

Performances des chaufferies biomasse et potentiel de progrès

Christophe Pascual
COFELY

Qu'entend-on par « performance »?

- La performance des chaudières se décline en 2 volets
 - Performance énergétique : comment utiliser le moins de combustible possible pour répondre à un besoin?
 - Performance environnementale : comment avoir le moins d'impacts sur l'environnement
- Les 2 aspects sont complètement interdépendants
 - La dégradation des performances énergétiques induit de consommer plus de combustible pour le même usage, donc d'augmenter les émissions
 - La dégradation des performances environnementales peut générer, quand elle est importante, des pertes conséquentes d'efficacité énergétique

La situation des chaudières bois industrielles

Définition : Chaudière dite « industrielle »

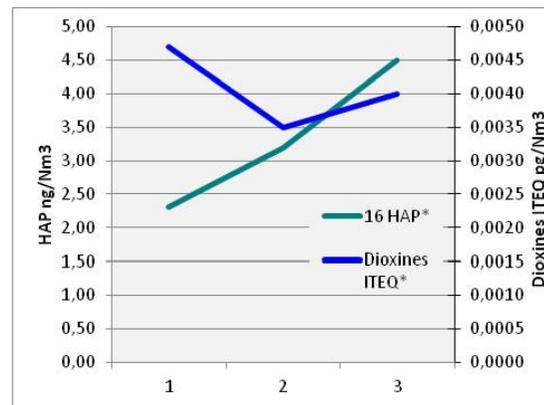
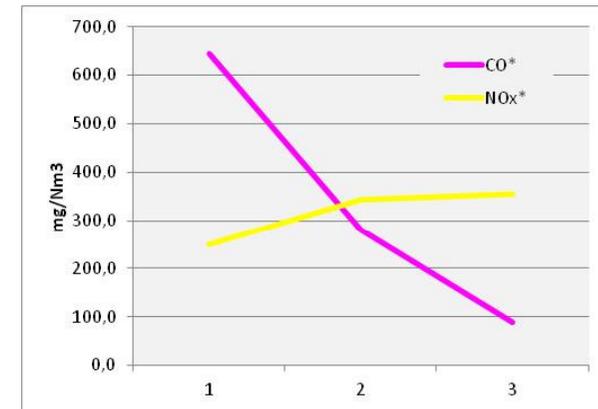
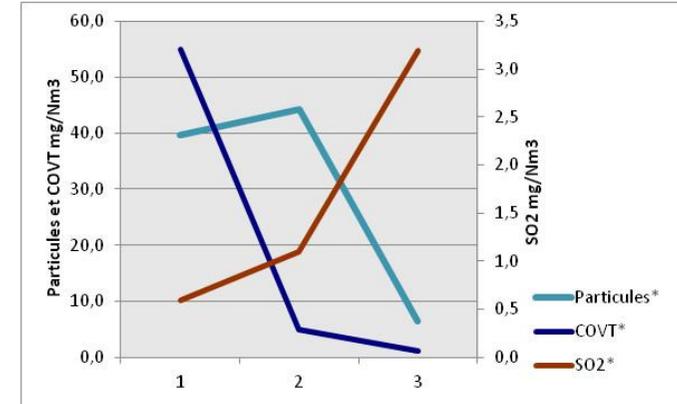
Chaudière utilisant un combustible convoyable, dotée d'une régulation pour un fonctionnement automatique et d'une puissance minimale de quelques centaines de kW mais pouvant aller jusqu'à plusieurs dizaines de MW

- Elles font forcément l'objet de procédures d'exploitation qui garantissent la pérennité de leurs performances
- Elles sont capables d'accepter une certaine variabilité du combustible, sans que leurs performances ne soient dégradées

Qu'est-ce qu'un bon combustible?

