

Étude de la faisabilité technique et économique de chaudières domestiques au bois (bûches ou granulés de bois), à condensation

Technical and economical feasibility study of condensing heating boilers for solid fuel (log woods and pellets)

Dominique HANTZ*, Julien HEINTZ*, Nicolas DANTHONY**, Michel FUHLHABER***, Jérôme DEBARRE****, Lionel DRUETTE*****

Résumé

Le CETIAT et ses partenaires industriels, constructeurs de chaudières (Société industrielle de chauffage, De Dietrich Thermique) et fabricant de conduit de fumée (Poujoulat S.A.), avec un financement de l'ADEME ont réalisé une étude de faisabilité technique et économique de chaudières domestiques à bois fonctionnant sur le principe de la condensation. Cette étude s'inscrit dans le contexte de la réduction des impacts environnementaux des chaudières à combustible bois (bûches et granulés).

L'objectif visé est double :

- améliorer très nettement le rendement énergétique actuellement disponible ;
- réduire significativement les émissions polluantes, de façon à satisfaire les exigences réglementaires européennes actuelles et à l'horizon 2015.

Le projet s'est déroulé sur 20 mois selon les étapes suivantes :

- état de l'art sur la filière bois énergie, le contexte réglementaire, les solutions techniques existantes sur les chaudières fioul à condensation et sur les chaudières bois les plus performantes du marché ;
- définition des solutions techniques à mettre en œuvre sur des prototypes de chaudières à bois (bûches et granulés) ;

- évaluation de la problématique d'évacuation des produits de combustion et conception de solutions adaptées ;
- évaluation expérimentale d'une chaudière à granulés de bois et validation de la faisabilité technique ;
- conception, réalisation et évaluation expérimentale de deux prototypes de chaudières à bûches à condensation, l'un comportant un condenseur sur l'eau et l'autre un condenseur sur l'air ;
- étude de faisabilité économique des deux prototypes de chaudières à bûches à condensation.

L'étude a permis de conclure :

- à la faisabilité technique et économique d'une chaudière à condensation fonctionnant avec des granulés de bois. Ce produit, déjà disponible sur le marché, a été évalué et ses performances ainsi que sa durabilité se sont avérées à la hauteur des attentes. En effet, le rendement en régime de condensation dépasse 100 %. De plus, les émissions de polluants sont fortement réduites en régime de condensation ;
- à la faisabilité technique et économique d'une chaudière à bûches avec condenseur sur l'eau, sur un premier prototype. Ce prototype non optimisé a permis d'atteindre des rendements de 94/95 %, niveau actuellement non atteint en Europe. Les émissions de polluants sont également réduites grâce au fonctionnement en condensation ;

→

* Chargé d'études Direction scientifique du Centre technique des industries aérouliques et thermiques (CETIAT).

** Technicien d'essais au CETIAT.

*** Chef de Service Développement chaudières au sol De Dietrich Thermique.

**** Ingénieur au laboratoire R&D de la Société industrielle de chauffage.

***** Responsable du laboratoire CERIC, appartenant à la Société Poujoulat S.A.

- à la faisabilité technique d'une chaudière à bûches avec condenseur sur l'air, mais à sa non-pertinence économique.

Cette étude de faisabilité a donc mis en avant non seulement l'amélioration des rendements des chaudières, mais aussi l'impact positif du fonctionnement des chaudières avec le combustible bois en régime de condensation. En effet, ce mode de fonctionnement permet de réduire significativement les émissions de CO, COV et de poussières totales.

À terme, cette étude, si elle est complétée par un véritable développement de produits, peut conduire à la mise sur le marché de chaudières à condensation fonctionnant avec du bois (bûches ou granulés de bois).

Abstract

The CETIAT, in association with 2 boilers manufacturers partners (*Société industrielle de chauffage, De Dietrich Thermique*) and a French flue duct manufacturer (Poujoulat S.A.), with a financial support from ADEME, has studied the technical and economical feasibility of heating boilers for wood logs and pellets, based on the condensation principle. The study described in this article is dealing within the environmental impact reduction of heating boilers for solid fuel (wood logs and pellets).

The global objective is:

- To improve the efficiency compared to the present best available values on the heating boilers on the market;
- To reduce the pollutants emissions in order to meet the present and future (2015) European regulations.

This project with a duration of 20 months covers the following studies:

- State of the art of biomass energy industry, of the regulation scheme, of existing technical designs for oil condensing boilers and the most efficient biomass boilers;

- Definition of technical designs for demonstration boilers (wood logs and pellets);
- Evaluation of flue products concerns and dedicated designs;
- Experimental evaluation of a pellets boiler and validation of its technical feasibility;
- Design, manufacturing and experimental evaluation of 2 wood logs boilers samples, one including a water condenser and the other one an air condenser;
- Economical feasibility study of the 2 wood logs boilers samples.

This study reaches the following conclusions:

- The technical and economical feasibility of a pellet condensing boiler. The product already on the market has been evaluated and its performance and reliability has been proven to be adequate. The efficiency is greater than 100% in condensation regime. In addition the pollutant emissions are significantly reduced during condensing regime of the boiler;
- The technical and economical feasibility of a wood log condensing boiler by the use of a water condenser, on a first prototype basis. This non-optimised prototype has reached an efficiency of 94/95%, which is the highest level of efficiency for log wood boilers in Europe. The pollutant emissions are also reduced when the wood logs boiler is running in condensation mode;
- The technical feasibility of a wood log condensing boiler by the use of an air condenser, but its non-economic pertinence.

This feasibility study in conclusion demonstrates not only the efficiency gains of the solid fuel boiler, but also the positive impact on the use of solid fuel boiler in condensing regime. During condensation regime, the CO, VOC and total dusts are significantly reduced.

The current study, if completed by products development, can lead to the construction and selling of heating boilers with condensation for wood logs and pellets.

1. Introduction

Le CETIAT et ses partenaires industriels, constructeurs de chaudières (Société industrielle de chauffage, De Dietrich Thermique) et fabricant de conduit de fumée (Poujoulat S.A.), avec un financement de l'ADEME ont réalisé une étude de faisabilité technique et économique de chaudières domestiques au bois fonctionnant sur le principe de la condensation.

Cette étude s'inscrit dans le contexte de la réduction des impacts environnementaux des chaudières à combustible bois (bûches et granulés).

L'objectif visé est double :

- améliorer très nettement le rendement énergétique actuellement disponible ;
- réduire significativement les émissions polluantes, de façon à satisfaire les exigences réglementaires européennes actuelles et à l'horizon 2015.

L'étude s'est déroulée selon les 4 tâches suivantes :

1.1. Tâche 1 : état de l'art

Cette phase comprend une veille technico-économique ainsi qu'une veille technologique.

1. La partie veille technico-économique concerne les combustibles, l'aspect réglementaire lié à la combustion en chaudières bois ainsi qu'une analyse du contexte économique entourant le développement du secteur bois-énergie. Cette partie a permis l'établissement du cahier des charges des chaudières dont la faisabilité est à étudier.

2. La partie veille technologique comporte un état de l'art des solutions techniques actuellement utilisées sur les chaudières fioul à condensation ainsi qu'une analyse technique des chaudières bois performantes actuellement disponibles sur le marché.

Cette veille s'appuie ensuite sur l'étude technique complète d'une chaudière à condensation à granulés ÖKOFEN. Cette chaudière a été testée au CETIAT puis démontée afin de procéder à une analyse de ses différents composants.

Cette veille technologique comprend notamment :

- les phénomènes de corrosion rencontrés par différentes industries ayant recours à la combustion ;
- le lavage et l'épuration des fumées ;
- les technologies de combustion ;
- la modulation de puissance des chaudières ;
- les aspects sécurité de fonctionnement.

1.2. Tâche 2 : cahier des charges

Le cahier des charges s'est appuyé en grande partie sur la partie veille technico-économique concernant les combustibles et l'aspect réglementaire, traités en tâche 1 du projet. Il comporte une partie « application du produit » qui intègre une estimation de la plage de modulation nécessaire pour les chaudières à développer.

1.3. Tâche 3 : étude de faisabilité technique

L'étude de faisabilité technique a pour objectif de valider les options retenues lors de l'état de l'art. Elle comprend :

- la conception de prototypes à bûches et à granulés à partir de chaudières existantes par ajout de condenseurs ;
- la fourniture des condenseurs et conduits de fumée ;
- les essais de performances (rendements et mesures des émissions) sur ces deux prototypes de chaudières ;
- le démontage et l'analyse des composants.

1.4. Tâche 4 : étude de faisabilité économique

Cette tâche s'appuie sur le dimensionnement et les composants sélectionnés, ainsi que l'ensemble des résultats de la tâche 1 et les validations expérimentales et théoriques menées dans la tâche 3. Les partenaires industriels ont alors assuré le chiffrage des solutions retenues.

2. Déroulement du projet

2.1. Travaux de veille

Les travaux de veille réalisés lors de la première tâche de ce projet ont permis :

- de présenter l'organisation de la filière bois-énergie en France, de faire un état des lieux de la normalisation et de la certification des différents combustibles bois au niveau européen, de décrire les différents combustibles bois ainsi que leurs principales caractéristiques techniques et l'évolution des prix puis de détailler les principaux problèmes rencontrés lors de la combustion du bois ;
- de décrire les exigences réglementaires actuelles et à venir en France et en Europe sur les chaudières bois à bûches et à granulés, sur les conduits de cheminées et sur le traitement des condensats ;
- de recenser les différentes technologies de condenseur utilisées sur les chaudières fioul à condensation, d'analyser techniquement les chaudières bois performantes du marché et de décrire les choix technologiques possibles pour la conception de chaudières à condensation à granulés ou à bûches.

2.2. Cahier des charges des chaudières à condensation à étudier

En fonction des deux premières veilles, un cahier des charges auquel doivent répondre les chaudières à combustible bois, dont la faisabilité est à étudier, a été élaboré.

Les deux exigences essentielles concernent les rendements utiles et les émissions de polluants.

Le Tableau 1 présente les objectifs en termes de rendement utile.

Le Tableau 2 présente les objectifs en termes d'émissions de CO, d'imbrûlés gazeux (COV) et de poussières totales.

Tableau 1.
Exigences sur les rendements utiles sur PCI des chaudières à développer.
Objectives of efficiency of boilers to be developed (in term of LCV).

Type de chaudière	Performances actuelles	Objectifs visés dans ce projet		Objectif ADEME 2015
		Au régime nominal	En régime de condensation	
Chaudières à granulés	88 %	≥ 95 %	≥ 100 %	≥ 90 %
Chaudières bûches	82 %	≥ 90 %	≥ 95 %	≥ 80 %

Tableau 2.
Valeurs seuils d'émissions auxquelles les chaudières à développer devront répondre.
Emission threshold values of boilers to be developed.

Type de chaudière	Polluants	Émissions de polluants valeur en mg/Nm ³ à 10 % O ₂			
		Valeurs actuelles en France	Flamme verte 2008	Objectifs visés pour le projet (et provenance)	Objectif ADEME 2015
À chargement manuel	CO	2 100	8 000	1 000 projet Autrichien 2009 (440 label BimSchV au 01/01/2015)	3 000
	COV	100	225	55 (label OPAIR 01/01/2008 et projet autrichien pour 2009)	150
	Poussières	40 en moyenne 80 max	165	90 (Autriche) (22 label BimSchV au 01/01/2015)	150
À chargement automatique	CO	200	4 000	410 (label OPAIR 01/01/2008)	700
	COV	100	150	28 (label OPAIR 01/01/2008) 20 (projet autrichien pour 2015)	75
	Poussières	30 en moyenne 60 max	165	66 label BimSchV au 01/01/2007 (22 label BimSchV au 01/01/2015)	70

Nota :

- Les valeurs actuelles en France sont tirées de la base de données Flamme verte et des essais réalisés par le CETIAT. Statistiques sur 200 chaudières de 20 constructeurs.
- Les premières valeurs indiquées dans la colonne « objectifs visés » pour le projet sont celles en vigueur en Europe actuellement (en 2008).
- Les valeurs entre parenthèses sont issues des évolutions prévues par les réglementations à l'horizon 2015.

2.3. Évaluation expérimentale des performances de la chaudière à granulés à condensation ÖKOFEN

Dans le cadre de ce projet, la chaudière à condensation à granulés de bois ÖKOFEN Pellematic Plus PEK 15 a fait l'objet d'essais de performances et d'endurance. La Figure 1 présente cette chaudière en coupe. La condensation se fait grâce à un échangeur eau/fumées placé à l'arrière de la chaudière. Ce condenseur est constitué de tubes de fumées verticaux.

Cette évaluation a montré que l'unique chaudière à granulés de bois à condensation présente sur le marché (commercialisée par la Société ÖKOFEN) :

- atteint des niveaux de rendement supérieurs à 100 % en régime de condensation, conformes aux annonces du constructeur ;
- parvient à maintenir ses performances dans le temps ;

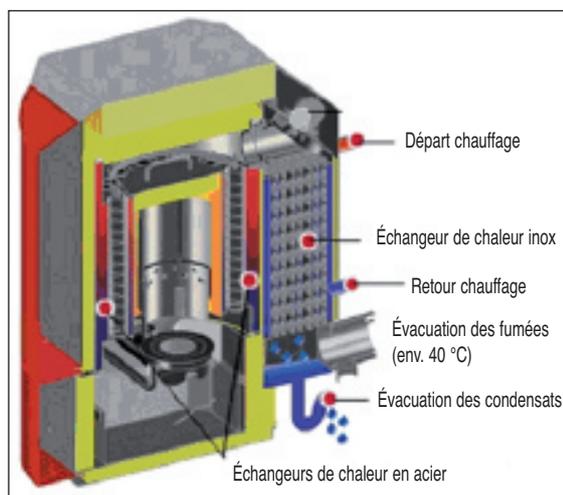


Figure 1.
Vue en coupe de la chaudière ÖKOFEN.
Open view of the ÖKOFEN boiler.

- présente une technique de mise en œuvre de la condensation efficace et sans risques pour le condenseur ni les autres composants, assurant ainsi une bonne fiabilité de fonctionnement ;
- affiche une complexité de régulation importante ;
- présente un niveau de prix élevé, mais amortissable relativement rapidement (< 10 ans) ;
- présente des émissions de polluants nettement inférieures aux objectifs fixés dans notre cahier des charges.

Le Tableau 3 présente une synthèse des résultats obtenus sur la chaudière à granulés de bois à condensation testée par le CETIAT en terme de rendement, émissions, coût et temps de retour et les compare avec les objectifs de notre cahier des charges, ainsi que les objectifs ADEME 2015.

Si l'on s'intéresse plus particulièrement aux émissions de polluants, cette chaudière à condensation à granulés de bois présente des niveaux d'émissions très faibles. De plus, lors d'un fonctionnement de la chaudière en régime de condensation, les émissions de CO, COV et poussières totales sont réduites par rapport à un fonctionnement sans condensation. La Figure 2 présente les émissions mesurées par le CETIAT au régime nominal sans condensation (température de l'eau de 60/80 °C à la chaudière) et au régime nominal avec condensation (température de l'eau de 30/50 °C dans la chaudière). La Figure 2 illustre également l'impact positif de la condensation sur le niveau des émissions.

De ce Tableau 3, on peut conclure positivement :

- sur la faisabilité technique d'une chaudière à granulés de bois à condensation ;

- sur sa faisabilité économique (temps de retour inférieur à 10 ans avec un crédit d'impôt à 50 %) ;
- sur l'impact positif quant à la réduction des émissions de polluants atmosphériques.

2.4. Étude de la faisabilité technique et économique d'une chaudière à bûches à condensation

Grâce à l'état de l'art réalisé lors de la tâche 1 de l'étude, deux solutions techniques ont ensuite été étudiées pour les appliquer à des chaudières à bûches :

- l'ajout d'un condenseur air/fumées ;
- l'ajout d'un condenseur sur l'eau.

2.4.1. Ajout d'un condenseur air/fumées

L'entreprise De Dietrich Thermique a réalisé au sein de son laboratoire un prototype de chaudière à bûches munie d'un condenseur à air en utilisant une chaudière à bûches à combustion inversée CBI 20 de puissance nominale 20 kW et en équipant celle-ci d'un condenseur à air utilisé sur une de leur chaudière fioul à condensation.

Un échangeur air/fumées équipé de 14 tubes en graphite est raccordé sur la buse de sortie des fumées. Les produits de combustion circulent entre les tubes et réchauffent l'air comburant qui est injecté dans les tubes à l'aide d'un ventilateur modulant. La Figure 3 est un schéma du prototype testé au CETIAT. La Figure 4 illustre l'échangeur air/fumées installé à l'arrière de la chaudière CBI 20.

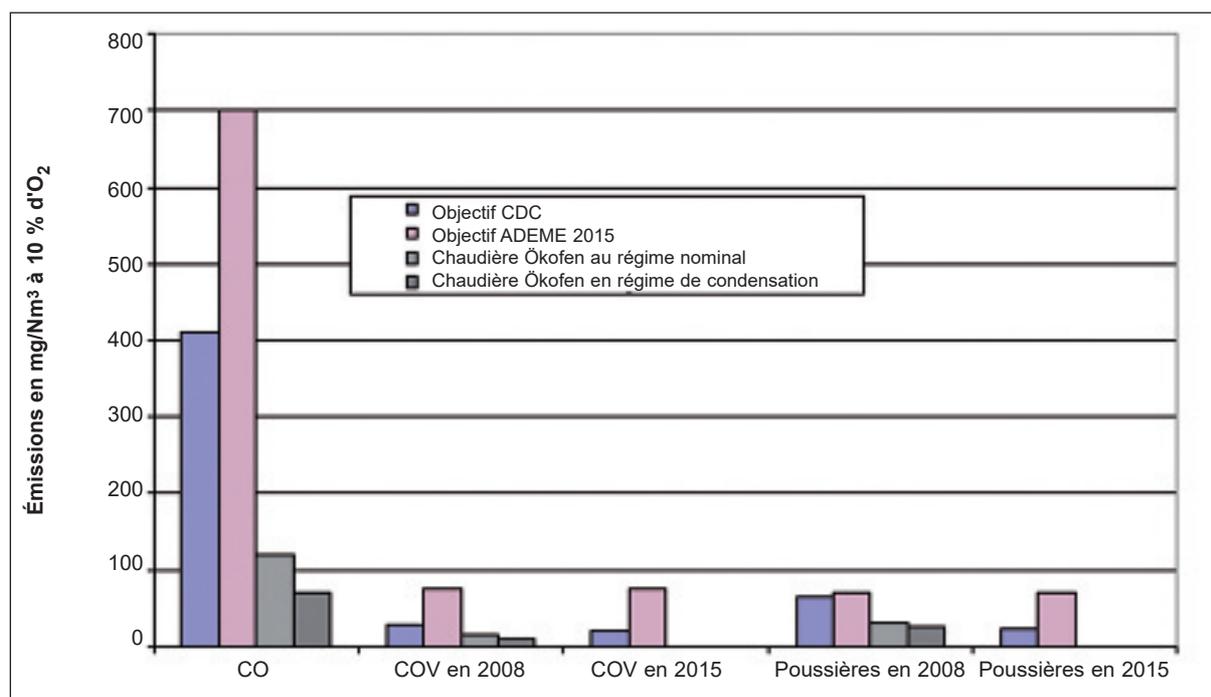


Figure 2.

Niveaux d'émission avec et sans condensation sur une chaudière à granulés de bois à condensation.

Emission levels with and without condensation in a pellet boiler with condensation.

Tableau 3.
Synthèse des résultats obtenus sur la chaudière à granulés de bois à condensation.
Synthesis of results in a pellet boiler with condensation.

Paramètres	Objectif cahier des charges	Objectif ADEME 2015	Valeurs obtenues	Commentaires
Rendement à charge nominale 60/80 °C	≥ 95 %	≥ 90 %	94 %	Quasiment à l'objectif du CDC
Rendement en régime de condensation à 30/50 °C	≥ 100 %	≥ 90 %	101-102 %	Objectif CDC atteint Les performances sont maintenues dans le temps Le principe du lavage du condenseur est très pertinent
Émissions de CO à la puissance nominale à 60/80 °C en mg/Nm ³ à 10 % d'O ₂	410	700	120	Objectif atteint
Émissions de CO à la puissance nominale à 30/50 °C en mg/Nm ³ à 10 % d'O ₂	410	700	70 après endurance	Objectif atteint La condensation réduit les émissions
Émissions de COV à la puissance nominale à 60/80 °C en mg/Nm ³ à 10 % d'O ₂	28 (20 en 2015)	75	16 après endurance	Objectif atteint La condensation réduit les émissions
Émissions de COV à la puissance nominale à 30/50 °C en mg/Nm ³ à 10 % d'O ₂	28 (20 en 2015)	75	< 10 après endurance	Objectif atteint La condensation réduit les émissions
Émissions de poussières à la puissance nominale à 60/80 °C en mg/Nm ³ à 10 % d'O ₂	66 (22 en 2015)	70	30 après endurance	Objectif CDC actuel atteint La condensation réduit les émissions Des améliorations sont nécessaires pour l'échéance 2015
Émissions de poussières à la puissance nominale à 30/50 °C en mg/Nm ³ à 10 % d'O ₂	28 (22 en 2015)	70	25 après endurance	
Prix HT public Chaudière + stockage + système d'alimentation	< 12 000 EUR	/	8 500 euros chaudière seule	En intégrant le stockage et le système d'alimentation, il faut rajouter entre 2 500 et 4 000 euros, proche du cahier des charges initial
Temps de retour	Maxi 15 ans	/	< 10 ans	Avec crédit d'impôt de 50 % et avec un prix fixe des granulés à 340 euros/tonne

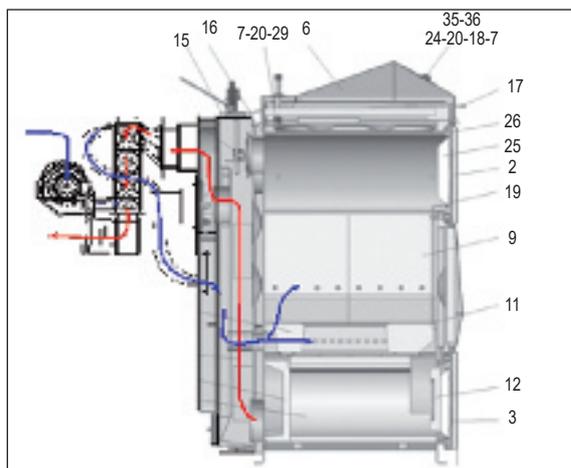


Figure 3.

Schéma de principe du condenseur sur l'air ajouté sur la chaudière CBI.

General view of the condenser added on the CBI boiler.



Figure 4.

Prototype condenseur sur l'air ajouté sur la chaudière CBI.

Condenser prototype added on the CBI boiler.

Ce prototype a été testé au CETIAT, mais le sous-dimensionnement de l'échangeur à air nous a conduits à concevoir ce prototype par calcul théorique.

Le Tableau 4 propose une synthèse sur cette solution avec l'échangeur air/fumées. Cette synthèse présente les résultats obtenus en termes de rendement,

émissions, coût et temps de retour et les compare avec les objectifs de notre cahier des charges, ainsi que les objectifs ADEME 2015.

Le Tableau 4 montre que les objectifs de rendement peuvent être tenus en ajoutant un condenseur sur l'air sur une chaudière à bûches (gain d'environ

Tableau 4.
Synthèse des résultats obtenus sur la chaudière à bûches de bois avec un échangeur air/fumées.
Synthesis of results on the wood log boiler with heat air/smoke exchanger.

Paramètres	Objectif cahier des charges	Objectif ADEME 2015	Valeurs obtenues (estimées)	Commentaires	
Chaudière à bûches de bois avec échangeur air/fumées	Rendement à charge nominale 60/80 °C	≥ 90 %	≥ 80 %	91 % (+ 6 %/85 %)	Objectif CDC atteint, nettement supérieur à l'objectif ADEME 2015
	Émissions de CO à la puissance nominale à 60/80 °C en mg/Nm ³ à 10 % d'O ₂	1 000 (440 en 2015)	3 000	Non évaluées	
	Émissions de COV à la puissance nominale à 60/80 °C en mg/Nm ³ à 10 % d'O ₂	55	150		
	Émissions de poussières à la puissance nominale à 60/80 °C en mg/Nm ³ à 10 % d'O ₂	90 (22 en 2015)	150		
	Prix HT public	< 8 000 €	/	Environ 18 900 €	Objectif non atteint (crédit d'impôt non compté) Surcoût de 14 300 euros sans crédit d'impôt Surcoût de 7 150 euros si crédit d'impôt de 50 %
	Temps de retour	Maxi 15 ans	/	15 ans	Avec crédit d'impôt 50 % et une hausse de 20 % par an du bois bûches Sans crédit d'impôt et une hausse de 40 % par an du bois bûches
Conclusion : les objectifs de rendement peuvent être tenus avec cette solution, mais les aspects coûts la rendent absolument rédhibitoire					

6 % au régime nominal). Il montre surtout que les aspects coûts rendent cette solution absolument rédhibitoire. En effet, le prix public HT du condenseur a été estimé à plus de 13 000 euros.

Le prototype n'ayant pu être testé, nous n'avons pas pu évaluer l'impact d'un fonctionnement en régime de condensation sur les émissions de polluants.

2.4.2. Ajout d'un condenseur eau/fumées

L'entreprise SIC a réalisé au sein de son laboratoire un prototype de chaudière à bûches munie d'un condenseur à eau en utilisant une chaudière classique Novabois 4020 de puissance nominale 20 kW et de rendement 80 % à charge nominale et en équipant celle-ci d'un condenseur à eau utilisé sur une de leur chaudière fioul à condensation. Le condenseur ajouté en sortie de fumées est un condenseur à tubes d'eau horizontaux (17 tubes). La Figure 5 est un schéma du prototype testé au CETIAT.

Ce prototype a été testé au CETIAT en termes de rendement et de mesure de polluants au régime nominal (sans condensation) et en régime de condensation.

Le Tableau 5 propose une synthèse sur la solution avec le condenseur sur l'eau. Cette synthèse présente les résultats obtenus en termes de rendement, émissions, coût et temps de retour et les compare avec les objectifs de notre cahier des charges, ainsi que les objectifs ADEME 2015.

Le Tableau 5 permet d'énoncer les conclusions suivantes sur la solution chaudière à bûches et condenseur sur l'eau :

- la solution étudiée est validée techniquement et est pertinente en terme de rendement (+ 7 % en fonc-

tionnement nominal grâce à l'ajout du condenseur), d'émissions de polluants réduites grâce à la condensation, de coût (inférieur à 6 500 euros) et de temps de retour, surtout si le crédit d'impôt subsiste à hauteur de 50 % ;

- **le niveau de performance atteint en régime de condensation (94/95 %) est le niveau le plus élevé atteint à l'heure actuelle en Europe sur une chaudière à bûches ;**

- des améliorations de la combustion sont à prévoir à court terme (car les émissions de CO et COV restent encore élevées) et nécessaires à moyen terme (réduction des émissions de poussières) pour être conformes aux exigences réglementaires européennes de 2015.

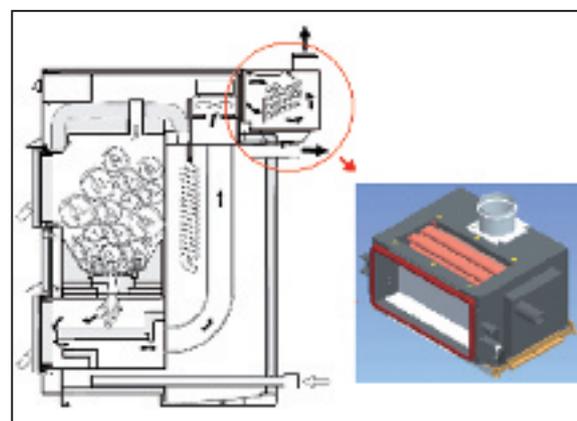


Figure 5.

Prototype de la chaudière Novabois 4020 avec condenseur sur l'eau.

Novabois 4020 prototype boiler with water condenser.

Tableau 5.
Synthèse des résultats obtenus sur la chaudière à bûches de bois avec condenseur sur l'eau.
Synthesis of results on the wood log boiler with a water condenser

Paramètres	Objectif Cahier des charges	Objectif ADEME 2015	Valeurs obtenues	Commentaires	
Chaudière à bûches de bois avec condenseur sur l'eau	Rendement à charge nominale 60/80 °C	≥ 90 %	≥ 80 %	87-88 %	Légèrement inférieur à l'objectif du CDC, nettement supérieur à l'objectif ADEME 2015
	Rendement en régime de condensation à 30/50 °C	≥ 95 %	≥ 80 %	94-95 %	Objectif CDC atteint
	Émissions de CO à la puissance nominale à 60/80 °C en mg/Nm ³ à 10 % d'O ₂	1 000 (440 en 2015)	3 000	< 3 000	Objectif ADEME 2015 atteint Objectif CDC non atteint La condensation réduit les émissions Des améliorations restent nécessaires
	Émissions de CO à la puissance nominale à 30/50 °C en mg/Nm ³ à 10 % d'O ₂	1 000 (440 en 2015)	3 000	< 2 000	
	Émissions de COV à la puissance nominale à 60/80 °C en mg/Nm ³ à 10 % d'O ₂	55	150	Entre 200 et 250	Objectif ADEME 2015 non atteint Objectif CDC non atteint
	Émissions de COV à la puissance nominale à 30/50 °C en mg/Nm ³ à 10 % d'O ₂	55	150	Environ 100	Objectif ADEME 2015 atteint La condensation réduit les émissions Objectif CDC non atteint
	Émissions de poussières à la puissance nominale à 60/80 °C en mg/Nm ³ à 10 % d'O ₂	90 (22 en 2015)	150	66	Objectif ADEME 2015 atteint Objectif CDC actuel atteint La condensation réduit les émissions Des améliorations sont nécessaires pour l'échéance 2015
	Émissions de poussières à la puissance nominale à 30/50 °C en mg/Nm ³ à 10 % d'O ₂	90 (22 en 2015)	150	< 30	
	Prix HT public	< 8 000 €	/	Environ 6 200 €	Crédit d'impôt non compté
	Temps de retour	Maxi 15 ans	/	7,5 ans 15 ans	Avec crédit d'impôt de 50 % et une hausse de 5 % par an du bois bûches Sans crédit d'impôt et une hausse de 5 % par an du bois bûches

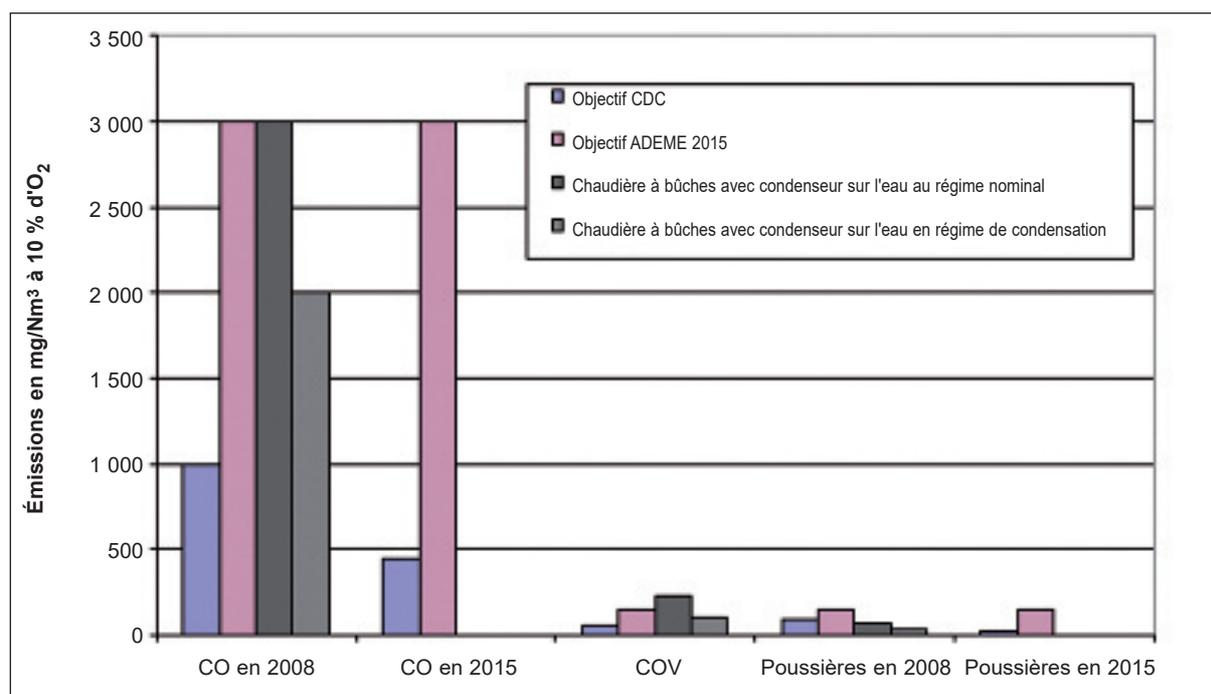


Figure 6.
Niveaux d'émission avec et sans condensation sur une chaudière à bûches à condensation.
Emission levels with and without condensation in a wood log boiler with condensation.

Si l'on s'intéresse plus particulièrement aux émissions de polluants, cette chaudière à condensation à bûches de bois présente des niveaux d'émissions :

- de CO de l'ordre de 3 000, sans condensation et de 2 000 mg/Nm³ à 10 % d'O₂ en régime de condensation ;
- de COV supérieurs à 200 mg/Nm³ à 10 % d'O₂ sans condensation et de 100 mg/Nm³ à 10 % d'O₂ en régime de condensation ;
- de poussières totales de l'ordre de 60 mg/Nm³ à 10 % d'O₂ sans condensation et inférieur à 30 mg/Nm³ à 10 % d'O₂ en régime de condensation.

On note donc l'impact positif d'un fonctionnement en condensation de la chaudière à bûches, comme cela avait été le cas sur la chaudière à granulés de bois.

La Figure 6 présente les émissions mesurées par le CETIAT au régime nominal sans condensation (température de l'eau de 60/80 °C à la chaudière) et au régime nominal avec condensation (température de l'eau de 30/50 °C dans la chaudière). La Figure 6 illustre l'impact positif de la condensation sur une chaudière à bûches sur le niveau des émissions.

Comparativement à notre cahier des charges, les objectifs sont atteints pour les poussières, mais non atteints pour les émissions de CO et de COV.

3. Conclusions

Le CETIAT et ses partenaires industriels, constructeurs de chaudières (Société industrielle de chauffage, De Dietrich Thermique) et fabricant de conduit de fumée (Poujoulat S.A.), avec un financement de l'ADEME ont réalisé une étude de faisabilité technique et économique de chaudières domestiques à bois fonctionnant sur le principe de la condensation. Cette étude s'inscrit dans le contexte de la réduction des impacts environnementaux des chaudières à combustible bois (bûches et granulés).

L'objectif visé est double :

- améliorer très nettement le rendement énergétique actuellement disponible ;
- réduire significativement les émissions polluantes, de façon à satisfaire les exigences réglementaires européennes actuelles et à l'horizon 2015.

L'étude a permis de conclure :

- à la faisabilité technique et économique d'une chaudière à condensation fonctionnant avec des granulés de bois. Ce produit, déjà disponible sur le marché, a été évalué et ses performances ainsi que sa durabilité se sont avérées à la hauteur des attentes. **En effet, le rendement en régime de condensation dépasse 100 %. De plus, les émissions de polluants sont fortement réduites en régime de condensation ;**
- à la faisabilité technique et économique d'une chaudière à bûches avec condenseur sur l'eau, sur un premier prototype. **Ce prototype non optimisé a permis d'atteindre des rendements de 94-95 %, niveau actuellement non atteint en Europe. Les émissions de polluants sont également réduites grâce au fonctionnement en condensation ;**
- à la faisabilité technique d'une chaudière à bûches avec condenseur sur l'air, **mais à sa non-pertinence économique.**

Cette étude de faisabilité a donc mis en avant non seulement l'amélioration des rendements des chaudières, mais aussi l'impact positif du fonctionnement des chaudières avec le combustible bois en régime de condensation. En effet, ce mode de fonctionnement permet de réduire significativement les émissions de CO, COV et de poussières totales.

À terme, cette étude, si elle est complétée par un véritable développement de produits, peut conduire à la mise sur le marché de chaudières à condensation fonctionnant avec du bois (bûches ou granulés de bois).