un projet de la facilité ACP-CE pour l’énergie de l’Union Européenne, financé par le 9ème FED. Réf. EuropeAid/123607/C/ACT/ACP – projet n° 40 : « Renforcement des capacités des collectivités, de la société civile, des secteurs privé et public dans les pays membres de la CEDEAO dans le domaine de l’Energie ».

Partenaires du projet :



Email : Contact-biomasse@cirad.fr