		1	2	3
		100% Plaquettes forestières	50% plaquettes forestières 50% broyat palettes	100% broyat palettes
O2 brut sur sec	%	8,53	9,77	9,23
CO*	mg/Nm3	643,8	280,0	88,8
NOx*	mg/Nm3	251,0	343,0	354,0
COVT*	mg/Nm3	55,0	4,9	1,2
Particules*	mg/Nm3	39,7	44,3	6,4
SO2*	mg/Nm3	0,6	1,1	3,2
16 HAP*	ng/Nm3	2,30	3,20	4,50
Dioxines ITEQ*	pg/Nm3	0,00470	0,00350	0,00400
PCB ITEQ*	pg/Nm3	0,27	0,28	0,17

* à 6% d'O2 sur fumées sèches



Chaque combustible compte des avantages et des inconvénients

L'efficacité énergétique des chaudières industrielles bois

- Les chaudières industrielles sont vendues pour des rendements instantanés généralement supérieurs à 85% , les rendements d'exploitation tournent autour de 80% voire plus, sur les plus grosses installations
- Les opérateurs adaptent les réglages des chaudières à la qualité du combustible entrant
- Les performances énergétiques actuelles sont très bonnes :
 - La qualité de la combustion est maîtrisée : peu d'imbrûlés solides et gazeux
 - CO : largement à moins de 1000 ppm
 - Imbrûlés dans les cendres moins de 20%

Pour mémoire

Réduire le CO de 100 ppm \Rightarrow + 0,05 % η

Réduire le taux d'imbrûlés des cendres de 10% \Rightarrow + 0,2 % η

Réduire la température des fumées de 20°C (hors condens.) \Rightarrow + 1 % η

L'efficacité énergétique des chaudières industrielles bois

- Il y a cependant encore quelques voies d'amélioration
- La condensation des fumées est la piste la plus prometteuse , pour une température de retour de l'eau < 50°C
 - Gain de 10 à 15 pts de rendement
 - Valorise l'humidité du combustible
 - Permet d'atteindre le bon compromis qualité combustible/rendement
- Amélioration des performances à faible allure
 - Réductions des pertes de la chaudière
 - Amélioration du rendement d'exploitation
 - Augmentation du taux d'engagement



Les performances environnementales

- Les impacts sont essentiellement dus aux émissions des fumées.
- On peut classer ces émissions en 4 familles :

– Particules

– NOx

– Molécules organiques

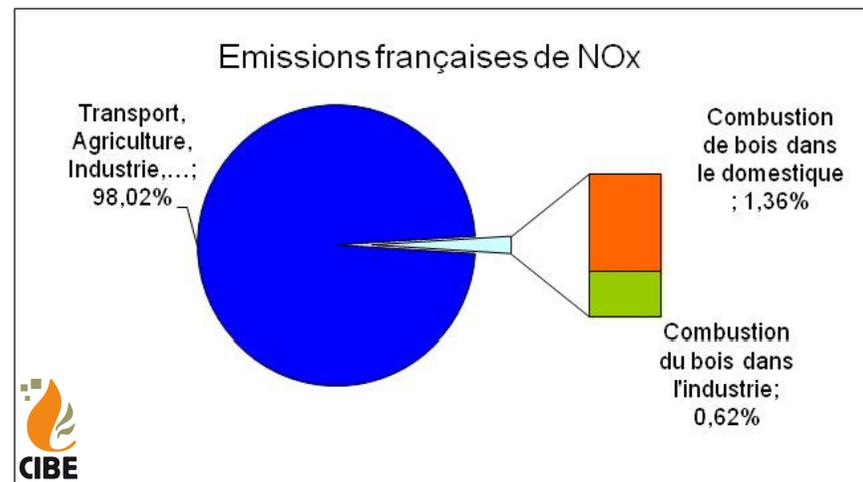
– Eléments traces métalliques (ETM)

