

Expertise de 10 chaufferies collectives au bois, analyse et recommandations

Valuation of 10 collective wood boilers, analyses and recommendations

Philippe LE LOUER*, Jean-Léonce KORCHIA**

Résumé

Le présent rapport est un retour d'expérience sur dix chaufferies collectives au bois aidées par l'ADEME dans le cadre du programme Bois-Énergie 2000-2006.

L'analyse des dix chaufferies montre que :

- l'humidité moyenne du bois utilisé est de 30 %, pour un PCI*** voisin de 3 500 kWh/t ;
- le rendement global moyen des chaufferies bois est bon lorsque le taux de charge est conséquent ;
- les rejets atmosphériques sont limités lorsque la chaudière est bien dimensionnée aux besoins énergétiques du site ;
- les problèmes techniques sont souvent liés à la mauvaise qualité du bois.

Les recommandations en vue d'améliorer la technologie doivent notamment porter sur :

- l'amélioration de la qualité du bois ;
- la vente de bois au contenu énergétique ;
- le suivi énergétique des chaufferies ;
- l'exploitation des chaufferies.

Le dimensionnement doit être réalisé de telle sorte que le taux de charge de la chaudière bois soit régulièrement supérieur à 25 %.

Mots clés

Chaudière bois. Rendement. Émissions. PCI.

Abstract

The present study consists in carrying out energy expertises and measurements of pollutants on ten wood boilers ranging between 80 kW to 5 000 kW. This study was supported by ADEME within the Wood-Energy 2000-2006 program.

The main results achieved give the following information:

- The average of the wood humidity is 30%, for ICV**** about 3 500 kWh/t;
- The global average yield of the boiler is good when the thermal load is maintained at a high level;
- Atmospheric emissions are limited when the technology is well dimensioned to the site, we notice thus some difficulties for many sites to keep CO emission between threshold limits, the emission of dust could only be significant (between 55 to 219 mg/Nm³);
- On the plan of dysfunctions, a major defect is the defect of the feeding system and it has often for origin the poor quality of wood.

The recommendations which can improve the technology must especially support on:

- The improvement of wood quality, mainly concerning size distribution and quantity of impurities. It is strongly recommended as these parameters were controlled by the furnishers, before delivery to the wood boiler;
- The price of wood backed up on energetic value instead of volume or weight;
- The energetic follow-up of boiler that could give useful information for the detection of bad working conditions (regulation, combustion). This energetic follow-up needs to improve monitoring on the sites (emission monitoring, energy counters, ...).

The design must be realized so that the thermal load of the boiler room is regularly maintained up to 25%.

Keywords

Wood boiler. Yield. Emissions. ICV.

* LECES S.A.S. – Voie Romaine – BP 40223 – 57282 Maizières-lès-Metz Cedex – E-mail : philippe.lelouer@leces.fr

** IOSIS Conseil – 4 rue Dolores – IBARRURI – TSA 10 008 – 93188 Montreuil Cedex – E-mail : jl.korchia@iosisgroup.fr

*** PCI : Pouvoir calorifique inférieur.

**** ICV : Inferior Caloric Value.

1. Introduction

En 2004, LECES en collaboration avec IOSIS Conseil (SECHAUD Ingénierie) a réalisé une expertise de fonctionnement de dix chaufferies bois dans le cadre du programme Bois-Énergie 2000-2006.

Les objectifs de l'étude sont multiples :

- mesurer les performances environnementales des chaudières *in situ* (plus spécifiquement les émissions de polluants) afin de vérifier le respect des réglementations en vigueur ;
- appréhender le fonctionnement général de chaque site et établir des recommandations quant à son amélioration ;
- établir des recommandations visant plus spécifiquement le perfectionnement de la technologie bois, l'amélioration de la réalisation de projets (dimensionnement) et un meilleur contrôle des émissions de polluants.

2. Rappel du programme d'étude

Les dix chaudières investiguées ont les caractéristiques présentées dans le Tableau 1.

Il s'agit d'équipements collectifs destinés au chauffage de bâtiments associés ou non à d'autres unités.

Les investigations sur ces équipements ont porté sur l'évaluation :

- du rendement instantané pendant les mesures, du taux de charge sur la saison de chauffe ;
- des émissions de polluants (poussières, CO, NO_x, SO₂, COV) en liaison avec les paramètres énergétiques.

3. Résultats de la campagne d'étude

Les principaux résultats de la campagne peuvent être analysés sous les aspects énergétique et pollution avec en complément un certain nombre de remarques et recommandations.

3.1. Aspect énergétique

Les données énergétiques que les mesures ont permis de calculer sont résumées dans le Tableau 2.

Les rendements instantanés évalués sont compris entre 73 % et 91 %. La constatation générale est que le rendement global moyen d'exploitation de la chaudière est mauvais lorsque le taux de charge est faible. Le rendement est ainsi étroitement lié aux besoins énergétiques. Plus ils sont conséquents, meilleur est le rendement.

