

Production de force motrice ou électricité par cycle vapeur à partir de la biomasse

Les technologies en cycle de Rankine permettent la production de force motrice ou d'électricité à partir de la vapeur générée préalablement en chaudière (Cf. fiche « Production de chaleur par combustion de la biomasse »). Les équipements utilisés sont des machines à vapeur : turbine ou moteur.

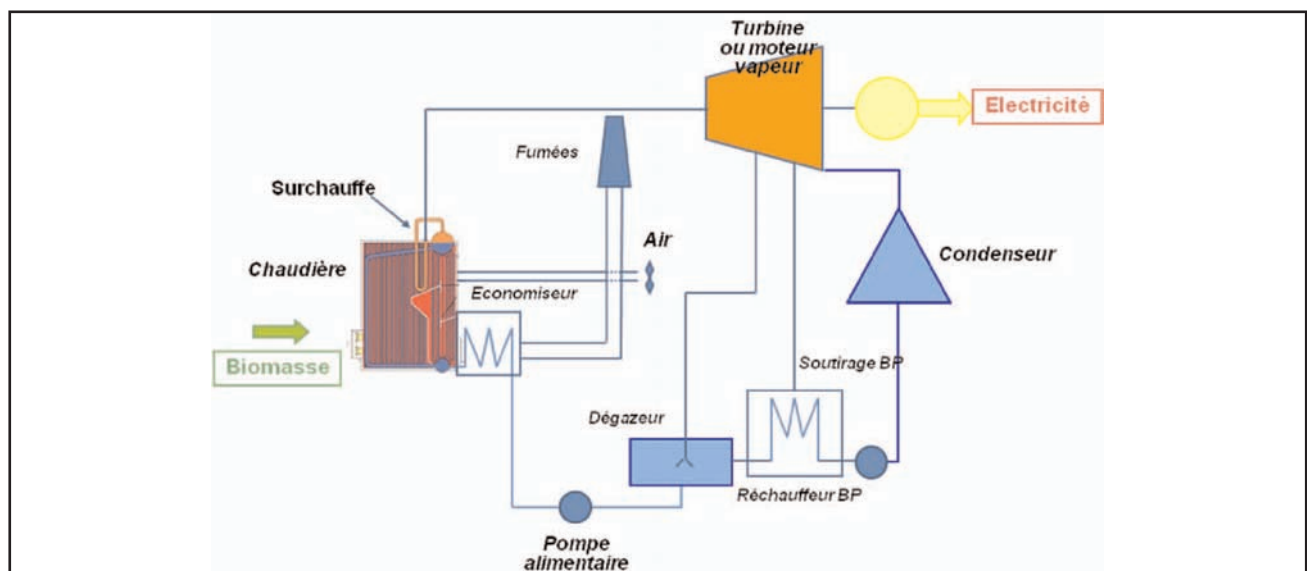
Principe

La machine à vapeur utilisée dans une centrale de production d'électricité peut être une turbine ou un moteur à vapeur.

A partir de la production d'un fluide chaud (air, fluide thermique, eau ou vapeur d'eau) en chau-

dière, la production de force motrice est réalisée par la détente de la vapeur dans une turbine ou un moteur à vapeur sur le principe thermodynamique du cycle de Rankine.

L'utilisation de la force motrice pour entraîner un alternateur permet de produire de l'électricité (cf. schéma ci-après).



Représentation schématique d'un cycle vapeur par biomasse pour la production d'électricité.

Les procédés

On distingue deux types de machines à vapeur : les turbines et les moteurs. En règle générale, les moteurs à vapeur sont adaptés à un niveau de puissance allant de 50 à 500 kW électrique (kWe), tandis que les turbines sont mieux adaptées dans la gamme de 500 à plusieurs milliers de kWe.

Les turbines à vapeur

La vapeur sous pression est injectée entre les pales de la turbine à grande vitesse. L'impact de la vapeur

sur les pales crée le mouvement de rotation d'un axe de transmission de force motrice.

On classe souvent les turbines en deux grands types selon que la vapeur est totalement condensée ou non :

- La turbine à condensation permet de maximiser la production d'électricité (ou de force motrice simplement).
- La turbine à contrepression permet d'utiliser de la chaleur de la vapeur (ou du fluide chaud) pour d'autres applications telles que par exemple un procédé de séchage de bois ou de produits alimentaires.

