



**HAL**  
open science

## Comparaison de différentes méthodes de caractérisation des émissions de particules d'un appareil de chauffage domestique au bois

C. Le Dreff-Lorimier, Isaline Fraboulet

### ► To cite this version:

C. Le Dreff-Lorimier, Isaline Fraboulet. Comparaison de différentes méthodes de caractérisation des émissions de particules d'un appareil de chauffage domestique au bois. 30ème. Congrès Français sur les Aérosols (CFA 2015), Jan 2015, Paris, France. ineris-01852910

**HAL Id: ineris-01852910**

**<https://ineris.hal.science/ineris-01852910>**

Submitted on 24 May 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## COMPARAISON DE DIFFERENTES METHODES DE CARACTERISATION DES EMISSIONS DE PARTICULES D'UN APPAREIL DE CHAUFFAGE DOMESTIQUE AU BOIS

C. Le Dreff - Lorimier\*(1), I. Fraboulet (2)

(1) CSTB, 11 rue Henri Picherit, BP 82341, 44323 Nantes cedex 3.  
celine.ledreff@cstb.fr

(2) INERIS, Parc technologique ALATA, BP 2, 60550 Verneuil-en-Halatte

### TITLE

Comparison of various methods for characterisation of particles emissions of space heating appliances fired with wood.

### ABSTRACT

This study aims to compare various methods for characterisation of particulate emissions of a space heating appliance fired with wood. For this purpose, a wood stove operating at nominal heat output is connected to an instrumented chimney, downstream of which is embedded a dilution tunnel. The measurement of TSP in mass is performed by gravimetric method, respectively after sampling on a filter positioned in dilution tunnel (TD) and after sampling on an in-stack heated filter (FC) associated with a sampling by forced condensation in impingers (FC+B). The TSP measurement, in mass, is also obtained via two TEOM positioned respectively in the dilution tunnel (TEOM-TD) and downstream of a dilution system (SD) composed of a porous tube and an ejector-type diluter (TEOM-SD). Measurement of PM<sub>10</sub> in number is obtained via an ELPI, positioned downstream of the dilution system previously described (ELPI-SD). The results show similar emission profiles for all continuous methods (TEOM-TD, TEOM-SD, ELPI-SD) and a good correlation between measurements of TSP in mass with TD and FC+B methods on the one hand and with TEOM-TD and TEOM-SD methods on the other hand. This highlights the possibility to follow the temporal evolution of particulate emissions through continuous measurements in number (ELPI) or in mass (TEOM), at least for this stove in the tested conditions, as well as the possibility of condensing semi-volatile species, like what happens in the dilution tunnel, either via a dilution system composed of a porous tube and an ejector-type diluter or via a system of cooled impingers filled with isopropanol.

### RESUME

Cette étude consiste à comparer différentes méthodes de caractérisation des émissions de particules d'un appareil de chauffage domestique au bois. Dans ce but, un poêle à bois fonctionnant en allure nominale est raccordé à un conduit d'évacuation des fumées instrumenté, en aval duquel est intégré un tunnel de dilution. La mesure des TSP en masse est effectuée par méthode gravimétrique, respectivement après prélèvement sur un filtre positionné en tunnel de dilution (TD) et après prélèvement sur filtre chauffé (FC) placé en conduit associé à un prélèvement par condensation forcée en barboteurs (FC+B). La mesure des TSP en masse est également obtenue via deux TEOM positionnés, respectivement en tunnel de dilution (TEOM-TD) et en aval d'un système de dilution (SD) composé d'un tube poreux et d'un diluteur de type éjecteur (TEOM-SD). La mesure des PM<sub>10</sub> en nombre est, quant à elle, obtenue via un ELPI positionné en aval du système de dilution précédemment décrit (ELPI-SD). Les résultats obtenus font apparaître des profils d'émissions similaires pour l'ensemble des méthodes continues (TEOM-TD, TEOM-SD, ELPI-SD), ainsi qu'une bonne corrélation entre les mesures de TSP en masse de type TD et FC+B d'une part et de type TEOM-TD et TEOM-SD d'autre part. Ceci met en évidence la possibilité de suivre l'évolution temporelle des émissions de particules via des mesures continues en nombre (ELPI) ou en masse (TEOM), *a minima* pour ce poêle dans les conditions testées, ainsi que la possibilité de condenser des espèces semi-volatiles, à l'instar de ce qui se produit en tunnel de dilution, soit via un système de dilution composé d'un tube poreux et d'un diluteur de type éjecteur, soit via un système de barboteurs refroidis remplis d'isopropanol.