Les rendements instantanés évalués d'après les mesures sont compris entre 73 % et 91 %. Les rendements instantanés sont dans l'ensemble très acceptables comparativement à certains rendements globaux. Ceci montre que la technologie des chaudières bois est fiable énergétiquement lorsque le taux de charge est maintenu le plus souvent possible à un niveau supérieur à environ 25 % de la puissance thermique nominale, comme l'indiquent d'ailleurs les fabricants.

Les analyses réalisées sur le bois ont donné les résultats suivants :

- l'humidité mesurée du bois aux dates de prélèvements est comprise entre 17 et 47 % pour une moyenne inférieure à 30 % (28 %) ;
- le PCI du bois mesuré est compris entre 2 500 et 4 200 kWh/tonne, pour une moyenne d'environ 3 500 kWh/tonne.

Ces résultats montrent une forte variabilité des caractéristiques des combustibles selon les sites.

Tableau 1.
Présentation des chaudières étudiées.

Référence chaudière	Puissance chaudière kW	Puissance chaufferie kW	Type combustible	Utilisation
A	540	540	Plaquettes (bois industriel, rémanents, élagage, DIB)	Chauffage logements et bâtiments
B	750	750	Plaquettes (résineux et bois exotique)	Chauffage hôpital
C	80	80	Plaquettes (bois industriel, rémanents, élagage, DIB)	Chauffage bâtiments municipaux
D	400	1 000	Sciures et copeaux (bois industriel)	Chauffage centre d'ergothérapie
E	2 750	2 250	DIB, sous produits forestiers	Chauffage bâtiments municipaux
F	186	186	Chutes et copeaux du site (résineux)	Chauffage bâtiment industriel
G	1 750	5 250	Copeaux (bois forestier)	Chauffage bâtiments municipaux
H	580	1 520	Copeaux (bois forestier)	Chauffage collège
I	380	1 130	Palettes forestières	Chauffage piscine
J	700	700	Plaquettes et copeaux	Chauffage bâtiments municipaux

Tableau 2.
Données énergétiques mesurées sur les chaudières à bois.

Référence chaudière	Puissance chaudière kW	Rendement instantané* %	Taux de charge instantané** %	Taux de charge moyen sur la saison de chauffe %	Durée de marche (h/an)
A	540	73	19	9	481
B	750	88	36	40	2 229
C	80	81	45	8	462
D	400	87	29	22	1 250
E	2 750	84	53	21	1 870
F	186	76	138	25	2 204
G	1 750	87	78	25	1 741
H	580	91	139	–	–
I	380	86	117	56	3 098
J	700	89	80	29	1 639

* Rendement instantané : rendement pendant la campagne de mesure.

** Taux de charge instantané : taux de charge pendant la campagne de mesure.

3.2 Émissions atmosphériques

Les mesures réalisées sur les chaudières ont donné les résultats, classés par puissance d'installation, présentés dans les tableaux 3 à 5.

La réglementation ne précise pas de seuils de rejets atmosphériques pour les chaufferies dont la

puissance thermique maximale n'excède pas 2 000 kW (arrêté du 25 juillet 1997 relatif aux installations dont la puissance thermique maximale est supérieure à 2 MW et inférieure à 20 MW).

Dans ces conditions, il n'y a que les chaufferies E et G qui rentrent dans un cadre réglementaire.

Tableau 3.
Comparaison à l'arrêté du 25 juillet 1997 pour les chaufferies (P > 2 MW).

Référence chaudière	CO (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)	SO ₂ (mg/Nm ³)	COV (mg/Nm ³)	Poussières (mg/Nm ³)
E	755	767		0	125
G	432	268	6	462	105
Arrêté 25-07-07	250	500	200	50	150

Tableau 4.
Émission des chaufferies (0,3 MW < P < 2 MW).

Référence chaudière	CO (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)	SO ₂ (mg/Nm ³)	COV (mg/Nm ³)	Poussières (mg/Nm ³)
A	3 603	124	37	61	126
B	41	183	3	5	61
D	132	231	19	42	55
H	688	156	–	17	219
I	12	276	6	23	62
J	477	127	–	64	84

Tableau 5.
Comparaison à la Norme EN 303-5 pour les chaufferies (P < 0,3 MW).

Référence chaudière	CO (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)	SO ₂ (mg/Nm ³)	COV (mg/Nm ³)	Poussières (mg/Nm ³)
C	1 387	140	17	24	2 649
F	746	115	< 5	< 5	74
Norme EN-305-5	1 200 à 12 500	–	–	80 à 1 250	125 à 180

Pour les autres chaufferies, la norme EN 303-5 précise des seuils de rejets atmosphériques des chaudières biomasses automatiques et manuelles jusqu'à une puissance utile de 300 kW. Il s'agit de préconisations envers les fabricants. Les chaufferies C et F rentrent dans ce cadre.

Pour les chaufferies dont la puissance est comprise entre 0,3 et 2 MW, il n'existe pas de texte de référence. Cependant, pour l'ensemble des installations, le comparatif avec la norme et la réglementation montre :

- le respect de la réglementation sur le CO serait le plus difficile à obtenir puisque 5 chaufferies sur 8, dont les 2 installations qui rentrent dans le cadre réglementaire, sont au-delà de la limite fixée à 250 mg/Nm³ ;
- les limites réglementaires concernant les COV et les poussières sont dépassées pour 2 chaufferies sur 8, et pour 1 chaufferie sur 8 concernant le NO_x ;
- comparativement à la norme, 2 chaufferies sur 8, dont une pour laquelle la norme s'applique, ont des rejets de poussières supérieurs à la valeur de 180 mg/Nm³.

Les hypothèses émises qui peuvent expliquer les dépassements sont les suivantes :

- pour le CO : faible taux de charge, besoin de plus d'air primaire par rapport à l'air secondaire, diminution de température de consigne du foyer, charge trop élevée ;
- pour les poussières : manque de nettoyage, dimensionnement du dépoussiéreur, charge trop élevée.

Il est d'ailleurs révélateur de constater très fréquemment un parallèle entre le taux de charge et les rejets. En effet, lorsque la charge est régulière et assez conséquente, le rendement global est bon, et les rejets sont limités.

3.3. Constats et recommandations

Les recommandations formulées ont concerné les aspects suivants :

3.3.1. Le combustible

L'un des facteurs à l'origine de la majorité des incidents sur les chaudières est la qualité du combustible : dimensions et impuretés. On observe un effet de taille des morceaux, la présence d'objets métalliques, de cailloux, voire de terre.

La qualité de combustible a des répercussions sur les éléments suivants :

- les échelles d'alimentation et les espacements ;
- les puissances demandées par les centrales hydrauliques ;
- le dispositif d'évacuation des cendres (vis ou racleur selon le débit) ;
- la tenue des grilles du foyer.

Il n'est pas envisageable d'éliminer ces impuretés à l'arrivée, lors du déchargement des camions. La

séparation par une grille ne peut être que partielle puisque les morceaux longs ne sont pas forcément retenus.

Il faut ainsi que les fournisseurs de bois agissent en amont avec rigueur de façon à limiter au maximum les impuretés. Il serait d'ailleurs bon d'envisager d'instituer à terme un label pour les fournisseurs, afin de responsabiliser encore plus la profession.

Le second critère de qualité est l'humidité qui a des répercussions sur les émissions atmosphériques, sur la charge de la chaudière, sur la tenue des grilles et sur l'évacuation des cendres.

Le cahier des charges prévoit un bois dont l'humidité est comprise entre une limite basse et une limite haute. Or, il se trouve que les livraisons sont parfois hors limites avec notamment une humidité trop élevée. Les sites n'ont pas les moyens de vérifier cette humidité. La solution consisterait dans l'investissement d'un analyseur d'humidité.

La vente de bois se fait actuellement au volume ou au mieux au poids. Il n'y a ainsi aucune estimation de la valeur énergétique du bois à la livraison.

Avec la connaissance du taux d'humidité et du tonnage de bois, on peut remonter à la valeur énergétique. En effet, le PCI du bois est une fonction linéaire de l'humidité qui répond à la formule approchée suivante :

$$PCI = PCI_0 \times (100 - M) / 100 - 6 \times M$$

PCI₀ : PCI du bois sec

M : humidité du bois à la livraison

Pour obtenir le PCI, il serait donc très opportun que les sites puissent vérifier l'humidité à la livraison. L'investissement dans un analyseur d'humidité équilibré plus haut s'impose donc d'autant plus. Ce mode de vente est très souple pour l'exploitant car cela lui permet de régler ses paramètres de conduite immédiatement, et ainsi faire appel éventuellement à plusieurs fournisseurs. Cela nécessite toutefois que soit établi un protocole strict de vente de bois : livraisons pesées, analyse d'humidité à la réception.

3.3.2. Suivi énergétique

Le suivi énergétique d'une chaufferie bois est indispensable si l'exploitant veut détecter une anomalie de fonctionnement. Différentes méthodes s'offrent à lui s'il veut connaître le rendement de l'installation :

- la formule de Siegert nécessitant la connaissance des émissions (CO₂) ; la validité de cette formule a été vérifiée dans le cadre de l'étude ;
- le tableau de bord énergétique reportant les livraisons et l'énergie potentielle du bois, le relevé des différents compteurs d'énergie (délivrée par la chaudière, distribution...).

