



Le Bois-Energie dans l'Industrie

Solutions innovantes alliant efficacité énergétique et performances environnementales

Opportunités et problématiques de la production de chaleur et d'électricité, voire de froid

Jacques Haushalter

Anciennement Responsable du Développement Commercial

Power Plants - **Wärtsilä France sas**

Et Distributeur des centrales BioPower de **mw power**



Le Bois-Energie dans l'Industrie

La biomasse est un combustible solide :

- Il ne peut donc être introduit directement dans une machine à combustion interne pour produire de l'énergie mécanique, donc de l'électricité.
- Le process communément utilisé est la combustion,
- L'énergie primaire produite est donc la chaleur.
- Dans l'industrie qui a besoin de chaleur à haute température, notamment de vapeur, il peut être opportun de surchauffer cette vapeur pour produire additionnellement, par nécessité ou par opportunité de l'électricité avec une machine secondaire.



Le Bois-Energie dans l'Industrie

Technologies de combustion d'un solide :

- Le cycle de Rankine est la solution industrielle la plus appropriée et la plus éprouvée.
- Les grandes installations produisent de la vapeur alimentant des turbines à vapeur à contre-pression ou à condensation et extraction.
- Les petites installations utilisent plus généralement de l'huile thermique dans un cycle organique de Rankine.
- La technologie de la gazéification n'a pas encore atteint la maturité et fait toujours l'objet d'installations pilotes.



Le Bois-Energie dans l'Industrie

Utilisations industrielles de la chaleur :

- Process industriels :

**Besoins de chaleur constants,
Fonctionnement à puissance constante,
Fonctionnement toute l'année,**

**Températures de retour fonction des process.
Avoir les retours à la plus basse température possible,
afin d'épuiser la chaleur,**

**Besoin également de chaudières de complément et/ou de
substitution.**

Epuisement de la chaleur :

- Par exemple pour les besoins thermiques climatiques de l'industriel ou sur un réseau de chaleur de proximité :

Réseau eau chaude,

Utilisation climatique,

Mais : Besoins de chaleur variables,

Fonctionnement que 7 mois d'hiver,

Besoin de chaudières d'appoint et de substitution.

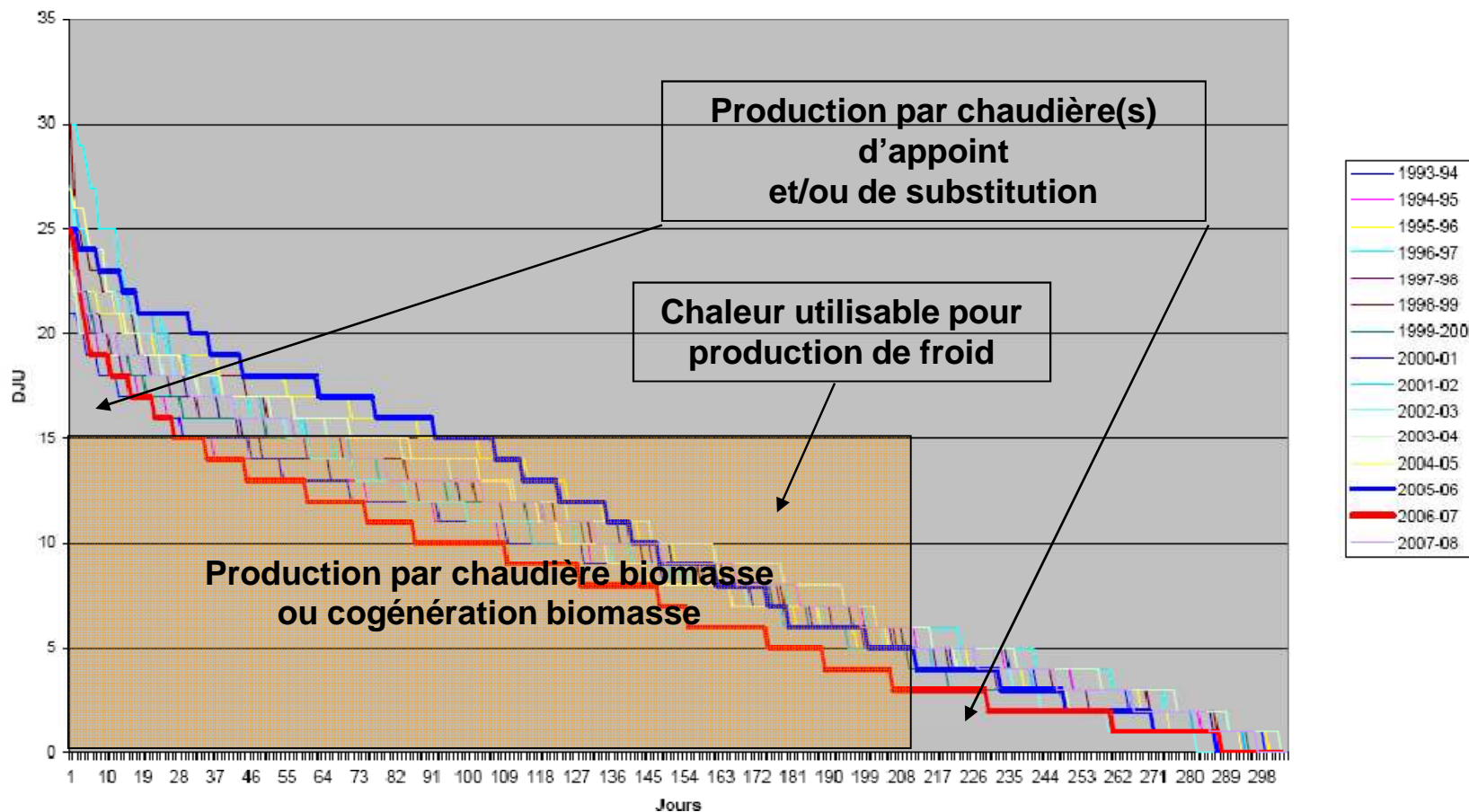
Fonctionnement de la chaudière à puissance variable en fonction des besoins thermiques, ou à puissance constante avec refroidisseurs de compensation, voir en modulant la production électrique en fonction des besoins de chaleur,