## 1. Introduction

Face à la pénurie future des énergies fossiles et dans le contexte actuel de développement des énergies renouvelables, la filière biomasse et plus particulièrement le chauffage domestique au bois apparaît comme une alternative particulièrement prometteuse. Le développement de la filière doit cependant prendre en compte la problématique environnementale qui lui est associée. En effet, la combustion domestique du bois génère des émissions atmosphériques de polluants gazeux et particulaires (CITEPA, 2013), qui peuvent avoir des effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine. Or, la caractérisation des particules issues de la combustion peut être fortement influencée par les conditions de prélèvement et de mesure appliquées (Burtscher, 2005). C'est pourquoi des réflexions sont actuellement engagées au sein du Comité Européen de Normalisation (CEN) en vue de définir une méthode commune de caractérisation des particules émises par les appareils de chauffage domestique au bois.

Dans ce contexte, le projet EN\_PME\_TEST, soutenu par l'ADEME et intégré au programme européen ERA-NET, vise à accompagner et approfondir ces réflexions, sur la base d'études bibliographiques détaillées, de résultats de campagnes expérimentales et de résultats de campagnes d'essais inter-laboratoires. Plus particulièrement, le second volet de ce projet consiste à comparer différentes méthodes de caractérisation des émissions de particules d'un appareil de chauffage domestique au bois. C'est cette seconde partie du projet qui est présentée dans les paragraphes qui suivent.

## 2. Montage expérimental & Protocole expérimental

### 2.1. Montage expérimental

Le montage expérimental employé au cours de cette étude est représenté sur la Figure 1.

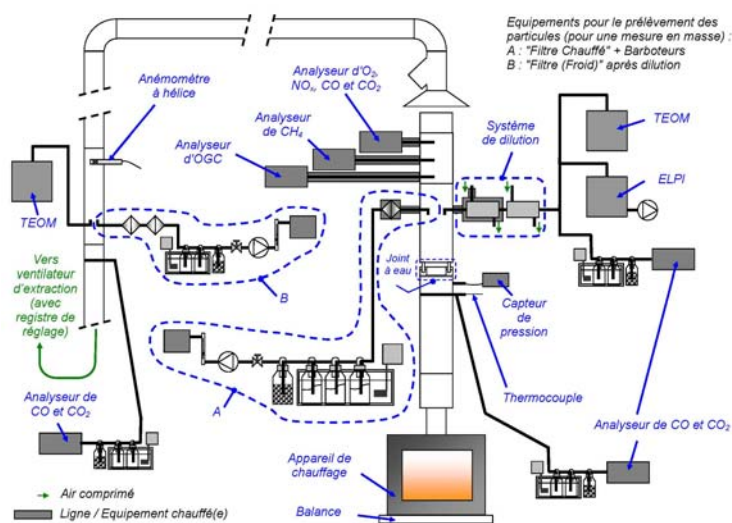


Figure 1 : Représentation schématique du montage expérimental

L'appareil de chauffage domestique considéré est un poêle à bois de 5 kW alimenté en bûches de charme, fonctionnant dans le cadre de cette étude en allure nominale et à un tirage régulé à -12 Pa. Il est raccordé à un conduit d'évacuation des fumées instrumenté, en aval duquel est intégré un tunnel de dilution, permettant de caractériser conjointement les émissions en polluants gazeux (CO, CO<sub>2</sub>, OGC) et particulaires (TSP en masse, PM<sub>10</sub> en nombre). Conformément à l'objectif de cette campagne expérimentale, plusieurs méthodologies de prélèvement et de mesure sont mises en œuvre et opérées simultanément pour la caractérisation des particules :

- La mesure des TSP en masse est effectuée par méthode gravimétrique, respectivement :
  - après prélèvement sur un filtre, en tunnel de dilution (TD), selon la méthodologie décrite dans les normes NS 3058-1 (1994) et NS 3058-2 (1994) ;

- après prélèvement sur filtre chauffé, en conduit (FC), associé à un prélèvement par condensation forcée dans 3 barboteurs remplis d'isopropanol et refroidis dans un bain de glace (B) selon le protocole (FC+B) décrit dans le rapport final de l'étude Peren<sup>2</sup>Bois (ADEME, 2012a).
- La mesure des TSP en masse est également obtenue via deux TEOM positionnés, respectivement :
  - en tunnel de dilution (TEOM-TD) ;
  - en aval d'un système de dilution (SD) composé d'un tube poreux et d'un diluteur de type éjecteur (TEOM-SD).
- La mesure des PM<sub>10</sub> en nombre est obtenue via un ELPI positionné en aval du système de dilution précédemment décrit (ELPI-SD).