Les turbines peuvent être plus ou moins sophistiquées selon le besoin de l’installation et du projet industriel ou artisanal : les critères à prendre en compte sont techniques (nature, niveau et qualité des services énergétiques), économiques (coût de production visé, coût en maintenance annuelle de l’installation), et financier (niveau d’investissement initial à consentir), organisationnels (besoins en entretien techniques), et stratégique (robustesse, capacité d’évolution, etc.).

Moteur à vapeur

Les moteurs peuvent être de type vertical ou horizontal.

Les moteurs verticaux (cf. figure 2) sont de conception modulaire et comprennent 2 à 4 cylindres couplés entre eux. Les plus performants de ces équipements utilisent la vapeur pour alimenter en cascade plusieurs cylindres par le jeu d’ouverture de valves. Le mode de régulation et d’ajustement de l’ouverture des valves influe directement sur la performance et l’adaptabilité à différents niveaux de puissance appelée.

Ce type de matériel est doté de grandes qualités : ils sont éprouvés et présentent une durée de vie élevée et un coût de maintenance faible. A notre connaissance, Spilling et Engetherm (photo 2) sont aujourd’hui les seuls constructeurs proposant ce type de matériel.

Comparaison turbine / moteur à vapeur

Les rendements thermodynamiques des moteurs à vapeur à détente de vapeur sont généralement compris entre 60 et 75%. A titre de comparaison, les rendements thermodynamiques des turbines à vapeur mono-étage varient habituellement entre 75 et 80%.

Les performances techniques des installations de moteur à vapeur sont résumées dans le tableau suivant.

Caractéristiques considérées	Valeurs de référence
Puissances électriques	30 – 1000 kWe
Pression de vapeur entrée	10 – 30 bars
Pression de vapeur sortie	0,5 – 1,5 bars
Vitesse de rotation	600 – 1000 tpm
Rendement électrique	10 à 20 %
Rendement thermique	55 à 60 %

Tableau: caractéristiques de moteurs à vapeur

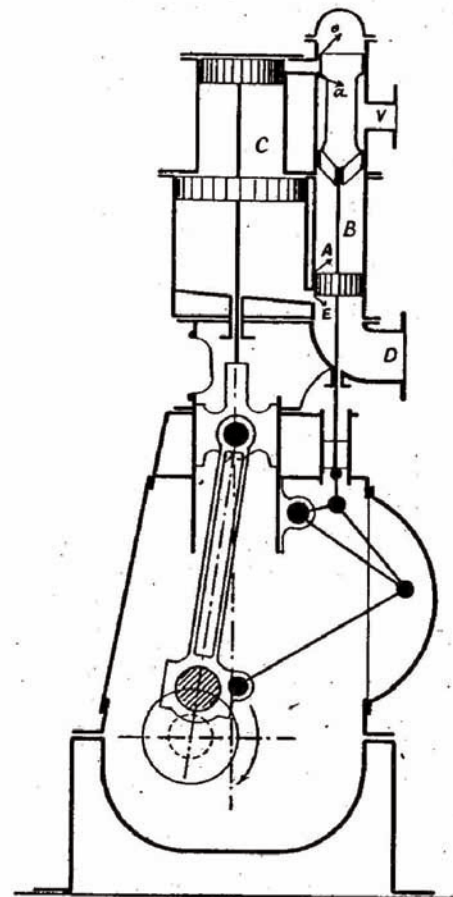


Figure 2 : schéma d’un moteur vertical



Aspects économiques

La technologie des turbines à vapeur bénéficie d’une maturité acquise aux cours de nombreuses années d’expérience à travers le monde dans de très nombreuses configurations.

Le rendement en électricité des systèmes chaudière + moteurs à vapeurs est de l’ordre de 10 à 15% avec

un combustible sec. La pression de fonctionnement est généralement de 10 à 15 bars et la consommation de vapeur est élevée (12 à 15 kg/kWh).

Les coûts d’investissement présentés tableau suivant correspondent à la fourniture d’un groupe turbo alternateur complet : turbine, réducteur de vitesse, alternateur et périphériques.