Avoir les retours du réseau de chaleur à la plus basse température possible,

Possibilité de génération de froid à partir de la chaleur inutilisée avec des groupes à absorption.

Le Bois-Energie dans l'Industrie

Monotone DJU 18 Mulhouse 1993 à 2008



Opportunités environnementales:

- Possibilités d'économies d'énergies primaires par rapport à une production séparée d'électricité et de chaleur :

- Les économies d'énergies primaires au niveau européen peuvent être évaluées selon les termes de la Directive Européenne Cogénération du 11 février 2004 avec des rendements de production séparées d'électricité et de chaleur à partir de la biomasse de respectivement :
 - 33% pour le rendement électrique,
 - et 86% pour le rendement thermique.

- Dans le système français les économies d'énergies primaires ne sont définies que dans le tarif C01 par rapport au cycle combiné de référence gaz de 650 MWe avec :
 - 54% pour le rendement électrique, réduisant ainsi les Ep

Cogénérations de petite puissance : Caractéristiques des centrales Turboden :

	E			H			Rapport	F				E eff.	H eff.	Global Eff.	PES
	gross	auxiliaires	net	Hot water			H/E								EU directive 2004/8/CE
	kWe			kWth		Temp.		kW LHV	t/h	m3/h	truck/day				
Turboden															
T200-CHP	213	13	200	975	100%	60/80°C	4,9	1 400	0,5	1,8	0,8	14,29%	69,64%	83,93%	19,53%
	213	13	200	817	84%	60/80°C	4,1	1 400	0,5	1,8	0,8	14,29%	58,32%	72,61%	10,00%
	213	13	200	780	80%	60/80°C	3,9	1 400	0,5	1,8	0,8	14,29%	55,71%	70,00%	7,47%
	213	13	200	683	70%	60/80°C	3,4	1 400	0,5	1,8	0,8	14,29%	48,77%	63,06%	0,00%
	213	13	200	640	66%	60/80°C	3,2	1 400	0,5	1,8	0,8	14,29%	45,71%	60,00%	-3,68%
	213	13	200	500	51%	60/80°C	2,5	1 400	0,5	1,8	0,8	14,29%	35,71%	50,00%	-17,90%
T500-CHP	546	26	520	2 325		60/80°C	4,5	3 400	1,3	4,4	1,9	15,29%	68,38%	83,68%	20,55%
T600-CHP	658	33	625	2 810		60/80°C	4,5	4 100	1,6	5,3	2,2	15,24%	68,54%	83,78%	20,56%
T800-CHP	904	44	860	3 655		60/80°C	4,3	5 300	2,0	6,8	2,9	16,23%	68,96%	85,19%	22,70%
T1100-CHP	1 168	53	1 115	4 775		60/80°C	4,3	7 000	2,7	9,0	3,8	15,93%	68,21%	84,14%	21,62%
T1500-CHP	1 616	76	1 540	7 105		60/90°C	4,6	10 200	3,9	13,1	5,5	15,10%	69,66%	84,75%	21,10%
T2000-CHP	2 109	109	2 000	9 490		65/95°C	4,7	13 600	5,3	17,4	7,3	14,71%	69,78%	84,49%	20,45%
T200-CHP split	233	15	218	1 090		60/80°C	5,0	1 600	0,6	2,1	0,9	13,63%	68,13%	81,75%	17,01%
T500-CHP split	600	30	570	2 600		60/80°C	4,6	3 800	1,5	4,9	2,1	15,00%	68,42%	83,42%	20,01%
T600-CHP split	718	38	680	3 150		60/80°C	4,6	4 500	1,7	5,8	2,4	15,11%	70,00%	85,11%	21,38%
T800-CHP split	991	51	940	4 100		60/80°C	4,4	6 000	2,3	7,7	3,2	15,67%	68,33%	84,00%	21,22%
T1100-CHP split	1 282	62	1 220	5 370		60/80°C	4,4	7 800	3,0	10,0	4,2	15,64%	68,85%	84,49%	21,54%
T1500-CHP split	1 763	88	1 675	7 950		60/90°C	4,7	11 500	4,4	14,7	6,1	14,57%	69,13%	83,70%	19,69%
T2000-CHPsplit	2 114	109	2 005	9 815		65/95°C	4,9	14 000	5,4	18,0	7,5	14,32%	70,11%	84,43%	19,95%
T500-HR			500	2 275		28/43°C	4,6	3 300	1,3	4,2	1,8	15,15%	68,94%	84,09%	20,68%
T600-HR			600	2 735		28/43°C	4,6	4 000	1,5	5,1	2,2	15,00%	68,38%	83,38%	19,97%
T800-HR			800	3 510		28/43°C	4,4	5 100	2,0	6,5	2,8	15,69%	68,82%	84,51%	21,61%
T1100-HR			1 100	4 840		28/43°C	4,4	7 100	2,7	9,1	3,8	15,49%	68,17%	83,66%	20,77%
T1500-HR			1 500	6 825		28/43°C	4,6	9 900	3,8	12,7	5,3	15,15%	68,94%	84,09%	20,68%