Le TEOM 1405, utilisé ici en version 50°C, est une microbalance oscillante initialement développée pour des applications en air ambiant. Son utilisation (en aval d'une dilution) pour la caractérisation de sources de combustion domestique et industrielle est décrite dans une précédente étude (ADEME, 2010). Parallèlement, l'utilisation du tube poreux en tant que méthode de dilution pour la caractérisation des sources de combustion domestique de biomasse est également décrite dans de précédentes études (Tissari *et al.*, 2007 – ADEME, 2013).

## 2.2. Protocole expérimental

Les conditions d'essais appliquées pour les différentes mesures précédemment décrites sont reportées dans le Tableau 1. Chaque mesure est reproduite au moins trois fois sur trois journées d'essais distinctes, pour un nombre total de 12 essais. Au début de chaque journée d'essais, un allumage et une mise en régime sont effectués, en préliminaire des charges d'essais. Ces dernières sont dénommée JxCy, où x est un nombre de 1 à 3 correspondant au rang du jour d'essai et y un nombre de 1 à 6 correspondant au numéro de la charge d'essais.

		<b>TD</b>	<b>FC+B</b>	<b>TEOM-TD</b>	<b>TEOM-SD</b>	<b>ELPI-SD</b>
<b>Nature des filtres (Fibres)</b>		Quartz	Quartz	-	-	-
<b>Efficacité à 0,3 µm DOP des filtres</b>		99,999 %	99,999 %	-	-	-
<b>Conditionnement des filtres avant et après essai (D : Dessiccateur / E : Etuve)</b>	<b>Av.</b>	D ≥ 24 h	E(140 °C) ≥ 1 h D ≥ 24 h	-	-	-
	<b>Ap.</b>	D ≥ 24 h	E(120 °C) ≥ 1 h D ≥ 24 h	-	-	-
<b>Température du prélèvement (°C)</b>		28 - 33	120 ± 5 (≤ 20°C après les barboteurs)	45	45	50
<b>Débit de prélèvement (Nm<sup>3</sup>/h)</b>		0,85 - 1,03	0,60	0,85	0,85	0,70
<b>Taux de dilution (-)</b>		16 - 24	-	16 - 24	30 - 50	30 - 50

Tableau 1 : Conditions d'essais

Les taux de dilution pour chaque essai et système de dilution sont obtenus via le ratio des valeurs moyennes de CO<sub>2</sub> en amont et en aval du tunnel de dilution ou du système de dilution, en tenant compte du taux de CO<sub>2</sub> dans l'air de dilution.

Excepté sur les courbes de suivi temporel, les résultats de mesures de polluants sont corrigés à 13% de O<sub>2</sub> par multiplication de la valeur obtenue par le coefficient correctif défini dans la norme NF EN 13229 (2002) et ses amendements. Pour l'analyse des mesures effectuées via l'ELPI, une masse volumique des particules de 1 000 kg.m<sup>-3</sup> est considérée.

## 3. Résultats & Discussion

### 3.1. Profils d'émissions

La Figure 2 présente des exemples de courbes d'évolutions temporelles des mesures de type TEOM-SD, TEOM-TD et ELPI-SD, pour différentes charges d'essais.