	Niveaux de puissance	Niveaux de rendement électrique	Coûts d’investissement en c €/kWe
Turbo-alternateur à contrepression	100 à 500 kWe	10 à 12%	600 – 800
	0,5 à 1.5 MWe	12 à 14%	450 – 600
	1.5 à 10 MWe	12 à 20%	300 – 400
Turbo alternateur à condensation	500 kWe à 1.5 MWe	15 à 20%	600 – 1200
	1.5 à 10 MWe	20 à 25%	400 - 800
Moto alternateur	50 à 500 kWe	10 à 15%	400 – 900

Tableau des coûts d’investissement d’un ensemble turbine- alternateur selon la puissance.

Les coûts d’exploitation de ces ensembles sont de l’ordre de 1 à 3% des coûts d’investissements pour les ensembles à contrepression ; équivalent à ceux d’un ensemble moto alternateur à vapeur. Les coûts d’exploitation sont de 4 à 5% des coûts d’investissements pour les ensembles à condensation pour un fonctionnement de 5 000 h/an.

La durée de vie est extrêmement longue et excède fréquemment 50 ans pour autant que les opérations de maintenance soient correctement réalisées. Cette maintenance consiste en un suivi régulier de l’installation et notamment les éléments de lubrification, refroidissement, de sécurité.

L’inconvénient majeur de cette technologie est l’absence de concurrence pour la fourniture d’équipement : hormis quelques constructeurs thaïlandais qui n’exportent pas, nous ne connaissons que trois fabricants : Spilling en Allemagne, Benecke et Engertherm au Brésil.

Il existe de nombreux constructeurs de turbines à vapeur et presque tous présentent des références d’installations industrielles fonctionnant à partir de

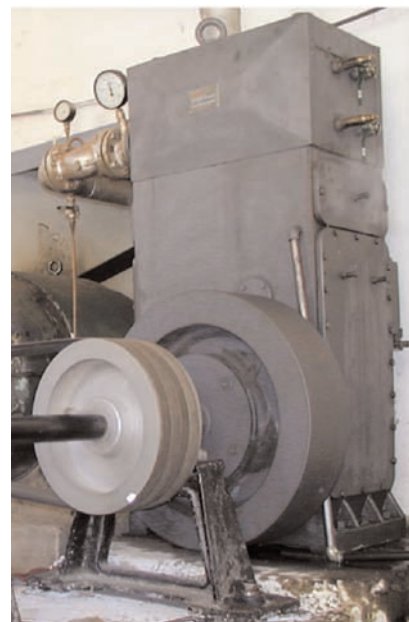


Photo d’un moteur à vapeur de 150 kWe

biomasse (bagasse et autres sous-produits agro-industriels). Les petites puissances sont plus rares mais une société brésilienne associée à un bureau d’ingénierie propose une gamme de solutions monoblocs adaptables sur différents type de chaudière à vapeur.



Cette standardisation permet de considérablement baisser les coûts et offre une solution modulable. La contrainte majeure de la technologie reste le niveau élevé de qualité de l'alimentation en vapeur que requiert une turbine dont la régulation est délicate en dehors de ces conditions.

Conclusion

Les technologies des centrales à vapeur peuvent s'avérer particulièrement intéressantes dans le contexte des pays tropicaux ayant de la biomasse disponible en abondance pour un usage combustible.

Les turbines sont bien connues dans le monde entier. Elles sont utilisées dans les industries agroalimentaires depuis des dizaines d'années. Elles peuvent répondre à des besoins d'électricité à l'échelle industrielle (l'unité est le MW électrique). L'offre en turbines est beaucoup plus abondante mais la technologie est plus sensible à mettre en œuvre à petite échelle car cette technologie nécessite une grande régularité dans la qualité de la vapeur, ce qui s'avère souvent rédhibitoire à petite échelle.

Les moteurs à vapeur sont bien adaptés aux petites puissances (l'unité est la centaine de kW électrique) et s'avèrent extrêmement fiables et robustes en conditions normales d'utilisation. Leur maintenance facile est un atout pour les zones peu industrialisées et enclavées.

Les moteurs sont moins sensibles que les turbines à des variations de qualité de vapeur. La conception plus simple des chaudières qui en résulte permet l'utilisation d'une grande variété de biomasses combustibles dans la chaudière.

Le principal frein au développement des centrales à vapeur utilisant de la biomasse est le montant élevé de l'investissement initial. Mais la hausse des prix des énergies conventionnelles pourrait bien changer la donne et relancer le marché de ces équipements de production maîtrisée d'électricité à partir d'une ressource locale renouvelable.

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'Énergie ».

Partenaires du projet :



Email : Contact-biomasse@cirad.fr