24,5 t
90 m3

E eff. = 33%

H eff. = 86%

Opportunités économiques:

Seules opportunités motivantes pour l'investisseur et l'exploitant :

- **Réduction des achats d'énergies primaires,**
- **Possibilité de vente de la chaleur sans surcoût, voire avec une légère diminution de prix de l'ordre de 5%**
- **Assurer le retour de l'investissement par la vente de l'électricité.**

La faisabilité des opérations de cogénération favorables pour les économies d'énergies primaires ne peut donc se faire que par :

- **Un tarif d'obligation d'achat favorable (cas de la France et de l'Allemagne)**
- **Des appels d'offres (cas de la France)**
- **Des certificats verts ou blancs (cas de la Belgique et de l'Italie)**
- **La seule volonté écologique et l'optimisation des projets (Suède)**



Le Bois-Energie dans l'Industrie

Opportunités en France:

1. **Le tarif d'obligation d'achat du 28 décembre 2009 de 12,5 c€/kWh à par exemple 14,27 pour une turbine à condensation-extraction et 15,87 pour une turbine à contre-pression pour les installations de 5 à 12 MWe de puissance électrique installée**

1. **Le prochain appel d'offres biomasse 4 pour les installations de plus de 12 MWe installés.**



Le Bois-Energie dans l'Industrie

BioPower Primary Energy Savings

	E			H	Rapport H/E	F				E eff.	H eff.	Global Eff.	PES EU directive 2004/8/CE	Tarif biomasse 28/12/09	
	gross	auxiliaires	net			MW LHV	t/h	m3/h	truck/day						
	MWe			MWth											
BioPower 5															
DH 50/90°C	3,80	0,4	3,4	13,5	4,0	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	16,83%	66,83%	83,66%	22,31%	15,87
Steam 0,8 bar(a)	3,00	0,4	2,6	11,1	4,3	17,0	84%	6,6	21,8	9,3	15,29%	65,29%	80,59%	18,21%	15,56
	2,00	0,4	1,6	8,2	5,1	12,5	62%	4,8	16,0	6,8	12,80%	65,60%	78,40%	13,09%	15,34
	1,50	0,4	1,1	7,2	6,5	10,7	53%	4,1	13,7	5,8	10,28%	67,29%	77,57%	8,59%	15,26
	0,85	0,4	0,5	6,0	13,3	8,3	41%	3,2	10,6	4,5	5,42%	72,29%	77,71%	0,48%	15,27
HW 90/115°C	3,20	0,4	2,8	14,0	5,0	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	13,86%	69,31%	83,17%	18,43%	15,82
Steam 2,0 bar(a)	3,00	0,4	2,6	13,3	5,1	19,2	95%	7,4	24,6	10,5	13,54%	69,27%	82,81%	17,75%	15,78
	1,70	0,4	1,3	8,8	6,8	12,5	62%	4,8	16,0	6,8	10,40%	70,40%	80,80%	11,80%	15,58
	1,20	0,4	0,8	7,5	9,4	10,7	53%	4,1	13,7	5,8	7,48%	70,09%	77,57%	3,99%	15,26
	0,70	0,4	0,3	6,2	20,7	8,6	43%	3,3	11,0	4,7	3,49%	72,09%	75,58%	-5,93%	15,06
ST 4 bar(a)	2,60	0,4	2,2	12,4	5,7	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	10,89%	61,60%	72,49%	4,42%	14,75