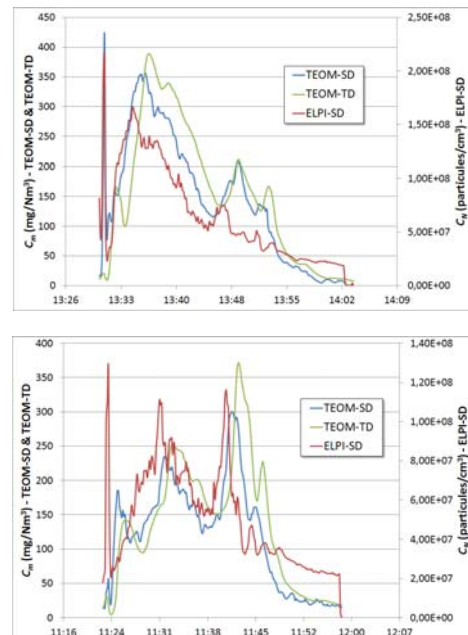
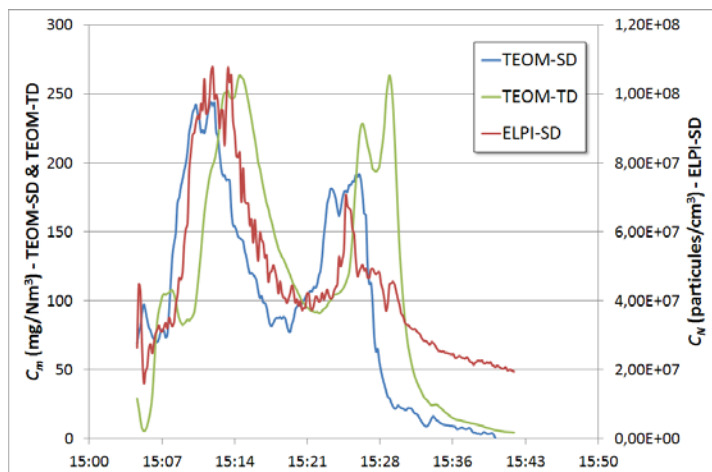


Figure 2 : Profils d'émissions (TEOM-SD, TEOM-TD, ELPI-SD) des charges J1C4 (à gauche), J2C2 (à droite en haut) et J3C1 (à droite en bas)

Sur ce graphique, le décalage observé entre les résultats par méthode TEOM-SD et TEOM-TD peut être attribué au temps de parcours induit par la distance entre le point de mesure dans le conduit instrumenté et celui dans le tunnel de dilution. Ce décalage mis à part, ces résultats font apparaître des profils d'émissions similaires pour l'ensemble des méthodes continues (TEOM-TD, TEOM-SD, ELPI-SD), avec en particulier une cohérence temporelle et de niveau relatif (quantité relative de particules émises) entre les pics d'émissions relevées par ces différentes méthodes.

Les méthodes TEOM-SD et TEOM-TD étant basées sur deux analyseurs dont le principe de fonctionnement est strictement identique (TEOM), cette similitude révèle une bonne corrélation entre le conditionnement des fumées en tunnel de dilution (TD) et celui via un système de dilution (SD) composé d'un tube poreux et d'un diluteur de type éjecteur.

La similitude relevée entre les méthodes TEOM-SD et ELPI-SD indique, quant à elle, que les réponses fournies, respectivement en masse (TEOM) et en nombre (ELPI), par ces deux analyseurs dont les principes de fonctionnement sont distincts (en aval d'un même système de dilution) permettent de caractériser de façon similaire les émissions de particules du poêle à bois considéré dans les conditions d'essais testées. Cette similitude, peut probablement s'expliquer par la répartition mono-modale des particules émises par le poêle testé (mode centré sur  $0,07 \mu\text{m}$  en nombre), conduisant à une relation globalement linéaire entre masse et nombre de particules.

### 3.2. Valeurs moyennes d'émissions

Le Tableau 2 détaille les valeurs moyennes de TSP en masse obtenues, pour chaque charge d'essais, selon la méthode de prélèvement et de mesure considérée (incluant les valeurs des mesures par méthode gravimétrique sur filtre chauffé en conduit, hors barboteurs : FC).

Comme le montrent ces résultats, indépendamment du fait que les charges d'essais aient été menées dans des conditions identiques les unes des autres, une importante dispersion des valeurs obtenues peut être constatée, quelle que soit la méthode considérée (avec un écart-type relatif de l'ordre de 30 à 35 % pour les méthodes FC, FC+B, TEOM-TD et TEOM-SD, et même 43 % pour la méthode TD), ce qui est en accord avec de précédentes études sur les émissions polluantes générées par les appareils de chauffage au bois (ADEME, 2012a – ADEME, 2012b).