Les oxydes d'azote

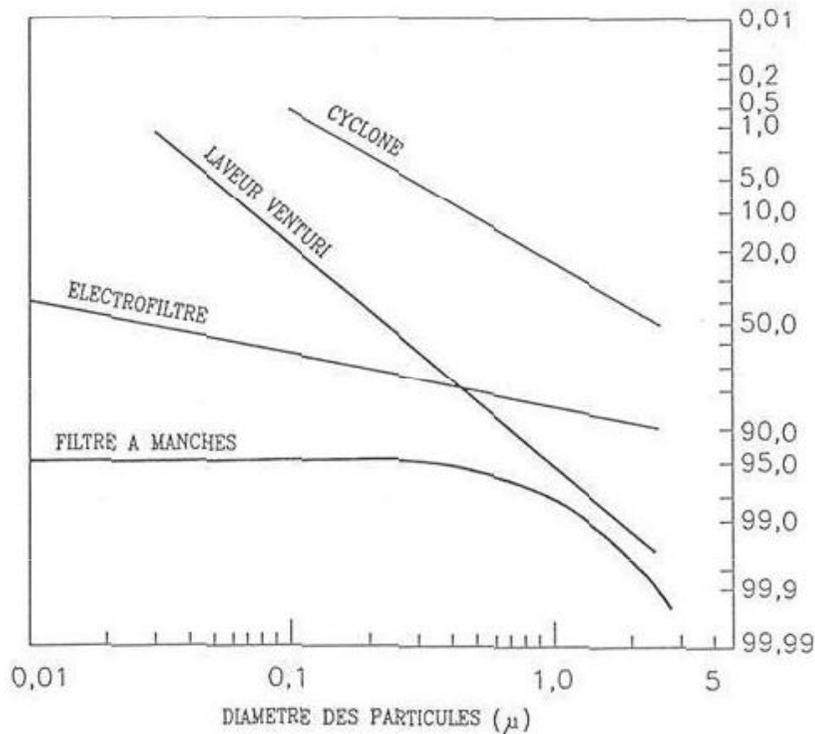
- Ils sont créés dans la combustion à partir :
 - de l'azote contenu dans le combustible (NOx combustible)
 - de l'azote de l'air à hautes températures (NOx thermiques)
- Leur maîtrise est en partie possible par des actions sur la conception des installations :
 - Étagement de la combustion
 - Augmentation du temps de séjour \Rightarrow foyer plus volumineux
 - Recirculation des fumées
- Leur production restera dépendante de la teneur en azote du combustible... qui n'est pas une donnée facile à prévoir

Le potentiel de réduction des oxydes d'azote

- Des marges de progression existent pour les nouvelles installations qui peuvent être dimensionnées en fonction des nouvelles contraintes réglementaires
- La situation est beaucoup plus figée sur les installations existantes
- Et il faut remettre en perspective les émissions de NOx de chaudières biomasse avec celles des autres sources fixes ou mobiles)



Les dispositifs de dépollués



EFFICACITE COMPAREE DES PRINCIPAUX TYPES DE DEPOUSSEIERS SUIVANT LA GRANULOMETRIE DES PARTICULES.

Multi-cyclones (MC)	Moins de 150 mg/Nm ³ à 11% d'O ₂
Filtre à manches (FAM)	10 à 30 mg/Nm ³ à 6 % d'O ₂
Electrofiltre (EF)	<ul style="list-style-type: none"> - Simple champ après MC : 50 mg/Nm³ à 6% d'O₂ - Double champs sans MC : 50 mg/Nm³ à 6% d'O₂ - Triple champs : moins de 30 mg/Nm³ à 6% d'O₂

Emissions de particules et Eléments Traces Métalliques

- Illustration : impact de la mise en place d'un filtre à manches sur les émissions de 6 métaux d'une chaudière expérimentale

- Projet PHYTOPOP (ANR PRECOD coordonné par l'Université de Lorraine avec le CEA, COFELY, CNRS, FCBA, INRA

**Réduire les poussières
=
Réduire quasiment
d'autant les ETM**

	Sans filtre à manches		Avec filtre à manches	
	Min (mg/Nm ³)	Max (mg/Nm ³)	Min (mg/Nm ³)	Max (mg/Nm ³)
Cd	0,01	0,6	0,003	0,004
Cr	0,01	0,03	0,005	0,01
Cu	0,01	0,06	0,01	0,02
Ni	0,01	0,02	0,01	0,02
Pb	1	2	0,01	0,02
Zn	10	30	0,3	0,5

Retour d'expérience dépoussiérage

- Travaux de la commission
Retour d'expérience du CIBE

www.cibe.fr



Comité Interprofessionnel du Bois-Energie

**SYNTHESE DES ATOUTS ET FAIBLESSES
DES MODES DE DEPOUSSIERAGE DES FUMÉES
(MULTICYCLONE, ELECTROFILTRE
ET FILTRE A MANCHES)**

Document interne ^(*)

Résumé

Description d'un multicyclone, d'un électrofiltre et d'un filtre à manches et analyse de leurs caractéristiques : efficacité sur les polluants gazeux, coûts d'investissement et d'exploitation, sensibilité aux hautes températures et à l'humidité, bruit, installation, encombrement... Causes d'incendie des filtres à manches et recommandations de conception / exploitation pour les éviter.