On remarque que, même s'ils disposent d'un compteur d'énergie, les sites ne les relèvent pas régulièrement. Des relevés réguliers permettraient de disposer d'informations importantes à la compréhension du fonctionnement de l'installation.



Figure 1.

Site E, silo accessible pour le déchargement et largement dimensionné.

Certains compteurs d'énergie gardent en mémoire le cumul des consommations à date fixe (par mois, par semaine...). Il serait donc intéressant que les sites aidés par l'ADEME soient informés de cette possibilité simple de conservation d'information.

D'autres dispositions peuvent aussi être envisagées pour améliorer le fonctionnement et le suivi :

- la régulation devrait intégrer la puissance thermique demandée par les besoins pour ne pas passer en surcharge. Or, actuellement, le taux de charge est mal géré (surcharge constatée sur un certain nombre de sites). Ceci permettrait de réduire les rejets atmosphériques ;
- le nettoyage de la chaudière devrait être réalisé régulièrement à l'aide d'un aspirateur industriel ;
- le dépoussiérage par multicyclones n'est pas adapté pour maîtriser des rejets de poussières ; d'autres techniques (électrofiltres, filtres à manches) peuvent être envisagées ;
- les teneurs élevées en COV et CO peuvent provenir d'un déficit d'air de combustion primaire. L'air secondaire vient rétablir une teneur en oxygène mais si la température a déjà chuté de façon trop importante, il n'est plus possible de détruire ces composés ;
- sur plusieurs sites, l'accès au silo est mal conçu et rend les manœuvres difficiles pour les camions, jusqu'à limiter la capacité de déchargement. Il est donc indispensable de bien penser la conception du silo lors de l'étude de génie civil. Par ailleurs, le silo est parfois dimensionné trop juste : il vaut mieux le surdimensionner.

3.3.3. Projets futurs de chaufferie bois

Les analyses ont montré que les chaufferies qui donnaient le plus satisfaction étaient celles dont les chaudières étaient bien dimensionnées. La règle de base pour les chaufferies bois est qu'il faut, autant que faire se peut, avoir un talon de consommation (piscine pour l'été par exemple).

C'est pour cette raison que la méthodologie de dimensionnement proposée ici met l'accent sur le taux de charge de la chaudière qui doit être, si possible, en permanence supérieur à environ 25 % de la charge nominale afin d'obtenir un fonctionnement optimisé.

Les bases du dimensionnement sont les suivantes :

- identifier la puissance thermique horaire nécessaire aux points d'utilisations en fonction de la température extérieure ;
- identifier la puissance thermique maximale nécessaire en chaufferie, en n'omettant pas d'inclure le rendement de distribution du circuit ;
- choisir la chaudière bois de telle façon qu'elle couvre environ 80 % des besoins thermiques ;
- identifier la part de la consommation qui ne pourra pas être couverte par la chaudière bois.

En effet, la chaudière d'appoint couvrira les consommations suivantes :

- la chaudière bois ne sera mise en fonctionnement au début de la saison de chauffe (octobre) que lorsque sa charge sera d'au moins 25 % pendant un laps de temps significatif (48 heures par exemple). Avant cela, priorité sera donnée à la chaudière d'appoint ;
- de même, dès que la charge de la chaudière bois, à la fin de la saison de chauffe (début avril-fin mai), sera significativement inférieure à 25 %, la chaudière d'appoint assurera le relais ;
- par ailleurs, les pointes de consommation, durant la saison de chauffe, seront assurées par la chaudière d'appoint.

La puissance totale en chaufferie sera dimensionnée de façon à pouvoir couvrir la totalité des besoins avec une réserve de puissance, qui sera appréciée suivant les utilisations potentielles. S'il n'y a pas de talon de

consommation identifiable, il est d'autant plus souhaitable de surdimensionner la chaudière d'appoint plutôt que la chaudière bois, de façon à pouvoir utiliser cette dernière convenablement et durablement durant la saison de chauffe.

4. Conclusion

Cette étude réalisée sur dix chaudières bois de puissance comprise entre 80 kW et 2 000 kW a permis de définir un état des lieux des rejets atmosphériques, des données énergétiques et des conditions d'exploitation.

Les émissions mesurées ont été comparées aux réglementations en vigueur. Il s'avère qu'une partie importante des chaudières étudiées dont la puissance est comprise entre 0,3 MW et 2 MW n'est soumise à aucun référentiel. Globalement, on relève quelques dépassements pour les installations soumises à réglementation, principalement pour les émissions de CO traduisant des combustions incomplètes (faible taux de charge, besoin de plus d'air primaire, température de foyer...).

Des recommandations ont été formulées pour améliorer le suivi et la maîtrise des installations concernant en particulier les approvisionnements en bois, le suivi énergétique des installations et le dimensionnement de nouvelles installations.