Excepté pour la charge J1C2 et la charge J3C6, il apparaît que la méthode FC fournit des résultats plus faibles que les méthodes TD et FC+B, ce qui est cohérent avec le fait que cette méthode ne

prenne pas en compte la fraction condensable des particules (à l'état gazeuse à la température des fumées), tel que cela est illustré notamment par Nussbaumer *et al.* (2008). Ces résultats font également apparaître des variations globalement faibles (écart-type relatif inférieur à 15 %, excepté pour les charges J3C3, J3C5 et J3C6) entre les résultats des méthodes TEOM-TD et TEOM-SD, ce qui est cohérent avec les conclusions du paragraphe précédent sur les profils d'émissions et la similitude entre ces deux méthodes. De plus, excepté pour les charges J1C2, J2C3 et J3C1, les valeurs obtenues via les méthodes TEOM-TD et TEOM-SD sont systématiquement plus faibles que celles obtenues par méthodes TD et FC+B, ce qui laisse penser que le TEOM a tendance à légèrement sous-estimer les concentrations en particules comparé aux prélèvements sur filtre (et par barboteurs). Ceci peut s'expliquer par la température de prélèvement plus élevée du TEOM comparé à celle des méthodes TD et FC+B (en aval des barboteurs) (cf. Tableau 1), ce qui peut être à l'origine de la volatilisation de certaines espèces de la fraction condensable et ainsi engendrer une perte de masse pour la mesure par TEOM comparé aux mesures de type TD et FC+B.

	<b>TSP en masse (mg/Nm<sup>3</sup> à 13% O<sub>2</sub>)</b>				
	<b>FC</b>	<b>TD</b>	<b>FC+B</b>	<b>TEOM-TD</b>	<b>TEOM-SD</b>
<b>J1C1</b>	63	152	137	89	98
<b>J1C2</b>	99	79	118	102	99
<b>J1C3</b>	79	104	100	88	82
<b>J1C4</b>	106	138	125	106	97
<b>J2C2</b>	138	145	158	137	122
<b>J2C3</b>	124	134	147	137	112
<b>J2C4</b>	147	151	183	133	136
<b>J3C1</b>	79	119	113	123	101
<b>J3C2</b>	91	107	131	91	85
<b>J3C3</b>	161	291	292	108	232
<b>J3C5</b>	115	131	145	50	111
<b>J3C6</b>	84	57	118	35	69
<b>Moyenne</b>	<b>107</b>	<b>134</b>	<b>147</b>	<b>100</b>	<b>112</b>
<b>Ecart-type</b>	<b>35</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>35</b>	<b>34</b>

Tableau 2 : Concentration moyenne en TSP, selon la méthode testée, pour chaque charge d'essais

La Figure 3 et la Figure 4 représentent une comparaison entre les méthodes TEOM-TD et TEOM-SD d'une part (hors charges J3C3, J3C5 et J3C6), et TD et FC+B d'autre part.

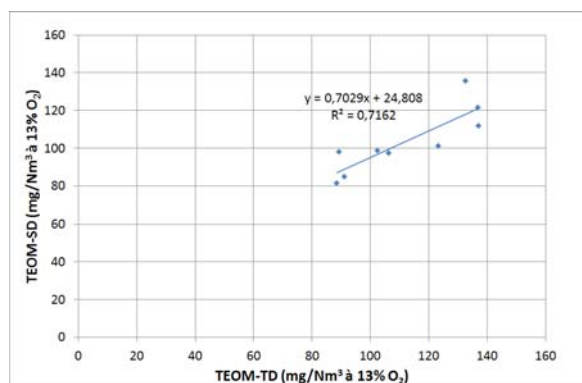


Figure 3 : Comparaison des méthodes TEOM-TD et TEOM-SD (hors charges J3C3, J3C5 et J3C6)

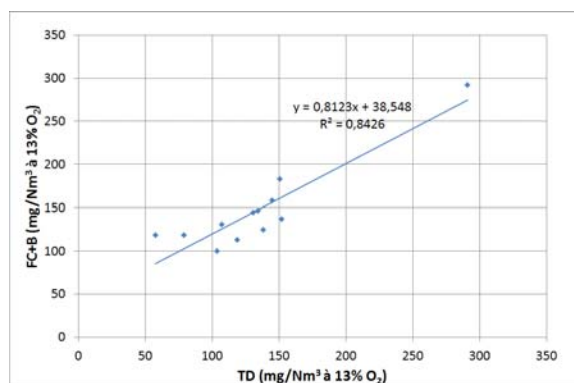


Figure 4 : Comparaison des méthodes TD et FC+B

Comme le montrent ces figures, une relation linéaire peut être établie, respectivement entre les méthodes TEOM-TD et TEOM-SD (avec un coefficient de détermination de 0,7162), et entre les méthodes TD et FC+B (avec un coefficient de détermination de 0,8426). Une telle relation linéaire entre la méthode FC+B et la méthode TD a également été obtenue dans le cadre de travaux du CEN/TC295/WG5 (Fraboulet *et al.*, 2011).