Steam 4 bar(a)	2,00	0,4	1,6	10,0	6,3	17,2	85%	6,6	22,1	9,4	9,30%	58,14%	67,44%	-4,39%	14,24
	1,30	0,4	0,9	7,1	7,9	12,8	63%	4,9	16,4	7,0	7,03%	55,47%	62,50%	-16,54%	13,75
	1,00	0,4	0,6	6,1	10,2	11,3	56%	4,4	14,5	6,2	5,31%	53,98%	59,29%	-26,81%	13,43
	0,60	0,4	0,2	4,7	23,5	9,0	45%	3,5	11,5	4,9	2,22%	52,22%	54,44%	-48,24%	12,94
CEX	5,50	0,8	4,9	0,0	0,0	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	24,18%	0,00%	24,18%		4,50
ST 1,3 bar(a)	4,79	0,6	4,2	5,9	1,4	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	20,66%	29,34%	50,00%	-34,92%	12,50
	4,54	0,6	3,9	8,0	2,0	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	19,43%	39,58%	59,02%	0,00%	13,40
	4,51	0,6	3,9	8,2	2,1	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	19,30%	40,70%	60,00%	2,75%	13,50
	4,30	0,6	3,7	10,0	2,7	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	18,24%	49,50%	67,75%	11,38%	14,27
CEX	5,40	0,6	4,8	0,0	0,0	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	23,69%	0,00%	23,69%		4,50
ST 2 bar(a)	4,53	0,6	3,9	6,2	1,6	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	19,40%	30,60%	50,00%	-29,37%	12,50
	4,28	0,6	3,7	8,0	2,2	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	18,15%	39,58%	57,73%	0,00%	13,27
	4,21	0,6	3,6	8,5	2,4	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	17,78%	42,22%	60,00%	2,88%	13,50
	4,00	0,6	3,4	10,0	3,0	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	16,76%	49,50%	66,26%	7,70%	14,13
CEX	5,40	0,6	4,8	0,0	0,0	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	23,69%	0,00%	23,69%		4,50
ST 10 bar(a)	3,81	0,6	3,2	6,9	2,2	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	15,83%	34,17%	50,00%	-15,83%	12,50
	3,21	0,6	2,6	9,5	3,7	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	12,84%	47,16%	60,00%	-6,67%	13,50
	3,10	0,6	2,5	10,0	4,0	20,2	100%	7,8	25,9	11,0	12,30%	49,50%	61,81%	-5,44%	13,68
BioPower 8															
DH 50/90°C	8,00	0,9	7,1	20,5	2,9	33,0	100%	12,7	42,3	18,0	21,52%	62,12%	83,64%	27,24%	15,86
CEX	9,40	1,2	8,2	0,0	0,0	33,0	100%	12,7	42,3	18,0	24,76%	0,00%	24,76%		4,50
ST 1,5 bar(a)	8,19	1,1	7,1	9,4	1,3	33,0	100%	12,7	42,3	18,0	21,49%	28,51%	50,00%	-38,81%	12,50
	7,72	1,0	6,7	13,1	1,9	33,0	100%	12,7	42,3	18,0	20,36%	39,64%	60,00%	0,15%	13,50
	7,72	1,0	6,7	13,1	1,9	33,0	100%	12,7	42,3	18,0	20,37%	39,58%	59,95%	0,00%	13,49
	7,60	1,0	6,6	14,0	2,1	33,0	100%	12,7	42,3	18,0	20,00%	42,42%	62,42%	6,70%	13,74

24,5 t
90 m3

E eff. = 33%

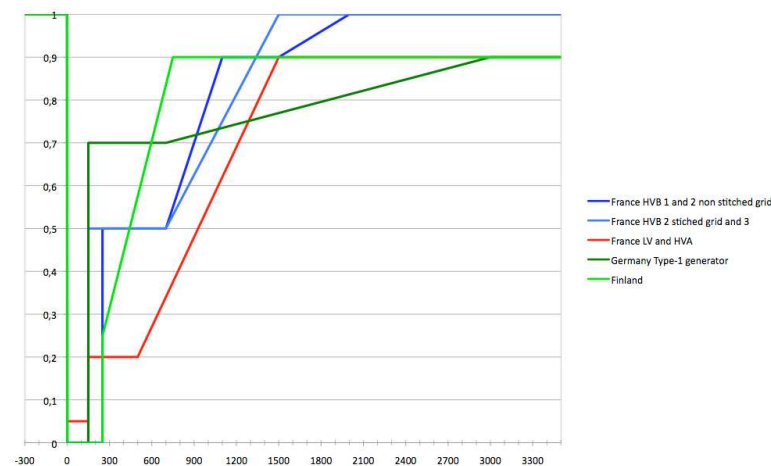
H eff. = 86%

Nécessite une
puissance mini
installée de
turbine de 5 MWe

Problématiques en France:

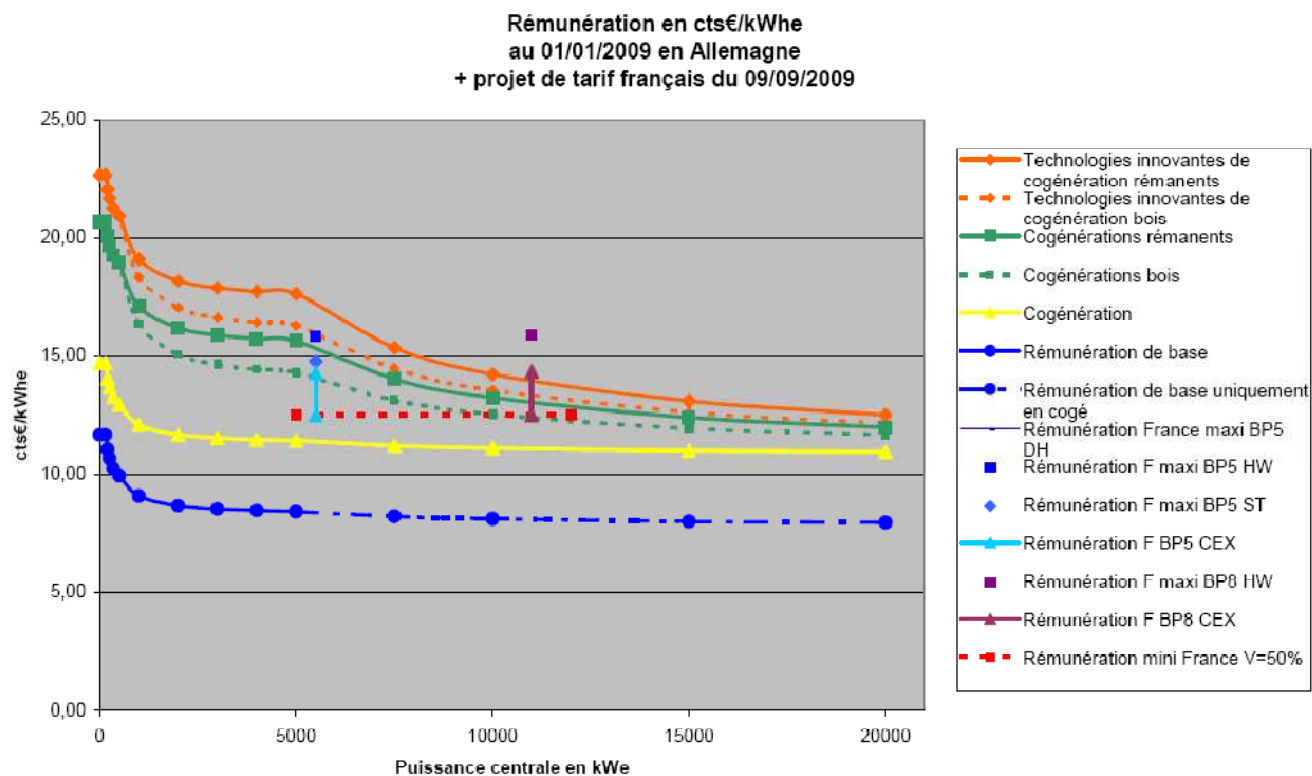
1. Pour l'instant pas de possibilité pour des installations de moins de 5 MWe pour lesquelles le tarif d'obligation d'achat est limité à 4,5 c€/kWh.
2. Pour les installations de 5 MWe et plus de puissance installée, obligation de respecter les conditions de raccordement ayant fait l'objet des arrêtés du 28 avril 2008, dont l'obligation de rester connecté en cas de creux de tension est impossible à respecter dans l'état actuel de la technologie.

La courbe française BT et MT rouge est la plus restrictive



L'exemple allemand :

Les allemands ont uniquement un tarif d'obligation d'achat :



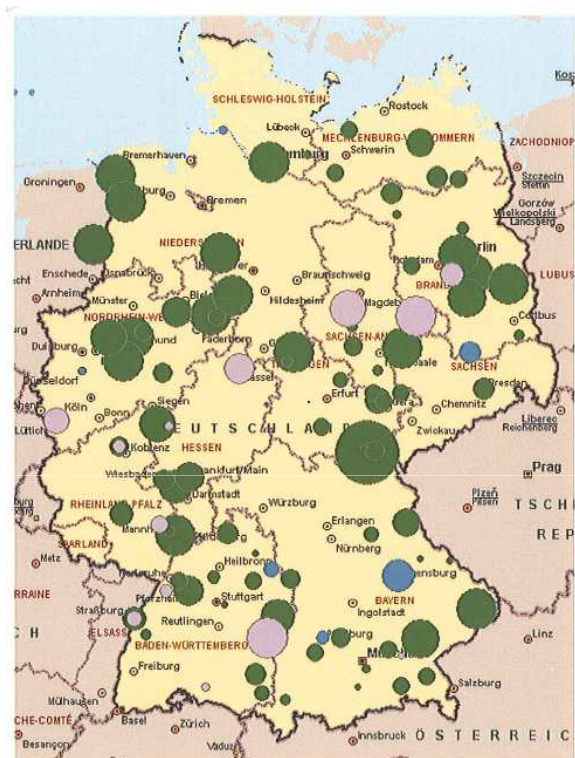


Abbildung 45: Biomasseheizkraftwerke mit einer elektrischen Leistung größer 1 MW_{el} (Anlagen in Betrieb; Stand: 2/2007)

L'exemple allemand :

Ce tarif a permis la réalisation de 115 installations de plus de 1 MWe pour une puissance globale installée de 1 100 MWe.

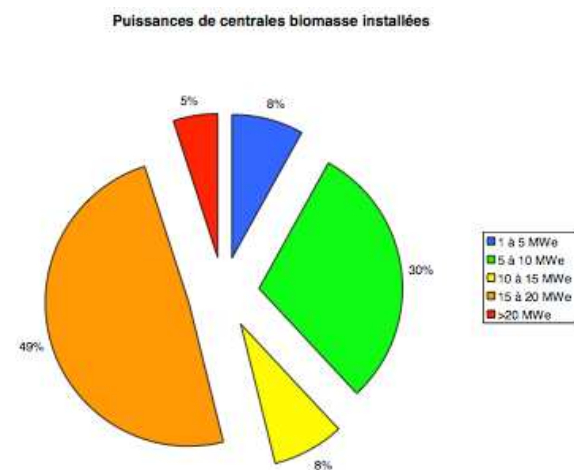
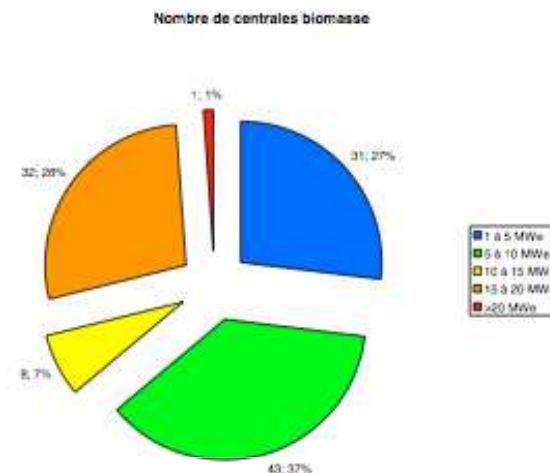
Le bois de forêt classé NawaRo donne droit à une majoration de 6 c€/kWh jusqu'à 500 kWh, puis 4 c€/kWh jusqu'à 5 MWe.

Cependant il ne représente que 7% de la masse sèche brûlée, soit 0,5 millions de tonnes.

L'exemple allemand :

**31 des 115 centrales ont entre 1 et 5 MWe,
 43 ont entre 5 et 10 MWe (Tarif Obligation Achat en France),
 41 ont plus de 10 MWe (Appels d'offres en France),
 dont seulement 1 de plus de 20 MWe,**

La puissance totale installée est de 1 100 MWe, en plus d'environ 700 central s thermiques biomasse dont la majorité ont moins de 100 kWth.



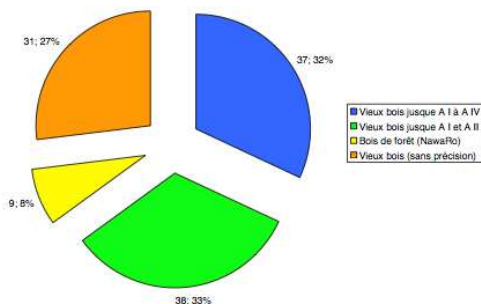
Source : trend:research 2008 : Bioenergie : Anlagenneubau bis 2020

L'exemple allemand :

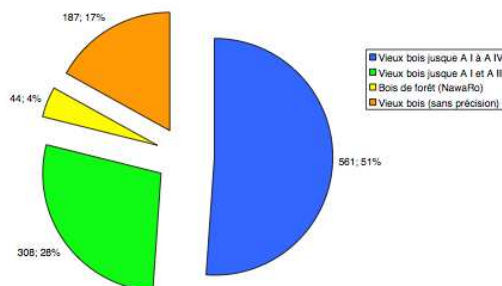
La visite récente de centrales biomasse en Allemagne a permis de constater que les petites centrales de moins de 5 MWe réparties sur le territoire brûlaient essentiellement du bois de forêt et du bois AI ne nécessitant pas d'installations sophistiquées d'épuration des fumées. La combustion de bois de forêt ne représente que 500 000 t/an de masse sèche, soit 7% de la biomasse brûlée. Les centrales brûlant du Vieux Bois de classe AIII et AIV sont des grosses centrales de 5 à 20 MWe permettant par leur taille des installations sophistiquées d'épuration des fumées devant répondre à la BImSch 17 (Combustion de déchets).

Source : trend:research 2008 : Bioenergie : Anlagenneubau bis 2020

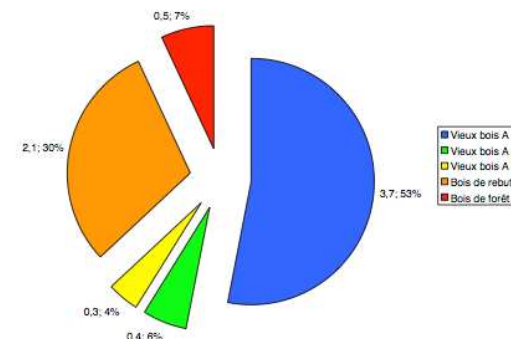
Type de bois combustible utilisé par nombre de centrales



Type de bois combustible utilisé par puissance installée en MWe



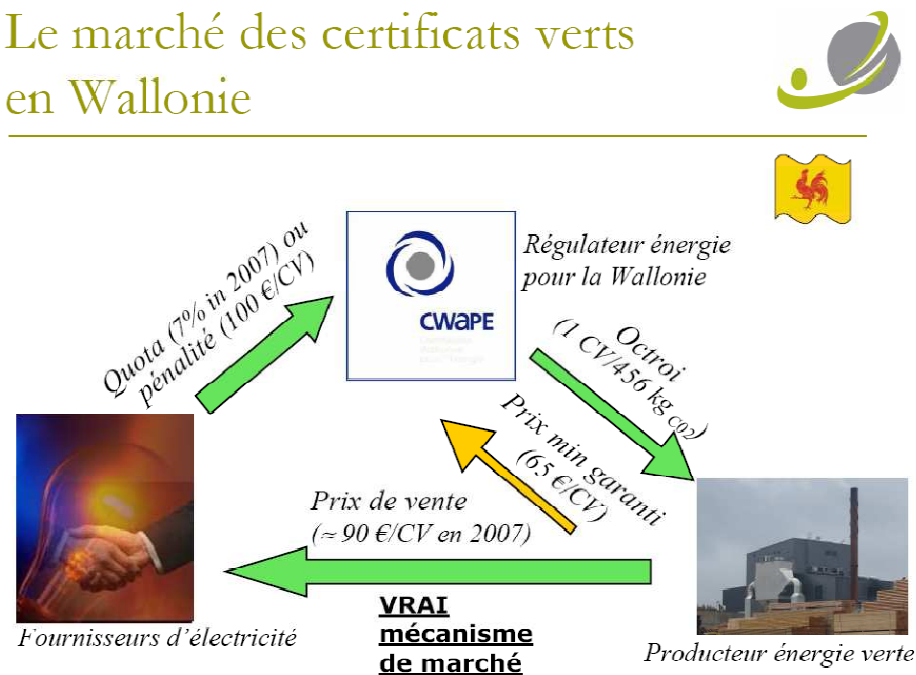
Quantité de bois combustible utilisé en Millions de tonnes de masse sèche (t atro)



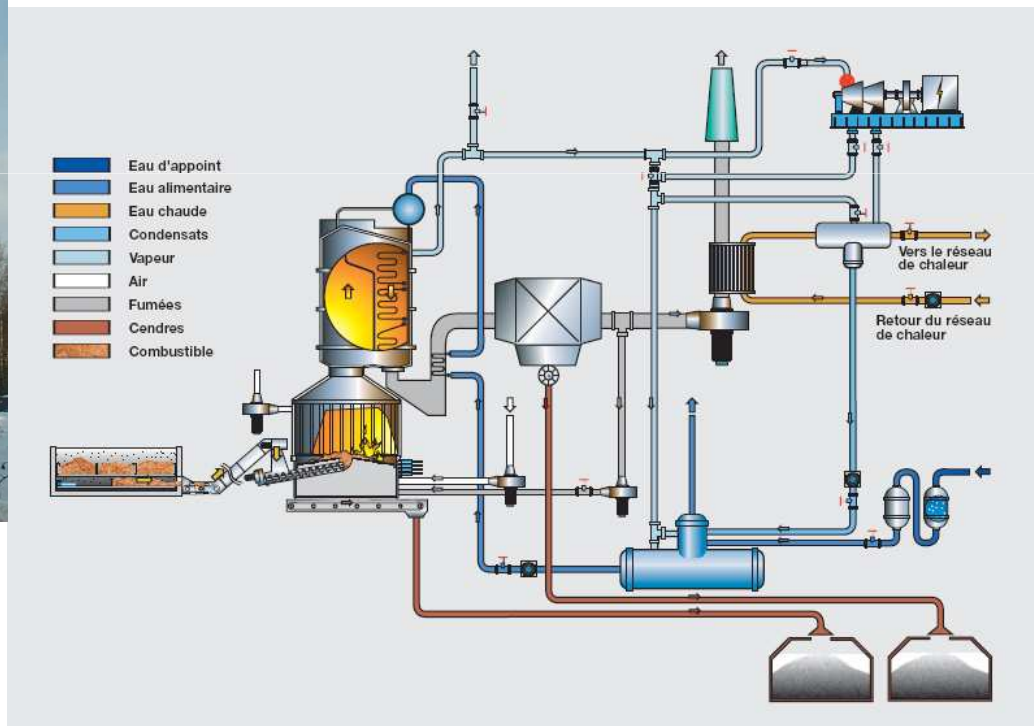
L'exemple belge :

Les belges, comme les italiens vendent l'électricité produite sur la marché libre. Un complément de ressource est assuré par les certificats verts générés :

Le marché des certificats verts en Wallonie

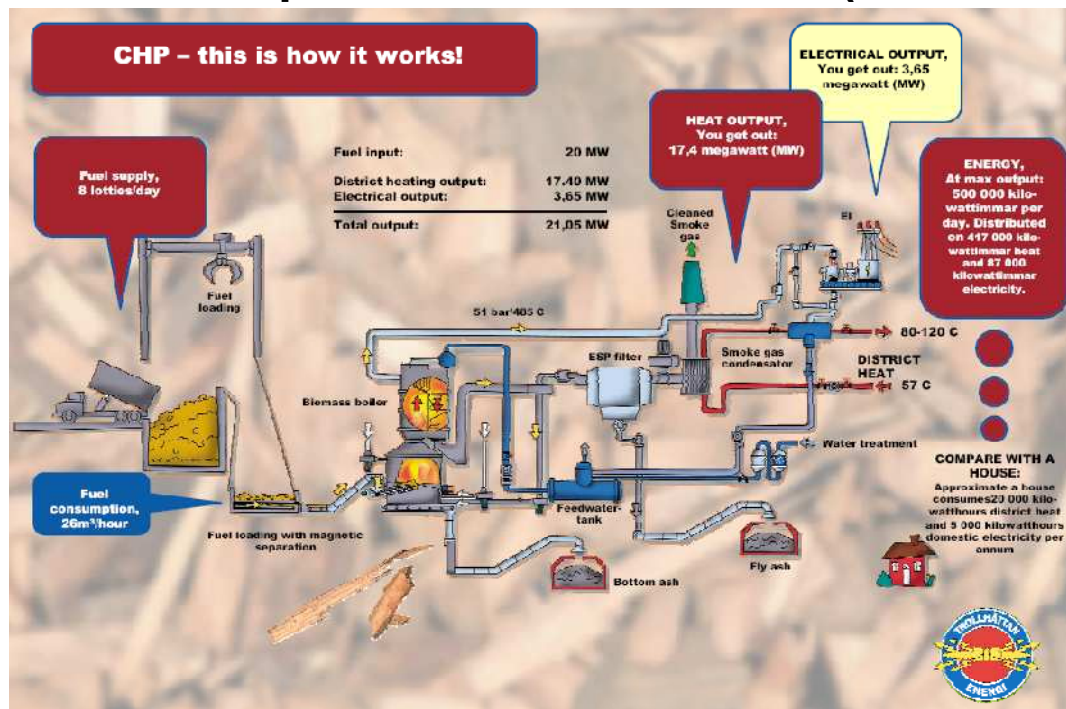


Suède : Cas du réseau de chaleur de Trolhättan-Energi :



Suède : Cas du réseau de chaleur de Trollhättan-Energi :

Dans les pays nordiques on épuise la chaleur en condensant les fumées. Ainsi on utilise également la chaleur latente de condensation, et on arrive à des rendements supérieurs à 100% sur PCI (105% dans ce cas):




**TROLLHÄTTAN ENERGI AB,
TROLLHÄTTAN, SUÈDE**

Nom de la centrale..... Värmeverket Lextorp
 Type de centrale BioPower 5 DH
 Puissance électrique 3,6 MW_e
 Puissance thermique 17 MW_{th} (12,5 + 4,5)
 Fourniture des équipements 2006
 Combustible ... Ecorces, sciures, résidus forestiers
 Turbine..... type réseau de chaleur



Conclusions :

- Intérêt de créer des réseaux de chaleur pour maîtriser les rendements et les émissions,
 - Intérêt d'avoir des réseaux de chaleur avec des retours à températures les plus bas possibles,
 - Possibilité de condenser les vapeurs sortie turbine avec les retours du circuit thermique,
 - Possibilité de condenser les fumées,
 - Intérêt d'épuiser la chaleur,

 - Intérêt dans le cas d'un tarif ou d'un AO de l'utilisation de turbines à condensation-extraction pour maximiser la production électrique en fonction des besoins de chaleur.

 - Rendement global supérieur à 60% pour justifier des économies d'énergies primaires dans le sens de la Directive Européenne Cogénération.
-



Le Bois-Energie dans l'Industrie

Merci pour votre attention



Comité Interprofessionnel du Bois-Energie
Site Internet : www.cibe.fr

Jacques Haushalter
06 37 67 95 66
jacques.haushalter@orange.fr