Document produit par la commission 3 « Retour d'expériences de conception, construction et exploitation »

Rédacteur : Christophe PASCUAL (Cofely Cylergie), collectif

Date de première émission : Janvier 2010

Date de la présente version : Janvier 2010

Référence : 2010-REX-1

^(*) Le CIBE attache une importance toute particulière à la vérification des informations qu'il délivre. Toutefois ces informations ne sauraient être utilisées sans vérifications préalables par le lecteur et le CIBE ne pourra être tenu pour responsable des conséquences directes ou indirectes pouvant résulter de l'utilisation, la consultation et l'interprétation des informations fournies. L'utilisateur est seul responsable des dommages et préjudices, directs ou indirects, matériels ou immatériels des lors qu'ils auraient pour cause, fondement ou origine un usage du présent document.

Coût d'investissement dispositifs de filtration

- Coût en k€/MW_{th}

P chaudière	Multicyclones	Filtre à manches	Electrofiltre
< 0,5 MW	≈ 10	150 à 250	150 à 200
0,5 à 1 MW	≈ 10	100 à 150	120 à 160
0,5 à 2 MW	5 à 8	36 à 115	39 à 110
2 à 4 MW	3 à 5	43 à 47	34 à 60
> 4 MW		40 à 50	40 à 50

- Les ratios coût/performance sont très voisins entre EF et FAM

Surcoût d'investissement EF et FAM :

- de l'ordre de 20 % pour 3 MW
- peut monter à 60 % pour les plus petites

L'exploitation des dispositifs

	Multicyclones	Filtre à manches	Electrofiltre
ΔP (mmCE)	jusqu'à 100	jusqu'à 200	environ 15
Consommation électrique	élevée	2 kWh/MWh _{th} environ	faible
Entretien	-	Changement des manches (4 à 10 ans) Pour 4 MW (300 m ²) : 9 à 33 k€ le jeu	Changement des isolateurs (3 à 10 ans) Changement frappe (5 à 10 ans)
Sensibilité aux hautes températures	non	160 à 250°C max en continu, fonction du média	non
Sensibilité à l'humidité	non	Colmatage irréversible des manches	non
Bruit	non	Décolmatage (faible)	Frappage (fort)
Qualification du personnel	RAS	RAS	Intervention HT

Quelques exemples d'émissions de chaudières actuelles

P chaudière	3,2 MW	4,5 MW	2,6 MW	4 MW	6 MW	7,2 MW	2 MW	6 MW	5,1 MW	6 MW	0,5 MW
année construction	2006	2002	2006	2005	2006	2007	2010	2010	2011	2009	2009
Dépoussiérage	MC	EF	MC	EF	FAM	EF	FAM	FAM	EF	FAM	
O _{2ref} (%)	11	11	11	11	6	11	11	11	11	6	11
O ₂ (1)	9	7,6	8	9,6	6,7	10,15	9,8	9,6	8,7	7,1	11
SO _x (2)	19	10	105	8	4	-	0,4	1,4	62	23	72
NO _x (2)	163	392	470	269	225	151	135	121	223	286	171
particules (2)	40	13	177	8	16	-	6,3	7,3	0,7	0,2	3,7
CO (2)	76	74	152	99	76	554	162	73	22	36	88
COV (éq CH ₄) (2)	30	2	-	0,5	6	-	3,4	2,2	1	0,8	2,3
allure (%)	25-40%	1	100	75	-	39	100	100	80	100	100
dioxines (3)	-	-	-	-	0,0047	0,0313	-	-	-	0,0013	-

(1) % fumées sèches

(2) mg/Nm³ fumées sèches à O_{2ref}

(3) ng ITEQ/Nm³ fumées sèches à O_{2ref}

... et leur traduction en facteurs d'émission

- Tableau des facteurs d'émission

- Hypothèses de calcul

- Mesures à l'émission d'organismes de contrôle
 - Calcul des rendements de combustion à partir des rapports d'intervention
 - Rapport rendement d'exploitation/rendement de combustion = 0,9

- Valeurs chaufferies industrielles

	Min	Max	Moy	Med
NO_x (1)	254	985	475	370
particules (1)	1	371	69	20
CO (1)	46	1161	270	157
COV (1)	1	63	11	4
dioxines (2)	0,0018	0,0656	0,0247	0,0066

(1) mg/kWh comb

(2) ng ITEQ/kWh comb

**Valeurs
OMINEA (1)
converties
g/MWh**

NO_x (2)	720
particules (2)	360
CO (2)	900
COV (2)	17,28
dioxines (3)	0,144

(1) Etude CITEPA

(2) mg/kWh

(3) ng ITEQ/kWh

1g/JG = 3,6mg/kWh

Les dernières évolutions de la gamme de WEISS

- Comment un constructeur intègre-t-il la nécessaire amélioration des performances énergétiques et environnementales de ses matériels?