## 4. Conclusion

Cette étude a permis de comparer différentes méthodes de caractérisation des émissions de particules d'un appareil de chauffage domestique au bois.

Les résultats obtenus font apparaître des profils d'émissions similaires pour l'ensemble des méthodes continues : TEOM après tunnel de dilution, TEOM après un système de dilution composé d'un tube poreux et d'un diluteur de type éjecteur et ELPI après ce même système de dilution. Ces résultats font également apparaître une bonne corrélation entre les mesures de TSP en masse par méthode gravimétrique après prélèvement sur filtre en tunnel de dilution d'une part et après prélèvement sur filtre chauffé en conduit, associé à un prélèvement par condensation forcée en barboteurs, d'autre part. De plus, une bonne corrélation apparaît également entre les mesures de TSP en masse par TEOM après une dilution en tunnel d'une part et après une dilution via un système composé d'un tube poreux et d'un diluteur de type éjecteur, d'autre part.

Ceci met en évidence la possibilité de suivre l'évolution temporelle des émissions de particules via des mesures continues en nombre (ELPI) ou en masse (TEOM), *a minima* pour ce poêle dans les conditions testées, ainsi que la possibilité de condenser des espèces semi-volatiles, à l'instar de ce qui se produit en tunnel de dilution, soit via un système de dilution composé d'un tube poreux et d'un diluteur de type éjecteur, soit via un système de barboteurs refroidis remplis d'isopropanol.

## Références

- ADEME (2010), *MAPEC Mesures automatisées des particules en émissions canalisées – Rapport final*, Convention n° 07-74-c0079, ADEME/VERI/INERIS/ECOMESURE.
- ADEME (2012a), *Peren<sup>2</sup>Bois – Evaluation technico économique des performances énergétiques et environnementales des meilleures techniques disponibles de réduction des émissions de poussières fines et de composés organiques pour les appareils de combustion domestique utilisant la biomasse – Rapport final*, Convention n° 0801C0019, ADEME/INERIS (Rapport INERIS n° DRC\_11\_96869\_11144A).
- ADEME (2012b), *Projet ReduPo Bois – Evaluation de solutions de réduction des émissions polluantes (gazeuses et particulaires) d'appareils de chauffage résidentiels alimentés à la biomasse – Rapport final*, Convention n° 0801C0018, ADEME/CSTB.
- ADEME (2013), *BIOHEALTH Programme ERA-NET – Bioenergy : Effets sur la santé des particules émises par les petites installations de combustion de la biomasse – Contribution INERIS – Rapport final*, Convention n° 0901C0084, ADEME/INERIS (Rapport INERIS n° DRC-13-106434-02195A).
- Burtcher, H. (2005), Physical characterization of particulate emissions from diesel engines: a review. *J. Aerosol Sci.*, 36, 896.
- CITEPA (2013), *Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France – Séries sectorielles et analyses étendues*, CITEPA, Réf. CITEPA 1057, avril 2013.
- Fraboulet I., Harel G., Bachellet S., Robert L., Rogaume Y., Collet S., Poulleau J., Smit E. (2011), Definition and evaluation of a new method for the characterization of particulate emissions from domestic combustion devices using biomass, *Proceedings of the International conference on emissions monitoring CEM (Prague – République Tchèque)*, 5-7 octobre.
- NF EN 13229 (2002), *Foyers ouverts et inserts à combustibles solides – Exigences et méthodes d'essai*, AFNOR / CEN.
- NS 3058-1 (1994), *Enclosed wood heaters – Smoke emission – Part 1: Test facility and heating pattern*, Norsk Standard.
- NS 3058-2 (1994), *Enclosed wood heaters Smoke emission, Part 2: Determination of particulate emission*, Norsk Standard.
- Nussbaumer, T., Klippel, N., Johansson, L. (2008), Survey on measurements and emission factors on particulate matter from biomass combustion in IEA countries, *Proceedings of the 16<sup>th</sup> EUBC&E (Valencia – Espagne)*, 2-6 juin.
- Tissari J., Hytonen K., Lyrranen J., Jokiniemi J. (2007), A novel field measurement method for determining fine particle and gas emissions from residential wood combustion, *Atmospheric Environment*, 41, 8330-8344.