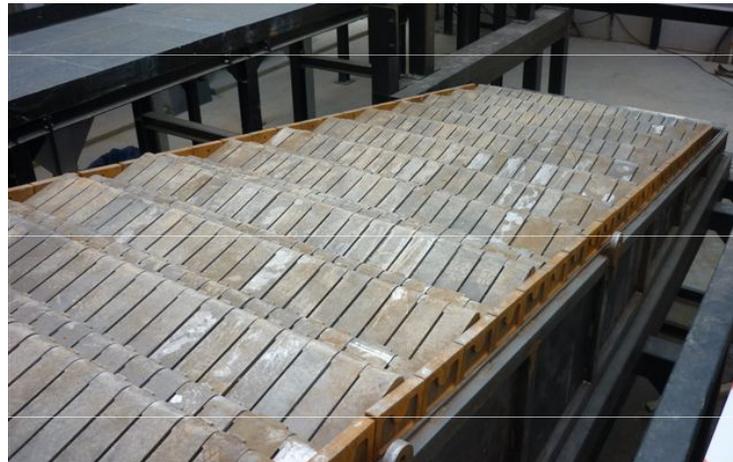


Meilleures techniques disponibles

- Les installations les plus performantes à l'heure actuelle permettent de garantir en continu les rejets suivants :
 - $\text{NO}_x < 250\text{mg/Nm}^3$ à 6% d'O₂
 - $\text{CO} < 150\text{mg/Nm}^3$ à 6% d'O₂
- Possibilité d'ajouter un traitement des NO_x par SNCR pour rejets $< 180\text{mg/Nm}^3$ à 6% d'O₂

La grille de combustion

- Les grilles de combustion sont largement dimensionnées de manière à :
 - Limiter la dégradation de la puissance avec les combustibles à faible PCI
 - Permettre de brûler des combustibles à granulométrie élevée (morceaux hors gabarit)



La chambre de combustion

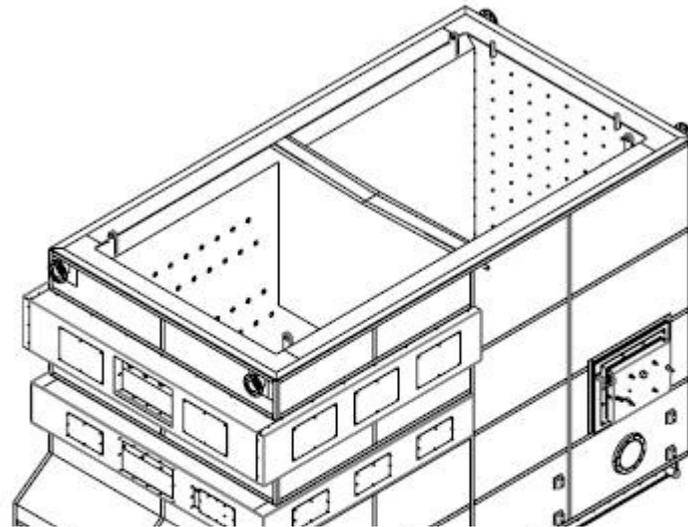
- Volume de combustion important :
 - Temps de séjour des fumées suffisant :
 - Pour la destruction du CO après injection d'air secondaire
 - Pour permettre l'injection éventuelle d'urée (DeNOx)

Refroidissement des parois

- Pour assurer la gestion des températures internes (émissions de NOx), les chambres de combustion sont refroidies à l'eau
- Le mode de refroidissement dépend du type d'installation, et en particulier de la pression de service
- 3 possibilités : lame d'eau, tubes d'eau noyés et tubes d'eau membranés
- 2 avantages supplémentaires :
 - Réduction des pertes aux parois
 - Récupération de l'énergie radiative

Refroidissement par lame d'eau

- Cette conception convient pour les chaudières basse pression avec en général un timbre inférieur à 16 bar.



ERROR: stackunderflow
OFFENDING COMMAND: ~

STACK: