

Oct.  
2019

---

# IMPACT DU RENOUVELLEMENT D'APPAREILS NON PERFORMANTS DE CHAUFFAGE DOMESTIQUE AU BOIS SUR LES EMISSIONS DE PARTICULES

---

CARVE - Mesures à l'émission  
réalisées *in situ* dans la vallée de l'Arve

---

## RAPPORT

**ADEME**

Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

En partenariat avec :



## REMERCIEMENTS

### Comité de suivi

Isabelle AUGEVEN-BOUR (ADEME), Azadeh MARZIN (ADEME), Chloé CANUEL (MTES), Pauline CAER (SM3A), Patrick CONVERSET (Confédération des Ramoneurs Savoyards), Jean-François POUDENAS (Confédération des Ramoneurs Savoyards), Serge COLLET (INERIS)

### Contrôle Qualité

Rédaction : Serge COLLET (INERIS)

Vérification : Isaline FRABOULET (INERIS)

Approbation : Marc DURIF (INERIS)

## CITATION DE CE RAPPORT

**INERIS, 2019.** Impact du renouvellement d'appareils non performants de chauffage domestique au bois sur les émissions de particules – Projet CARVE. Rapport ADEME, 50 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne [www.ademe.fr/mediatheque](http://www.ademe.fr/mediatheque) et [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr).

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME  
20, avenue du Grésillé  
BP 90406 - 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1462C0003

Référence INERIS : DRC-19-146451-03830A

Étude réalisée par l'INERIS, projet cofinancé par l'ADEME et le MTES

Projet de recherche coordonné par : Serge COLLET, Ingénieur - Direction des Risques Chroniques – Caractérisation des émissions atmosphériques et aqueuses

Coordination technique - ADEME : Isabelle AUGEVEN-BOUR ingénieur - Direction Ville et Territoire Durable - Service Qualité de l'Air



# SOMMAIRE

<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>6</b>
<b>1. Contexte du projet</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1. Contexte général</b> .....	<b>7</b>
<b>1.2. Contexte local</b> .....	<b>7</b>
<b>1.3. Positionnement du projet</b> .....	<b>8</b>
<b>1.4. Partenaires</b> .....	<b>8</b>
<b>1.5. Articulation entre les projets CARVE, CARVE 2 et QAI Arve</b> .....	<b>8</b>
<b>2. Méthodologie</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1. Recherche de volontaires</b> .....	<b>9</b>
2.1.1. Déroulement .....	9
2.1.2. Difficultés rencontrées .....	10
2.1.2.1. Difficultés techniques.....	10
2.1.2.2. Difficultés de recrutement.....	10
2.1.3. Bilan des recrutements .....	11
<b>2.2. Caractérisation des émissions de particules</b> .....	<b>11</b>
2.2.1. Recherche d'un analyseur .....	11
2.2.2. Détermination des performances du nouvel analyseur (recherche d'une corrélation avec la méthode de référence) .....	12
<b>2.3. Détermination du rendement énergétique des appareils</b> .....	<b>13</b>
<b>2.4. Formation des opérateurs</b> .....	<b>13</b>
<b>2.5. Protocole de mesurage</b> .....	<b>14</b>
<b>2.6. Nombre de mesurages</b> .....	<b>15</b>
<b>3. Principaux résultats obtenus</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1. Caractéristiques des installations</b> .....	<b>16</b>
<b>3.2. Conditions habituelles de fonctionnement des appareils</b> .....	<b>16</b>
3.2.1. Mode d'utilisation des appareils.....	16
3.2.2. Puissance nominale des appareils .....	16
3.2.3. Allures utilisées déclarées par les particuliers (appareils à bûches uniquement) .....	16
<b>3.3. Conditions de fonctionnement des appareils lors des essais</b> .....	<b>18</b>
3.3.1. Essences de bois brûlées.....	18
3.3.2. Humidité du bois utilisé (bûches uniquement) lors des essais.....	18
3.3.3. Allures utilisées lors des essais .....	18
3.3.3.1. Pour les appareils à bûches .....	18
3.3.3.2. Pour les appareils à granulés.....	19
3.3.4. Rendement énergétique des appareils lors des essais.....	19
3.3.5. Puissance nominale utile des appareils.....	20
<b>3.4. Résultats obtenus</b> .....	<b>21</b>
3.4.1. Teneurs en polluants .....	21

3.4.1.1.	Teneurs en CO (monoxyde de carbone).....	21
3.4.1.2.	Teneurs en fraction solide des particules.....	22
3.4.1.3.	Teneurs en particules totales (fractions solide et condensable) .....	23
3.4.2.	Facteurs d'émission en polluants .....	24
3.4.2.1.	Facteurs d'émission en CO (monoxyde de carbone).....	25
3.4.2.1.1.	Valeurs exprimées en g/kg de bois sec brûlé .....	25
3.4.2.1.1.	Valeurs exprimées en g/MJ utile.....	26
3.4.2.2.	Facteurs d'émission en fraction solide des particules .....	26
3.4.2.2.1.	Valeurs exprimées en g/kg de bois sec brûlé .....	27
3.4.2.2.2.	Valeurs exprimées en g/MJ utile.....	28
3.4.2.3.	Facteurs d'émission en particules totales .....	29
3.4.2.3.1.	Valeurs exprimées en g/kg de bois sec brûlé .....	29
3.4.2.3.2.	Valeurs exprimées en g/MJ utile.....	30
<b>3.5.</b>	<b>Comparaison des résultats obtenus sur les appareils à bûches avec ceux d'études menées afin d'établir ou d'actualiser des facteurs d'émission de polluants.....</b>	<b>30</b>
<b>3.6.</b>	<b>Analyse statistique.....</b>	<b>31</b>
<b>4.</b>	<b>Conclusions / Perspectives .....</b>	<b>33</b>
	<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>35</b>
	<b>Index des tableaux et figures .....</b>	<b>36</b>
	<b>Sigles et acronymes.....</b>	<b>37</b>
	<b>Liste des annexes.....</b>	<b>38</b>

## RÉSUMÉ

Le projet CARVE a pour objectif d'apporter des éléments permettant de mieux cerner l'efficacité de l'opération pilote de modernisation du parc d'appareils de chauffage individuel fonctionnant au bois dans la vallée de l'Arve. Cette opération (fonds air-bois), co-financée par l'ADEME et les collectivités, a débuté en 2013 dans l'objectif de réduire la pollution aux particules fines liée à l'utilisation de chauffage domestiques au bois non performants.

Ce projet vise à évaluer l'impact, sur les émissions de particules, du remplacement d'un appareil indépendant de chauffage au bois non performant par un appareil récent labélisé Flamme Verte ou équivalent. Cet impact est évalué par la réalisation de mesurages à l'émission, *in situ*, avant et après renouvellement de l'appareil.

Les essais sont menés directement chez les particuliers, en prenant en compte les conditions de fonctionnement des appareils en usage réel en termes d'allures de fonctionnement, d'essences et d'humidité du bois, de charge du foyer, de tirage, etc.

Les mesures ont été réalisées sur 35 sites, comprenant 19 remplacements par des appareils à bûches et 16 par des appareils à granulés.

Pour la réalisation du projet, l'INERIS s'est appuyé sur deux partenaires :

- La Confédération des Ramoneurs Savoyards, en charge des mesurages à l'émission, les opérateurs, membres de cette Confédération, ayant été formés au préalable par l'INERIS,
- Le Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Abords (SM3A), en charge de la présélection des sites d'essais.

Des mesurages de qualité de l'air intérieur avant et après renouvellement des appareils ont été également réalisés dans le cadre d'un autre projet, QAI Arve. L'intervention sur site était commune aux deux projets.

Les résultats obtenus nous éclairent sur l'impact du renouvellement des appareils sur les émissions de polluants et les rendements. Lors du remplacement d'un appareil ancien par un appareil récent, les gains de rendement et les réductions des émissions polluantes (estimées à partir des concentrations en polluants ramenées à 13% d'O<sub>2</sub>) obtenus sont en moyenne\* les suivants :

- Lors du renouvellement d'un appareil ancien par un appareil à bûches récent :
  - o Rendement : gain de 16 points ;
  - o CO : réduction de 41 % des émissions ;
  - o Particules totales : réduction de 57% des émissions ;
- Lors du renouvellement d'un appareil ancien par un appareil à granulés :
  - o Rendement : gain de 34 points ;
  - o CO : réduction de 87 % des émissions ;
  - o Particules totales : réduction de 44 % des émissions.

L'augmentation des rendements observée va permettre aux particuliers de réduire leurs consommations de bois pour une quantité d'énergie délivrée équivalente. Outre un gain financier lié à l'achat du combustible, cette moindre consommation de bois contribue à réduire les émissions de polluants.

Enfin, nos résultats mettent en évidence que le renouvellement d'un appareil est une condition nécessaire mais pas suffisante pour réduire les émissions polluantes : d'autres facteurs tels que le dimensionnement de l'appareil, les pratiques (usage d'allures très réduites, de bois humides, etc.) ou encore l'entretien de l'appareil jouent également un rôle important.

\* les gains par rapport aux valeurs médianes sont indiqués dans le corps du texte, ils ne font pas apparaître de valeurs très significativement différentes : ils ne sont donc pas reportés dans le résumé, ni dans la conclusion

## ABSTRACT

The purpose of this project in the Arve Valley is to provide new data to better understand the effectiveness of the pilot operation, taking place in this valley to modernize the domestic wood heating appliances park.

The aim of this project is to assess the impact on particle emissions of the replacement of old wood heating appliances by efficient wood burning stoves. This impact is evaluated by performing measurements, on site, before and after renewal of the appliance.

The tests are conducted directly at home, taking into account the real operating conditions of appliances in terms of performance, wood species and moisture, load of wood, stack draft, etc. 35 sites including 19 renewals with log devices and 16 with pellets devices have been investigated.

For the project, INERIS worked with two partners :

- The confederation of savoyards chimney swept, in charge of emission measurements, whole operators, members of this Confederation, had been trained by INERIS ;
- The Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Abords (SM3A), in charge of preselecting test sites.

Indoor air quality measurements before and after device renewal were also carried out as part of another project, the QAI Arve project. There has been common site interventions for both projects).

The results obtained provide information on the impact of device replacement on pollutant emissions and yields. When an old appliance is replaced by a recent appliance, efficiency gains and reductions in pollutant emissions (observed from pollutant concentrations down to 13% O<sub>2</sub>) are on average :

- When changing an old appliance with a recent log appliance :
  - o Energy efficiency : gain of 16 points ;
  - o CO : 41% reduction ;
  - o Particles matter : 57% reduction ;
- When renewing an old appliance with a pellet appliance :
  - o Energy efficiency : gain of 34 points ;
  - o CO : 87% reduction ;
  - o Particles matter : 44% reduction.

The increase in yields observed will allow users to reduce their wood consumption for an equivalent amount of energy delivered. In addition to a financial gain from the purchase of fuel, this lower consumption of wood contributes to the reduction of pollutant emissions.

Finally, our results show that the replacement of a device is a necessary but not sufficient condition to reduce pollutant emissions : other factors such as the dimensioning of the device, the practices or the maintenance of the device also play an important role.

\*the gains in relation to the median values are indicated in the body of the text, they do not show very significantly different values : they are therefore not reported in the summary nor in the conclusion

# 1. Contexte du projet

---

## 1.1. Contexte général

Les particules fines constituent aujourd'hui une des classes de polluants atmosphériques les plus préoccupantes en matière de santé publique. Les niveaux ambiants de particules fines (PM<sub>2.5</sub>) sont responsables d'une baisse de l'espérance de vie de près d'une année en moyenne sur le territoire de l'Union européenne (Communication COM (2005) 446 du 21 septembre 2005 de la stratégie thématique sur l'air de la Commission européenne). Par ailleurs, l'avis de l'Anses du 23 mars 2009 sur les particules fines, conclut qu'il n'existe pas de seuil au-dessous duquel il n'y aurait pas d'impact sanitaire et que les expositions fréquentes à des niveaux modérés de pollution ont, en France, plus d'impact sanitaire que les pics. Enfin une étude de Santé Publique France de 2016 évaluait à au moins 48 000 décès le nombre de leurs victimes annuelles en France.

Ces constats ont servi de base au renforcement de la législation européenne sur la qualité de l'air ambiant en matière de PM<sub>2.5</sub> (directive 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe), ainsi qu'à l'élaboration d'objectifs nationaux allant au-delà de cette réglementation européenne à relativement court terme. Ces objectifs, décrits notamment par le PNSE2 et le Plan Particules de juillet 2010, fixent une valeur cible de 15 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>2.5</sub> dans l'air ambiant pour 2015. La loi de modernisation de notre système de santé du 26 janvier 2016 impose une nouvelle valeur cible, celle-ci a été définie à 10 µg/m<sup>3</sup> d'ici 2030, par arrêté du 7 décembre 2016. La réalisation de cet objectif particulièrement ambitieux nécessite un effort considérable de réduction des émissions à la source. La réduction des émissions des appareils de chauffage domestiques au bois peu performants et/ou obsolètes est un objectif du PNSE3 2015-2019 (action 51 concernant le secteur résidentiel et agricole). Le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PRÉPA) adopté en 2017 afin de protéger la population et l'environnement prévoit également un cofinancement avec les collectivités d'aides au renouvellement des équipements de chauffage peu performants.

Selon l'inventaire du CITEPA (Rapport SECTEN 2014), le secteur résidentiel / tertiaire contribue le plus aux émissions primaires de PM<sub>2.5</sub> (48 % au niveau national). Au sein de ce secteur, les émissions proviennent très majoritairement du chauffage domestique au bois.

## 1.2. Contexte local

Les mesures de la qualité de l'air effectuées dans la vallée de l'Arve (41 communes, environ 150 000 habitants) en Haute-Savoie montrent régulièrement des dépassements des seuils autorisés pour les particules fines en suspension (PM<sub>10</sub>). Dans cette vallée, la source de combustion de la biomasse (chauffage au bois domestique et brûlage à l'air libre des déchets verts) est dominante pour les concentrations en particules en hiver, contribuant en moyenne entre 60 et 70 % de leur masse<sup>1</sup>.

S'agissant du chauffage au bois domestique, l'utilisation d'appareils vétustes, est reconnue comme un des facteurs générateurs de fortes émissions de polluants.

Le premier Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) de la Vallée de l'Arve (2012 – 2018) a pris des dispositions pour réduire les émissions de particules.

Une opération pilote « fonds air bois », consistant en la mise en place d'un fonds d'aide aux particuliers pour la modernisation du parc d'appareils de chauffage individuel au bois, a notamment été créée. Elle est portée par l'Etat et est financée à 50 % par l'ADEME et à 50 % par les collectivités : le Conseil Régional Auvergne Rhône-Alpes, le Conseil Départemental de Haute-Savoie et les communautés de communes de la zone. L'animation du dispositif est assurée par le Syndicat mixte d'aménagement de l'Arve et de ses abords (SM3A). Cette opération vise à aider financièrement les particuliers pour substituer à leurs cheminées (foyers ouverts) ou leurs anciens appareils de chauffage au bois non performants (antérieurs à 2002) par des appareils de chauffage au bois à bûches ou à granulés de performances équivalentes à celles requises par le label Flamme verte.

Les premiers renouvellements d'appareils ont été réalisés à partir de juin 2013, date du lancement grand public de l'opération. Initialement conçu pour une durée de quatre ans avec le versement d'une aide de 1 000€ aux particuliers, la durée de l'action et le montant de l'aide du Fonds Air Bois ont été modifiés en septembre 2016 dans le but d'atteindre les objectifs fixés (3 200 appareils changés).

La temporalité du dispositif a ainsi été décalée à fin 2018 et l'aide a été doublée (2 000€) à compter du 1er janvier 2017. Parallèlement à la modification du montant de l'aide, l'exigence sur les performances des appareils est passée de l'équivalence Flamme Verte 5 étoiles à l'équivalence Flamme Verte 7 étoiles.

---

<sup>1</sup> Jaffrezo JL, Besombes JL, Marchand N, Mocnik G, Brulfert G, Chevrier F, Bertrand A, Jezek I., and Allard J. 2018. DEconvolution de la contribution de la COMbustion de la BIOMasse aux particules dans la vallée de l'Arve – projet DECOMBIO. 160 pages.

### 1.3. Positionnement du projet

Cette étude entend répondre au besoin croissant d'outils permettant une meilleure quantification des sources domestiques de particules fines afin de mesurer l'effet des politiques publiques visant la réduction des concentrations de PM<sub>2.5</sub> (tel que demandé par la directive 2008/50/CE, le PNSE2 et 3 ainsi que le Plan Particules) et, le cas échéant, de les réorienter, les moduler ou les renforcer afin d'atteindre leurs objectifs de réduction.

La réalisation de tests menés dans les conditions d'essais prescrites dans les normes NF EN 16510 relatives aux appareils indépendants ne permet pas d'obtenir des résultats représentatifs de leurs émissions réelles. En effet, les tests d'évaluation des performances des appareils sont réalisés à une seule allure (nominale), et dans des conditions de combustion établies donc optimales : mesurages effectués lors d'une phase de combustion vive avec un tirage régulé, avec une essence de bois peu émissive et une faible humidité du bois. Les résultats de ces tests ne rendent donc pas bien compte de la réalité, où chaque particulier utilise un combustible non calibré (essence, humidité, dimensions), régule l'énergie fournie par son poêle en limitant très souvent l'apport d'air de combustion, modifiant ainsi de nombreux paramètres au sein du foyer tels que le taux de charge, la qualité de la combustion, détériorant ainsi le rendement et augmentant les émissions de polluants.

La réalisation d'essais *in situ* directement chez les particuliers, comme ça a été le cas dans le cadre de ce projet, permet d'obtenir des résultats de mesurages prenant en compte les conditions de fonctionnement des appareils en usage réel en termes d'allures de fonctionnement, d'essences et d'humidité du bois, de charge du foyer, de tirage, etc.

Ce projet (CARVE) a pour principal objectif d'apporter des éléments permettant de mieux cerner l'efficacité de l'opération « Fonds Air Bois » de modernisation du parc d'appareils de chauffage individuel fonctionnant au bois dans la Vallée de l'Arve sur l'amélioration de la qualité de l'air, afin de faciliter l'évolution des dispositions réglementaires et fiscales favorisant les appareils de chauffage au bois performants en termes de rendement et de rejets de polluants.

Cette étude permet également de mieux connaître, dans des conditions de fonctionnement en usage réel, les performances des appareils réputés les plus performants, équivalent à minima au label Flamme verte 7 étoiles, lorsqu'ils fonctionnent à d'autres allures et dans d'autres conditions que celles mesurées selon la norme NF EN 16510<sup>2</sup>. En effet les mesures ont été réalisées *in situ*, en laissant les particuliers utiliser leur foyer dans les conditions habituelles.

Ce projet répond également à l'objectif de mise en œuvre de techniques de mesurage simples et adaptées permettant de mieux rendre compte des émissions de particules en conditions réelles de fonctionnement des foyers domestiques.

Les essais ont été menés durant 4 saisons de chauffe, de 2015 à 2019.

### 1.4. Partenaires

Pour la réalisation du projet CARVE, l'INERIS s'est appuyé sur deux partenaires :

- La Confédération des Ramoneurs Savoyards, en charge des mesurages à l'émission dont les opérateurs, membres de cette Confédération, ont été formés au préalable par l'INERIS,
- Le Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Abords (SM3A), en charge de la présélection des sites d'essais.

### 1.5. Articulation entre les projets CARVE, CARVE 2 et QAI Arve

Le projet CARVE a démarré en 2014. Suite aux premiers résultats obtenus durant la saison de chauffe 2015/2016 qui mettaient en évidence une fréquente saturation de l'analyseur de particules utilisé, il a été convenu avec l'ADEME de le remplacer.

Le projet CARVE 2 a permis de retenir et d'acquérir le nouvel analyseur de particules qui sera utilisé par la suite dans le cadre du projet CARVE de 2015 à 2019. Les résultats des projets CARVE et CARVE2 sont présentés dans le présent rapport.

A compter de 2016, le projet QAI Arve est venu compléter le projet CARVE avec des mesurages de qualité de l'air intérieur chez les particuliers volontaires avant et après renouvellement des appareils (intervention sur site commune aux deux projets).

---

<sup>2</sup> Appareils de chauffage domestiques à combustion solide - Partie 1 : exigences générales et méthodes d'essai - Partie 2-6 : poêles, inserts et cuisinières à granulés de bois et à alimentation mécanique

## 2. Méthodologie

---

Des mesurages de particules à l'émission ont été réalisés *in situ* chez des particuliers volontaires dans des conditions en usage réel de fonctionnement des foyers domestiques, avant et après le remplacement des appareils anciens par des appareils de nouvelle génération.

### 2.1. Recherche de volontaires

#### 2.1.1. Déroulement

Les volontaires ont été recrutés grâce à l'appui du Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Abords (SM3A).

Dans le cadre de l'opération de renouvellement du parc d'appareils fonctionnant au bois dans la Vallée de l'Arve, le SM3A collecte les dossiers de demande d'aide des particuliers. Ces dossiers comprennent :

- Les coordonnées des particuliers,
- Le type de matériel ancien à remplacer et son usage (chauffage de base, d'appoint ou d'agrément) ainsi que sa date d'installation,
- Le type et les caractéristiques du nouveau matériel (marque, modèle) ainsi que l'usage prévu.

Pour la présélection des sites d'essais, le SM3A a fourni régulièrement à l'INERIS un extrait des dossiers de demande d'aide, avec les informations nécessaires aux choix : communes, types d'appareils remplacés, types des nouveaux appareils, combustibles utilisés, etc.

A partir de cette présélection, un premier contact téléphonique a été pris par l'INERIS pour présenter l'opération aux particuliers n'ayant pas manifesté leur opposition à être contactés dans le cadre de l'évaluation du Fonds Air Bois.

Ces premiers contacts ont mis en évidence :

- Qu'un taux important de particuliers commençait les travaux avant de recevoir l'avis favorable du Fonds Air Bois, en particulier la dépose de leur ancien appareil,
- Qu'un bon nombre de particuliers n'était pas joignable.
- Mais que peu de particuliers refusaient de participer à l'étude (généralement par manque de disponibilité).

Le taux de recrutement à l'issue de cette première étape n'a donc été que de 15 % environ.

Les coordonnées des particuliers à contacter sont communiquées à la Confédération des Ramoneurs Savoyards, partenaire en charge de la réalisation des mesurages des particules, avec des informations sur la disponibilité des personnes et sur la date prévue du renouvellement de l'appareil.

Les volontaires sont ensuite recontactés par un ramoneur et un rendez-vous leur est proposé afin de s'assurer de la possibilité d'effectuer les mesurages souhaités (conditions d'accès et état du conduit notamment avant le changement d'appareil, disponibilité du particulier).

Enfin, une date d'intervention pour la réalisation des mesurages est convenue.

Chaque volontaire est recontacté après changement d'appareil par un ramoneur afin de planifier et réaliser la seconde intervention.

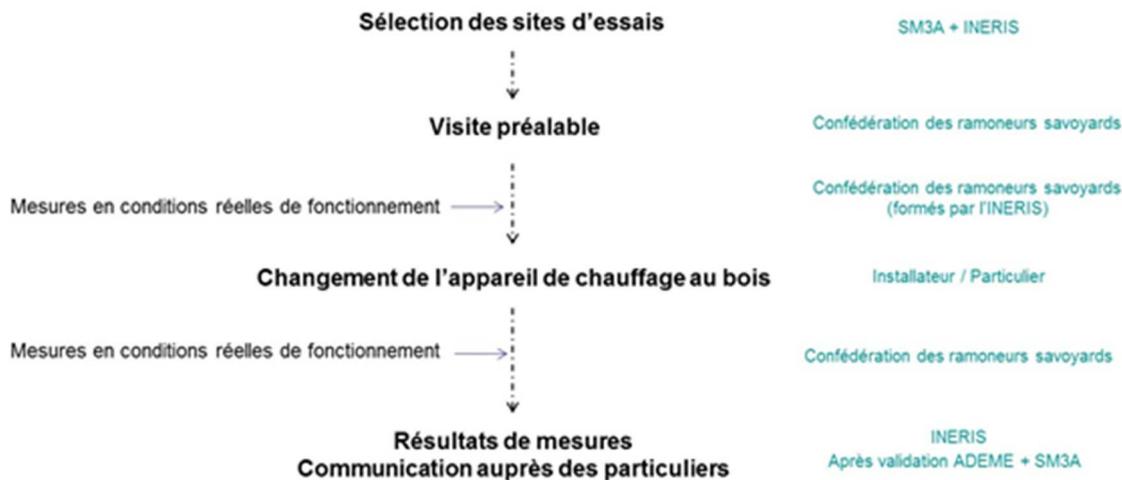


Figure 1 : Déroulement du projet CARVE

## 2.1.2. Difficultés rencontrées

### 2.1.2.1. Difficultés techniques

Les résultats obtenus lors des premiers essais menés chez les particuliers ont mis en évidence des teneurs en particules relativement élevées occasionnant dans de nombreux cas une saturation de l'analyseur de particules (valeurs mesurées supérieures à  $300 \text{ mg/m}^3$  ramenés à 13 % d' $\text{O}_2$ ).

Les mesurages effectués durant la première saison de chauffe n'ont ainsi pas pu être exploités.

En accord avec le donneur d'ordre et afin de disposer de teneurs en particules réelles et non de valeurs approximatives (supérieures à  $300 \text{ mg/m}^3$  à 13 % d' $\text{O}_2$ ), un nouvel analyseur disposant d'une gamme de mesure plus étendue et permettant d'effectuer des mesurages sur une période plus longue, a été acquis dans le cadre du projet CARVE 2 (cf. paragraphe 2.2.1.).

### 2.1.2.2. Difficultés de recrutement

Le processus de recrutement a été une étape primordiale dans la réalisation de ce projet. De nombreux ajustements ont été réalisés tout au long du projet afin non seulement d'encourager les particuliers à participer mais aussi pour faciliter l'intervention des ramoneurs :

- Présentation du projet dans le dossier de demande d'aide financière (fonds Air Bois) : cela a permis de sensibiliser les particuliers en amont du changement de leur appareil de chauffage au bois et de leur laisser la possibilité de contacter l'INERIS pour avoir de plus amples renseignements ;
- Communication immédiate par le SM3A des coordonnées des particuliers à l'INERIS bénéficiant de l'aide pour éviter une prise de contact trop tardive et pouvant arriver après le changement d'appareil ;
- Présentation du projet par le SM3A aux installateurs d'appareil de chauffage au bois ou granulés afin d'éviter un changement d'appareil trop rapide ou prématuré (avant de recevoir l'avis favorable du fonds Air Bois) ;
- Versement de l'aide par le SM3A sous quinzaine pour les personnes volontaires contrairement aux autres qui perçoivent l'aide sous 2 mois.

Toutes ces actions ont permis d'augmenter progressivement le taux de recrutement. Cependant, certaines difficultés ont persisté :

- Liées à des démarrages prématurés des travaux (dépose de l'ancien appareil notamment) ;
- Difficulté pour l'INERIS de joindre les particuliers afin de leur présenter le projet et leur proposer d'y participer ;
- Disponibilité des particuliers : une demi-journée étant nécessaire avant et après le changement d'appareil pour la réalisation de l'intervention ;

- Gestion du planning des ramoneurs du fait du nombre d'interventions nécessaires pour ce projet en plus de leur propre activité.

Au regard des différents ajustements et des difficultés persistantes, le taux de recrutement a été d'environ 10 %.

Aussi, pour constituer notre échantillon représentatif de 35 particuliers, la phase de recrutement s'est étalée sur quatre saisons hivernales (octobre-avril) : 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018 et 2018/2019. La quatrième saison hivernale (2018/2019) a principalement servi à réaliser des mesures après changement d'appareil.

### 2.1.3. Bilan des recrutements

Compte tenu des difficultés rencontrés, au bout du compte un **panel de 35 logements a été constitué sur une période de 5 ans** (contre 60 logements sur 3 ans prévu initialement).

## 2.2. Caractérisation des émissions de particules

### 2.2.1. Recherche d'un analyseur

La multiplicité des sites et leur accessibilité limitée nécessitent que la caractérisation des émissions soit réalisée avec un matériel adapté et portable. Dans un bon nombre de cas, le matériel nécessite d'être mis en place au débouché du conduit en toiture.

Dans un premier temps, l'analyseur **Testo 380** a été acquis. Il permet de vérifier le respect des valeurs limites associées aux appareils de chauffage domestiques fonctionnant au bois en Allemagne (1 BImSchV). La teneur massique en particules est mesurée en continu au moyen d'un capteur de particules en vibration après dilution de l'échantillon prélevé. En parallèle au mesurage des particules, l'analyseur permet de déterminer les teneurs en O<sub>2</sub> et en CO.

Ses principales caractéristiques sont décrites dans en annexe 1. Cet instrument a été mis à disposition des ramoneurs sur site, après formation, pour la réalisation des mesurages.

Les résultats obtenus lors des premiers essais menés chez les particuliers et lors des tests effectués lors de la formation des opérateurs sur site, ont mis en évidence des teneurs en particules relativement élevées occasionnant dans de nombreux cas une saturation de cet analyseur (valeurs mesurées supérieures à 300 mg/m<sup>3</sup> ramenés à 13 % d'O<sub>2</sub>).

En accord avec l'ADEME et afin de disposer de teneurs en particules réelles et non de valeurs approximatives (supérieures à 300 mg/m<sup>3</sup> à 13 % d'O<sub>2</sub>), un nouvel analyseur disposant d'une gamme de mesure plus étendue que celle de l'analyseur de particules Testo déjà acquis, a été acheté dans le cadre du projet Carve 2, en 2016. Cet analyseur, le **PPS Pegasor** (cf. ces principales caractéristiques en annexe 1), a été pris en main par l'INERIS avant de former les membres de la Confédération des Ramoneurs Savoyards à son utilisation lors de deux journées de formation comprenant des essais sur site en conditions réelles.

Contrairement à l'analyseur Testo (dont la durée maximum de mesurage est de 30 mn), le PPS Pegasor peut être utilisé en continu sur des périodes longues. La représentativité temporelle des mesures est donc bien meilleure (mesurage sur une période plus longue). Le mesurage peut être démarré avant introduction des bûches dans le foyer et arrêté quand on le souhaite. Il peut, par exemple, permettre de déterminer des facteurs d'émission en arrêtant l'acquisition après brûlage complet des bûches introduites.

Cet analyseur effectue un comptage des particules et propose une estimation de la concentration massique en particules. Afin d'obtenir des résultats en masse, il nécessite donc d'être calibré par rapport à la méthode de prélèvement des poussières en masse afin d'établir une corrélation.

Dans le cadre du projet, l'analyseur Testo a été utilisé afin de ramener les teneurs en particules mesurées à une teneur en O<sub>2</sub> de référence, ainsi que pour déterminer les concentrations en CO et CO<sub>2</sub> (cf. une comparaison des résultats obtenus en CO avec l'analyseur Testo et la méthode de référence en annexe 2).

## 2.2.2. Détermination des performances du nouvel analyseur (recherche d'une corrélation avec la méthode de référence)

Les analyseurs disponibles sur le marché ne permettent pas de répondre strictement aux exigences de la norme NF EN 16510-1, notamment en raison d'un conditionnement particulier de l'effluent gazeux échantillonnés ou du principe du mesurage utilisé. Des essais comparatifs avec la méthode filtre et barboteur, qui permet de déterminer les particules solides et totales (fractions solide et condensable) dans différentes conditions de fonctionnement d'un foyer ont été nécessaires afin de mieux cerner les performances de l'analyseur acheté.

Après l'achat de l'analyseur PPS Pegasor, deux séries d'essais ont donc été effectuées sur le banc de l'INERIS afin notamment de déterminer précisément la corrélation entre la réponse de l'analyseur et la méthode filtre et barboteur ; il est nécessaire d'appliquer cette corrélation à l'analyseur pour exprimer les résultats en unités massiques.

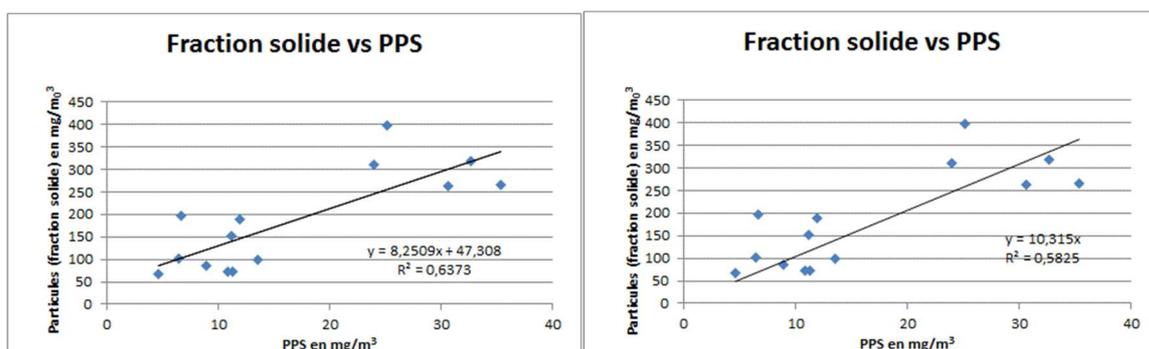
14 essais ont été effectués en parallèle lors des deux séries de mesurages menées en janvier 2016 et février 2018. Ces essais ont été réalisés sur l'ensemble de la période de combustion, du chargement du foyer à l'extinction du feu. Tous les essais ont été effectués sur un appareil à bûches après un préchauffage du foyer.

### Mesurages des particules solides

Les résultats obtenus sont présentés sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Ils permettent de comparer les résultats des mesurages des particules solides seules à ceux du PPS et d'établir une corrélation entre ces deux méthodes. Deux droites de corrélations sont établies, l'une passant par 0 (graphe de droite), l'autre non (meilleure corrélation, graphe de gauche).

Les essais menés à différents niveaux de concentration en particules mettent en évidence une corrélation ( $R^2 = 0,58$ , linéaire avec une droite passant par 0) entre les valeurs obtenues au moyen du PPS Pegasor et celles obtenues au moyen de la méthode traditionnelle (filtre chauffée).

Afin de corriger les résultats obtenus, un facteur de corrélation masse/nombre de 10,315 a été retenu pour la fraction solide. Selon le constructeur, cette valeur correspond à des granulométries de particules comprises entre 100 et 500 nm, ce qui correspond bien à la granulométrie des particules émises par les foyers domestiques.



**Figure 2 : Comparaison de méthodes de mesurage de particules  
(PPS Pegasor vs fraction solide des particules)**

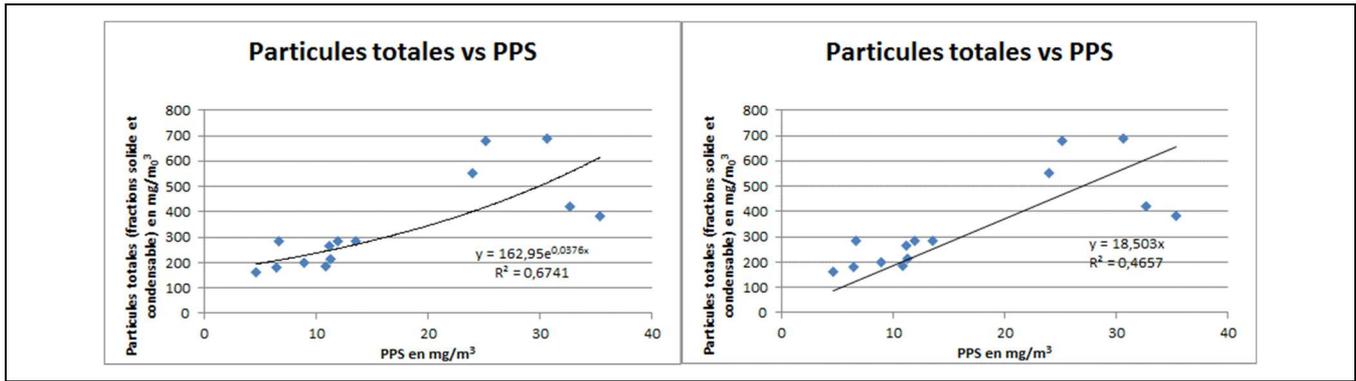
### Mesurages des particules totales (fractions solide et condensable)

En parallèle à la méthode de mesure en continu, la méthode par filtre et barbotage développée par l'INERIS (Peren<sup>2</sup>Bois, 2012) à partir de la méthode utilisée aux Etats Unis depuis de nombreuses années pour la certification des foyers domestiques (méthode EPA 5H) a été mise en œuvre afin :

- De prendre en compte la fraction condensable des particules, qui peut représenter une part importante des particules totales et qui est à même de mieux caractériser la qualité de la combustion d'un appareil ainsi que son impact sur l'environnement et sur la santé ;
- D'obtenir des résultats qui pourront être comparés à ceux obtenus dans le cadre d'autres essais avec la méthode utilisée par les laboratoires qui testent les appareils selon la norme NF EN 16510.

Les principaux résultats obtenus sont présentés sur la Figure 3. Ils permettent de comparer les résultats des mesurages des particules totales à ceux du PPS et d'établir une corrélation entre ces deux méthodes.

Deux courbes de corrélations sont établies, l'une passant par 0 (graphe de droite), l'autre non (meilleure corrélation, graphe de gauche).



**Figure 3 : Comparaison de méthodes de mesure de particules  
(PPS Pegasor vs particules totales)**

Les essais menés mettent en évidence une corrélation ( $R^2 = 0,67$  : courbe de tendance exponentielle et de 0,47 avec une droite passant par 0) entre les valeurs obtenues au moyen du PPS Pegasor et celles obtenues au moyen de la méthode filtre et barboteur (particules totales).

Afin de corriger les résultats obtenus, ont été retenus pour les particules totales :

- Un facteur de corrélation de 18,5 pour une mesure avec le PPS entre 0 et 5 et au-delà de 35  $\text{mg}/\text{m}^3$  ;
- Une courbe de tendance exponentielle  $y=162,95e^{0,0576x}$  pour une mesure avec le PPS entre 5 et 35  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

Ces corrélations ont été établies en faisant évoluer les caractéristiques de fonctionnement d'un appareil à bûches lors de deux séries de mesurages menés en janvier 2016 et février 2018.

**Elles n'ont pas été vérifiées sur des appareils à granulés.**

Compte tenu que l'intervalle de confiance à 95 % associé à la méthode de mesure filtre et barboteur est de l'ordre de 20 à 30 %, l'incertitude associée à chaque résultat issu de la corrélation utilisée est élevée.

### 2.3. Détermination du rendement énergétique des appareils

Lors des essais, les rendements des appareils ont été estimés à partir de la formule de calcul de la norme NF EN 16510, en prenant en compte les résultats des mesurages suivants : humidité du bois, température des fumées, température ambiante, teneurs en CO et CO<sub>2</sub> des fumées, ainsi que les caractéristiques connues des essences de bois brûlés (hêtre essentiellement, pouvoir calorifique inférieur (PCI) : 18380 kJ/kg sec). Pour les granulés, les caractéristiques n'étant pas connues précisément, une humidité de 7 % et un pouvoir calorifique inférieur de 17774 kJ/kg sec ont été pris en compte.

### 2.4. Formation des opérateurs

Quatre journées de formation (deux journées initiales et une journée de mise à jour des connaissances au bout d'un et deux ans, placée en début de saison de chauffe) ont été données aux membres de la Confédération des ramoneurs savoyards désireux de participer à l'opération (3 personnes au total).

Elles ont permis de présenter :

- Le contexte du projet et des mesurages,
- Le questionnaire, à remplir lors des interventions menées chez les particuliers,
- Le protocole de mesurage,
- Et les analyseurs à utiliser.

Lors de ces formations, des essais in situ dans des conditions réelles de fonctionnement des appareils ont été menés, de façon à faciliter la prise en main de l'analyseur et à mieux appréhender les difficultés rencontrées sur le terrain.

Dans la suite du projet, les essais ont été menés par une équipe de deux membres de la Confédération des ramoneurs savoyards.

## 2.5. Protocole de mesurage

La comparaison des tests menés sur le banc d'essais de l'INERIS et des premiers tests menés avec les membres de la Confédération des ramoneurs savoyards a permis d'affiner le protocole de mesurage (cf. annexe 3) nécessaire pour mener à bien les mesurages à effectuer chez les particuliers.

Un questionnaire rempli par les ramoneurs lors de leurs interventions (cf. annexe 3) a permis de relever les paramètres pouvant influencer de façon significative les émissions de polluants, tels que :

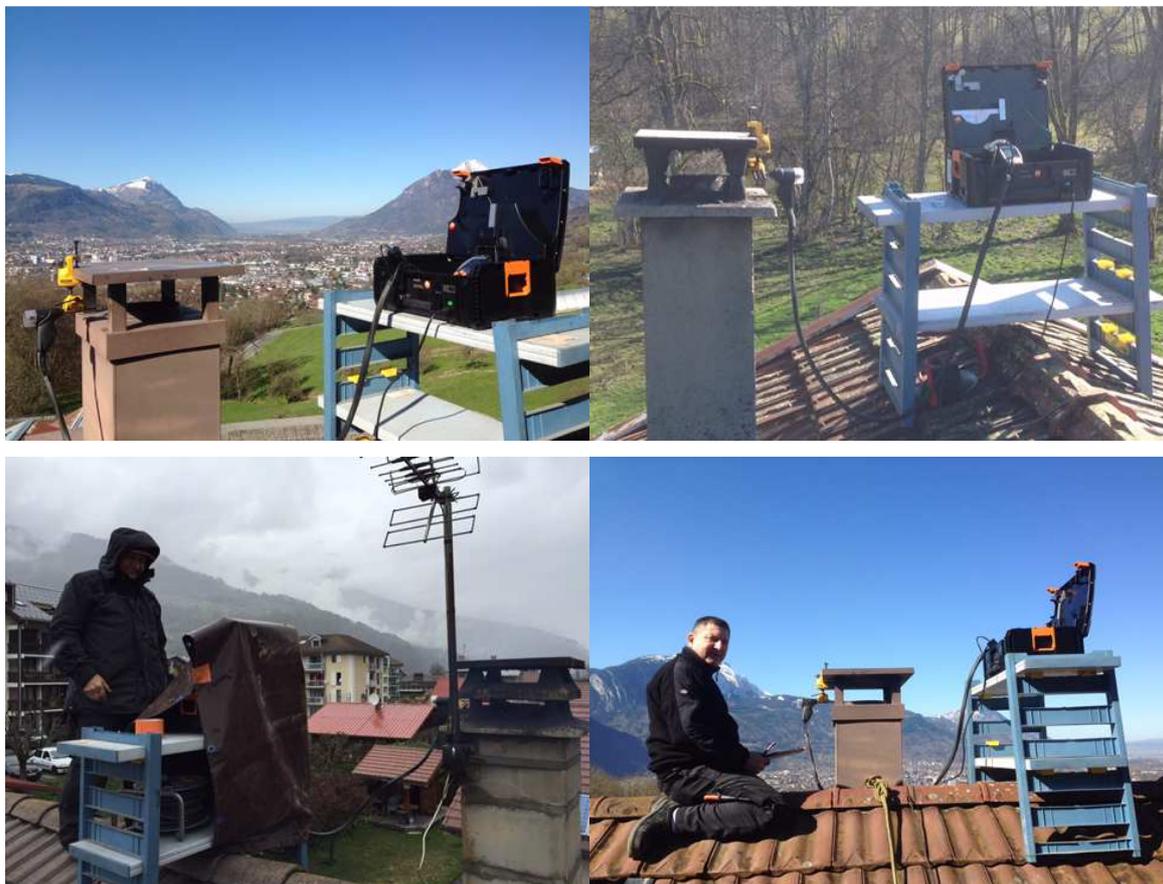
- Les caractéristiques des combustibles consommés (humidité, essence, dimension des bûches) ;
- Les caractéristiques du foyer (âge, puissance, type d'entrées d'air) ;
- Les conditions d'utilisation de l'installation (charge introduite, allure jour/nuit, nombre d'heures de fonctionnement par jour) ;
- Les caractéristiques de l'installation (hauteur du conduit, présence d'un modérateur de tirage) ;
- Les caractéristiques du point de mesurage (emplacement, accès, dimension du conduit).

L'humidité des bûches est mesurée lors de chaque intervention au moyen d'un conductimètre. Les bûches sont pesées avant introduction dans la chambre.

Les essais sont menés appareil chaud, après brûlage d'une charge de bois à minima.

**Lors des essais sur site, les conditions de fonctionnement en usage réel des appareils sont utilisées. Il est demandé au particulier de faire fonctionner son foyer dans les conditions habituelles (charge, essence et humidité du bois, réglage des entrées d'air, etc.).**

Les mesurages de particules au moyen de l'analyseur PPS sont effectués sur une période d'une heure minimum. Cette période est jugée suffisante pour brûler la charge introduite dans le foyer et établir des facteurs d'émission de polluants. Des relevés des teneurs en CO, CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> sont effectués régulièrement (toutes les 10 mn) au moyen de l'analyseur Testo. Les essais sont menés soit à la sortie du conduit (débouché à l'air libre), soit à la sortie du poêle (à environ 1 m, en remplaçant un tronçon de conduit existant par un tronçon de mesure équipé des perçages nécessaires à la réalisation des mesurages).



*Figure 4 : Interventions in situ chez des particuliers*

Compte tenu des contraintes opérationnelles liées à la réalisation d'essais chez les particuliers, un seul mesurage est réalisé par appareil testé.

## 2.6. Nombre de mesurages

Le projet prévoyait initialement de réaliser 60 mesurages avant / après renouvellement d'appareil, soit 30 sur des appareils à bûches et 30 sur des appareils à granulés après remplacement.

Du fait des difficultés rencontrées pour le recrutement des particuliers volontaires (§2.1), 40 mesurages avant / après renouvellement ont finalement pu être effectués.

Quelques mesurages ont été invalidés, soit parce que ceux-ci avaient été effectués au moyen de l'analyseur Testo 380 (données non quantitatives et mesurages effectués sur une période courte : 30 minutes), soit du fait d'un mesurage incorrect.

**Finalement 35 couples de mesurages, avant / après renouvellement, dont 19 sur des appareils à bûches et 16 sur des appareils à granulés, sont exploités dans l'analyse des résultats.**

Les nouveaux appareils installés chez les particuliers disposent du label Flamme Verte 7 étoiles à l'exception de deux appareils (FV 5\*).

## 3. Principaux résultats obtenus

---

Ces données sont issues des questionnaires remplis par les ramoneurs (cf. annexe 3) lors de leurs interventions selon les déclarations des particuliers.

### 3.1. Caractéristiques des installations

Dans la vallée de l'Arve, les habitations sont généralement équipées d'un conduit de hauteur 8 m environ correspondant à des maisons d'un étage. Ces fortes hauteurs, ainsi que les faibles températures hivernales engendrent souvent des tirages élevés. Néanmoins, parmi la quarantaine de logement ayant fait l'objet d'une intervention, un seul était équipé d'un modérateur de tirage. Rappelons que de forts tirages accélèrent la combustion et la consommation de bois ce qui engendre une surchauffe du logement, généralement compensée par un recours accru de l'usage de l'allure réduite.

Les appareils remplacés avaient été installés entre 1976 et 2002 (31 réponses au questionnaire au total, l'année d'installation de quelques appareils n'étant pas connue). L'âge moyen des appareils remplacés est de 27 ans (moyenne année d'installation : 1989).

### 3.2. Conditions habituelles de fonctionnement des appareils

Après renouvellement, signalons que les conseils des installateurs ont été pris en compte par les particuliers dans une très large majorité des cas. Seuls quelques particuliers réfractaires, moins de 5 %, continuent d'utiliser leurs appareils comme auparavant (gestion des entrées d'air inappropriée, bourrage de la chambre, etc.). Cette évolution des pratiques participe très probablement à l'augmentation des rendements et à la réduction des émissions polluantes observées.

#### 3.2.1. Mode d'utilisation des appareils

Avant renouvellement, 53 % des particuliers utilisent leur appareil en tant que mode de chauffage principal, 41 % en appoint et seulement 6 % en agrément (33 réponses au questionnaire au total). Ces valeurs sont pratiquement identiques après renouvellement de l'appareil. Seuls quelques particuliers, qui utilisaient initialement leur appareil à bûches en appoint et qui se sont équipés d'un appareil à granulés, ont augmenté le temps d'utilisation de leurs appareils après renouvellement.

#### 3.2.2. Puissance nominale des appareils<sup>3</sup>

Pour les appareils anciens, la puissance nominale est en moyenne de 11,9 kW (fourchette allant de 6 à 17 kW - 32 réponses au total).

Pour les appareils récents, la puissance nominale est en moyenne de 8,4 kW (fourchette allant de 4 à 11,5 kW - 35 réponses au total), soit une réduction de puissance de 29 % environ après remplacement.

La répartition est la suivante :

- 7,7 kW en moyenne pour les appareils à bûches, soit une réduction de puissance de 34 %,
- 9,2 kW en moyenne pour les appareils à granulés, soit une réduction de puissance de 24 %.

Ces réductions de puissance nominale avant / après renouvellement peuvent être attribuées à un meilleur dimensionnement des appareils aux besoins de chauffage des logements. Notons qu'elles sont compensées par une augmentation des rendements des appareils : les puissances utiles<sup>4</sup> (ou délivrées) seront donc bien plus proches.

#### 3.2.3. Allures utilisées déclarées par les particuliers (appareils à bûches uniquement)

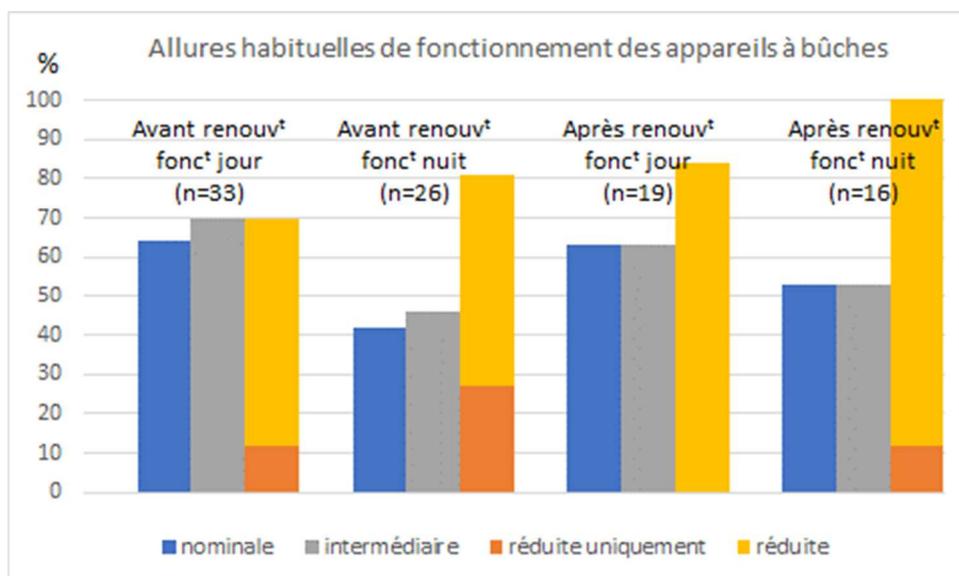
Ce paragraphe ne concerne que les appareils à bûches car les particuliers méconnaissent généralement le mode de fonctionnement de leurs appareils à granulés.

Lors de chaque intervention, il a été demandé au particulier de décrire l'allure de fonctionnement habituel de son appareil pour des fonctionnements « jour » et « nuit ». Plusieurs réponses sont possibles parmi les trois allures proposées (nominale : entrées d'air complètement ouvertes, intermédiaire : entrées d'air partiellement ouvertes et réduite : entrées d'air fermées).

---

<sup>3</sup> Puissance maximale de fonctionnement dans des conditions normales (valeur déclarée par le constructeur)

<sup>4</sup> Puissance nominale grevée du rendement des appareils, déterminée lors des essais



**Figure 5 : Allures habituelles de fonctionnement des appareils à bûches avant et après renouvellement**

**NB :** sur la base des déclarations des particuliers ; plusieurs réponses possibles parmi les 3 allures proposées ; n : nbre de particuliers ayant répondu)

**Lecture du graphique :** exemple après renouvellement en fonctionnement nuit : 53 % des particuliers déclarent utiliser les allures nominale et intermédiaire en fonctionnement nuit, 100 % des particuliers déclarent utiliser l'allure réduite dont 12 % exclusivement à allure réduite

Le plus faible nombre de particuliers ayant répondu en mode de fonctionnement « nuit » est lié au fait que certains particuliers n'utilisent pas ce mode de chauffage la nuit (environ 20 %).

**Utilisation de jour :** Avant renouvellement des appareils, les trois allures sont aussi prisées les unes que les autres par les particuliers. Aucun appareil ne fonctionne uniquement à allure nominale tandis que 12 % des appareils ne fonctionnent qu'à allure réduite. Après renouvellement, le pourcentage de particuliers qui mentionnent utiliser les allures nominale et intermédiaire diminue très légèrement (vs avant renouvellement) mais davantage de particuliers mentionnent utiliser l'allure réduite (+ 14 %).

**Utilisation de nuit :** Avant renouvellement des appareils, l'allure réduite est presque deux fois plus mentionnée par les particuliers que les allures nominale ou intermédiaire. La nuit, 27 % des appareils fonctionnent uniquement à allure réduite. Après renouvellement, le pourcentage de particuliers qui mentionne utiliser les allures nominale et intermédiaire augmente légèrement de 11 à 7 % (vs avant renouvellement). Le pourcentage de particuliers qui mentionnent utiliser l'allure réduite augmente également (+19 %) pour atteindre 100%. 12 % des nouveaux appareils ne fonctionnent la nuit qu'à allure réduite.

L'allure réduite (particulièrement polluante) est largement utilisée le jour et reste privilégiée par les particuliers la nuit.

### 3.3. Conditions de fonctionnement des appareils lors des essais

#### 3.3.1. Essences de bois brûlées

Les essences de bois brûlées lors des essais sont les suivantes :

Essence	%
Hêtre	64
Fruitier	15
Charme	8
Chêne	5
Sapin	5
Bois de récupération (bois massifs non adjuvantés)	3

**Tableau 1 : Essences de bois utilisées lors des essais**

Les essences de bois habituellement utilisés et brûlées par les particuliers sont les mêmes, avant et après le renouvellement des appareils.

#### 3.3.2. Humidité du bois utilisé (bûches uniquement) lors des essais

L'humidité du bois a été relevée au moyen d'un conductimètre.

L'humidité du bois est en moyenne :

- De 14,0 % (médiane : 14 %) avant renouvellement (fourchette de valeurs allant de 8 à 21 % à l'exception d'une valeur à 28 %) ;
- De 12,5 % (médiane : 12,0 %) après renouvellement (fourchette de valeurs allant de 8 à 20 %).

Ces valeurs mettent en évidence un bon séchage du bois. En effet, une très large majorité de particuliers stocke le bois au moins deux ans avant utilisation. Seul un particulier a utilisé du bois humide (28 % d'humidité) lors des essais.

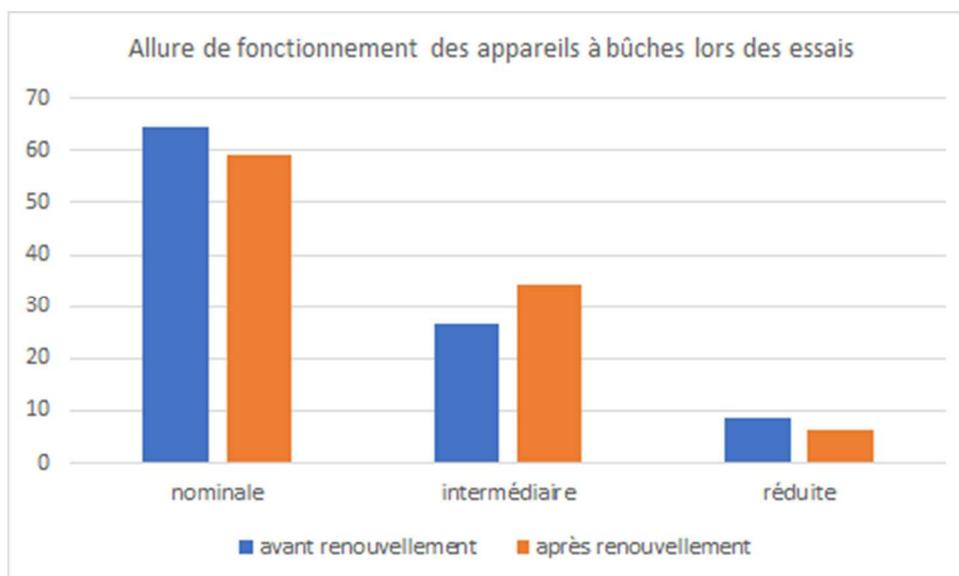
Notons que l'écart d'humidité du bois observé avant et après renouvellement est susceptible d'engendrer une légère surestimation de l'impact du renouvellement des appareils sur les émissions de monoxyde de carbone (CO) ; ce paramètre a une influence sur les teneurs en CO (cf. paragraphe 3.6.).

#### 3.3.3. Allures utilisées lors des essais

##### 3.3.3.1. Pour les appareils à bûches

**Au cours des essais, réalisés *in situ*, le choix a été fait de laisser les particuliers conduire leurs appareils selon leurs habitudes. Les conditions d'utilisation des appareils lors du projet CARVE ne sont donc pas forcément représentatives des usages des utilisateurs sur d'autres territoires.**

Les conditions de fonctionnement des appareils lors des essais avant et après renouvellement des appareils sont présentées dans le graphe ci-après.



**Figure 6 : Allures de fonctionnement des appareils à bûches lors des essais**

Les tests sur les appareils à bûches ont été menés majoritairement à allure nominale. Ils reflètent un fonctionnement « jour », avec globalement assez peu d'allures réduites.

**Les tests avant et après renouvellement ont globalement été réalisés à des allures assez similaires.** Pris individuellement au niveau de chaque logement, l'allure a toutefois pu changer entre les campagnes avant et après renouvellement de l'appareil, du fait des conditions météorologiques régnant les jours des essais, de la conduite des appareils par les particuliers et des caractéristiques différentes des appareils installés, notamment en termes de puissance nominale. Cela a pu conduire à la réalisation d'essais à des allures bien plus réduites avant renouvellement qu'après ou inversement. Dans ce dernier cas, cela se traduit parfois par de plus fortes émissions après renouvellement.

### 3.3.3.2. Pour les appareils à granulés

Peu d'informations sont disponibles sur l'allure de fonctionnement des appareils à granulés lors des essais du fait de leur mode de pilotage automatisé (programmation ou thermostat) mis en place par l'installateur. Dans un bon nombre de cas, le mode de fonctionnement de ces appareils lors des essais n'a pu être renseigné. Nous estimons toutefois à plus de deux tiers les appareils qui fonctionnent à allure intermédiaire ou nominale et à moins d'un tiers ceux qui fonctionnent à allure réduite (du fait de températures des fumées faibles et des excès d'air élevés).

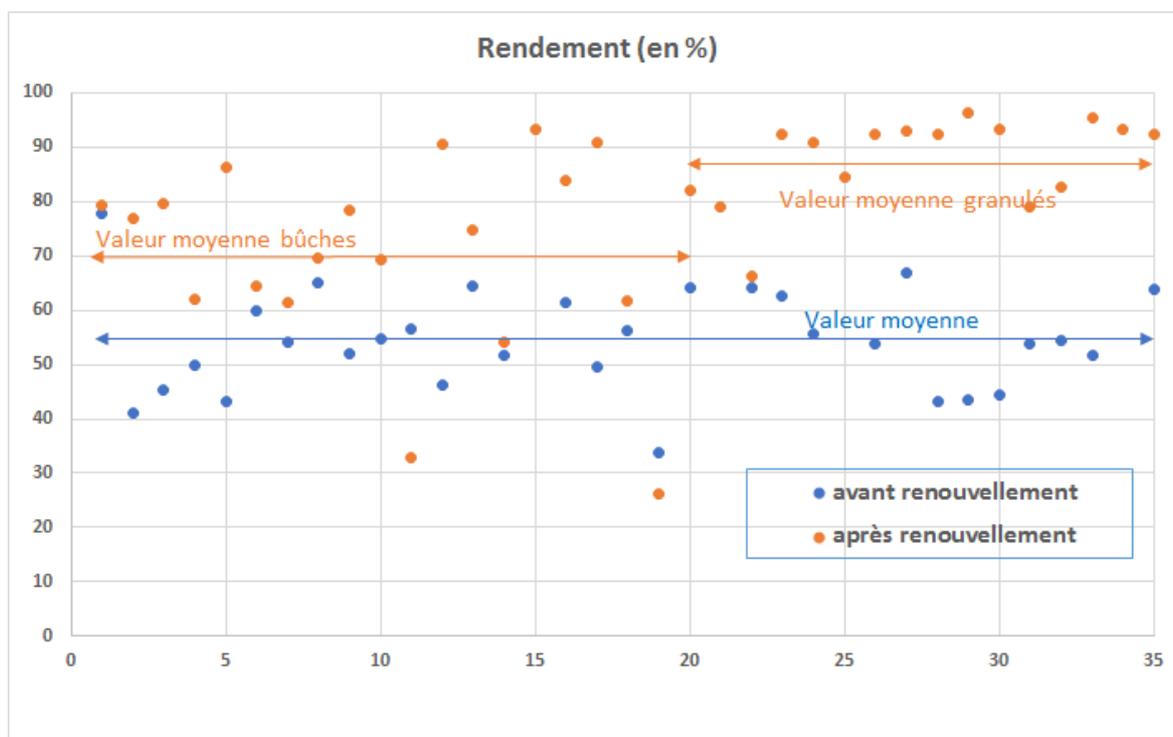
### 3.3.4. Rendement énergétique des appareils lors des essais

**Les rendements des appareils mesurés in situ dans le cadre du projet (Figure 7) s'élèvent à :**

- 54 % pour les appareils anciens avant renouvellement. Ils sont relativement peu dispersés (compris pour la plupart entre 41 et 68 %) ;
- 70 % pour les appareils récents à bûches après renouvellement. Ils sont assez dispersés (compris pour la plupart entre 54 et 93 %). Quelques appareils présentent des excès d'air importants et des températures des fumées élevées qui font chuter les rendements ;
- 88 % pour les appareils à granulés. Ils sont peu dispersés (compris pour la plupart entre 79 et 96 %). Les plus faibles rendements sont obtenus lorsque ces appareils fonctionnent à allure réduite (faibles températures des fumées et forts excès d'air : logements 22, 31 et 32 notamment).

Cette augmentation des rendements est en lien avec l'amélioration de la qualité des appareils : qualité de la combustion et meilleure diffusion de la chaleur.

Mentionnons par ailleurs que l'augmentation des rendements observée va permettre aux particuliers de réduire leurs consommations de bois pour une quantité d'énergie délivrée équivalente. Outre un gain financier lié à l'achat du combustible, cette moindre consommation de bois s'accompagne d'une réduction des émissions polluantes.



**Figure 7 : Rendements des appareils estimés dans les 35 logements avant et après renouvellement des appareils (en %)**

Les rendements des appareils anciens (27 ans d'âge en moyenne) restent relativement élevés, compte tenu notamment des contraintes thermiques qu'ils ont subies au fil du temps. Ils sont en moyenne de 16 points inférieurs à ceux des appareils récents à bûches.

Les faibles rendements observés sur les appareils des logements 11 et 19 après renouvellement sont liés à des pertes importantes de chaleur dans les fumées ; les appareils fonctionnant à de faibles allures et un fort excès d'air.

### 3.3.5. Puissance nominale utile des appareils

Compte tenu des puissances nominales indiquées par les constructeurs et des rendements déterminés précédemment, les puissances nominales utiles des appareils sont les suivantes :

- 6,4 kW pour les appareils anciens ;
- 6,7 kW pour les appareils récents (bûches et granulés) dont :
  - o 5,5 kW pour les appareils à bûches récents ;
  - o 8,1 kW pour les appareils à granulés.

La réduction de la puissance nominale utile d'environ 14 % entre les appareils à bûches anciens et récents peut être attribuée à un meilleur dimensionnement des appareils aux besoins de chauffage des logements.

Pour les appareils à granulés, cette réduction de la puissance utile n'est pas constatée ; une augmentation de 27 % est même observée. Elle va conduire à une utilisation accrue de l'allure réduite sur ces derniers appareils.

### 3.4. Résultats obtenus

**N.B. :** au regard des incertitudes associées aux résultats des mesurages et des conditions d'essais et opératoires potentiellement différentes entre les mesurages effectués avant et après renouvellement de l'appareil (rappelons que les mesures ont été réalisées in situ en usage réel), il est bien plus opportun d'interpréter les résultats globalement (valeurs moyennes ou médianes obtenus pour 35 logements) qu'individuellement (logement par logement).

#### 3.4.1. Teneurs en polluants

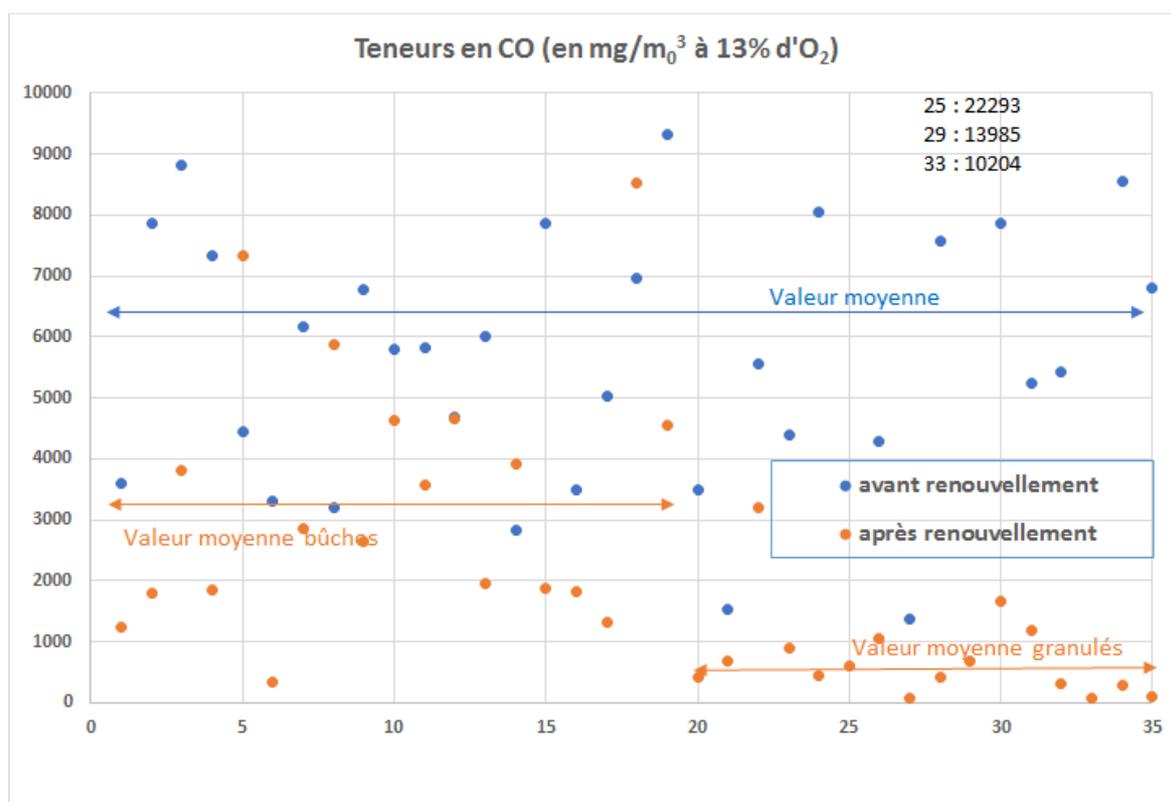
Rappelons que ces résultats sont issus de mesurages :

- En continu du nombre de particules sur une période d'une heure, effectués au moyen de l'analyseur PPS et permettant d'obtenir une estimation de la concentration massique ;
- Ponctuels de CO, effectués toutes les 10 mn (6 mesurages par essai au total) effectués au moyen de l'analyseur Testo ;
- Ponctuels d'O<sub>2</sub> et de CO<sub>2</sub>, effectués toutes les 10 mn (6 mesurages par essai au total) effectués au moyen de l'analyseur Testo.

Les teneurs en O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> permettent de ramener les teneurs en polluants mesurées à une teneur en O<sub>2</sub> (13 %) de référence ou à une teneur en CO<sub>2</sub> (7 %) équivalente (loi de Grebel). En effet, au-delà de 18 % d'O<sub>2</sub>, les valeurs mesurées ont été ramenées à 7 % de CO<sub>2</sub> afin de réduire l'incertitude liée à cette correction.

##### 3.4.1.1. Teneurs en CO (monoxyde de carbone)

Les résultats des mesurages de CO sont présentés dans la Figure 8 et le Tableau 2 ci-après.



NB : les teneurs des logements 25, 29 et 33 avant renouvellement dépassent l'échelle du graphique, elles sont indiquées en haut à droite sur le graphique

NB 2 : la valeur du logement 33 avant renouvellement est manquante (mesurage non validé)

**Figure 8 : Teneurs en CO mesurées dans les 35 logements (en mg/m<sup>3</sup> à 13 % d'O<sub>2</sub>)**

Deux valeurs d'émissions de CO avant renouvellement sont particulièrement élevées, elles sont liées à l'utilisation d'un bois humide (28 % d'humidité, pour le logement 25) et d'une allure réduite (logement 29). Certains résultats de mesures après renouvellement sont supérieurs à ceux obtenus avant renouvellement (logements 5, 8, 14 et

18). Nous ne disposons pas d'éléments permettant d'expliquer ces résultats ; bon nombre de paramètres ayant pu les influencer (les mesurages étant effectués in situ, en usage réel).

	Tous les appareils (n=35)	19 appareils	16 appareils
Avant renouvellement	5988 <sup>a</sup> (5805)	5750 (5821)	6288 <sup>a</sup> (5557)
	Tous les appareils récents	Appareils récents à bûches (n=19)	Appareils récents à granulés (n=15)
Après renouvellement	2190 (1670)	3398 (2850)	756 (520)
Réduction en %	63 (71)	41 (51)	88 (91)

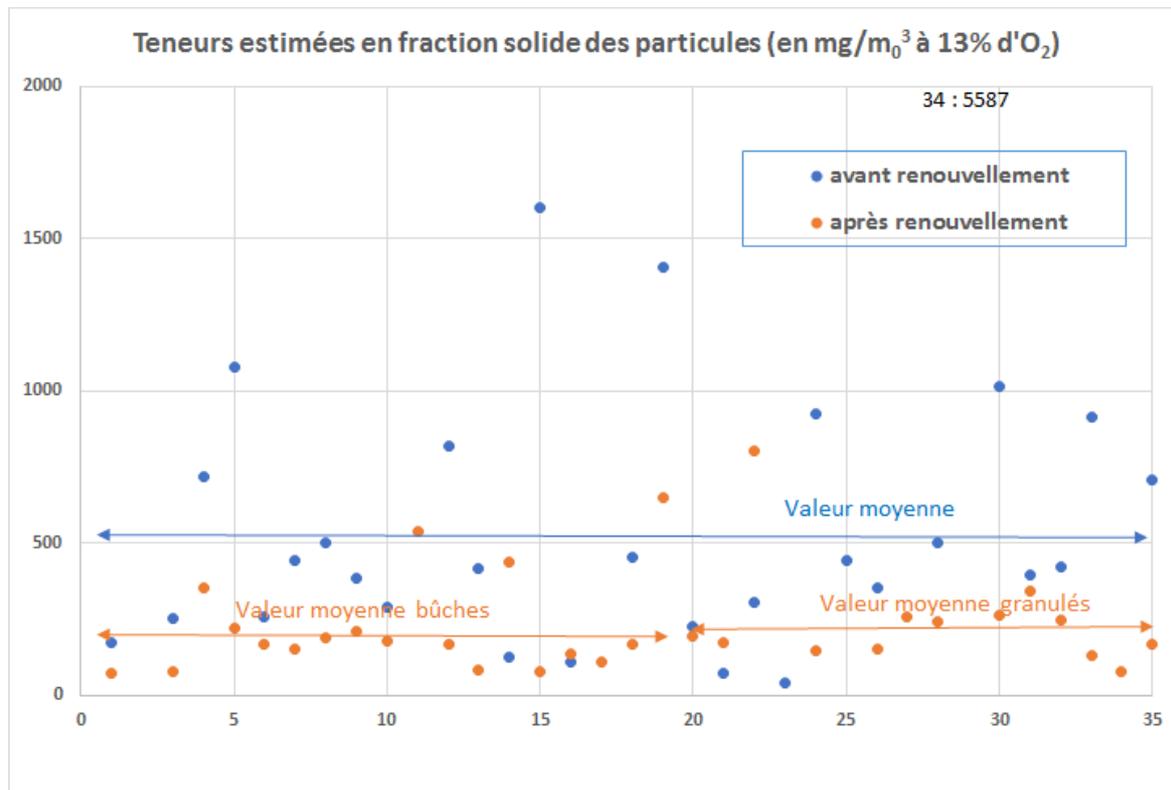
a : une valeur retirée (bois à 28 % d'humidité)

**Tableau 2 : Teneurs moyennes (médianes) en CO (en mg/m<sup>3</sup> à 13 % d'O<sub>2</sub>)**

Le remplacement d'appareils anciens (27 ans de moyenne d'âge) par des appareils récents à bûches et à granulés conduit à une réduction importante des émissions de CO. Le gain est de 41 % pour les appareils à bûches et de 87 % pour les appareils à granulés.

### 3.4.1.2. Teneurs en fraction solide des particules

Les résultats des mesurages de la fraction solide des particules sont présentés dans les graphes et tableau ci-après.



NB 1 : la teneur du logement 34 avant renouvellement (allure très réduite) dépasse l'échelle du graphique, elle est indiquée en haut à droite sur le graphique

NB 2 : les valeurs des logement 2, 11, 17, 27 et 29 avant renouvellement et 2, 23, 25 et 29 après renouvellement sont manquantes (mesurages non validés)

**Figure 9 : Teneurs estimées en fraction solide des particules dans les 35 logements (en mg/m<sup>3</sup> à 13 % d'O<sub>2</sub>)**

Les résultats obtenus sont bien plus dispersés avant renouvellement qu'après renouvellement. Avant renouvellement, des teneurs élevées sont relevées sur quelques appareils (logements 4, 5, 12, 15, 19, 24, 30, 33 et 35). Il s'agit de foyers :

- Soit présentant des excès d'air importants, avec de probables entrées d'air froides dans la chambre de combustion qui favorisent la formation de particules de suies ;
- Soit étant utilisés à allure réduite.

Ces résultats mettent en évidence l'impact du vieillissement des appareils (usure des joints, déformations notamment) et/ou d'un manque d'entretien sur les émissions de polluants.

Notons qu'après renouvellement, quelques teneurs sont élevées (logements 11, 14, 19 et 22). Elles sont parfois nettement plus élevées qu'avant renouvellement. Elles sont liées à l'utilisation d'allures réduites (logements 11 et 19), significativement plus réduites après renouvellement qu'avant renouvellement (14 et 22).

	Tous les appareils (n=30)	16 appareils	14 appareils
Avant renouvellement	529 <sup>a</sup> (420)	563 (427)	486 <sup>a</sup> (420)
	Tous les appareils récents	Appareils récents à bûches (n=18)	Appareils récents à granulés (n=13)
Après renouvellement	231 (173)	221 (169)	246 (193)
Réduction en %	56 (59)	61 (60)	49 (54)

a : une valeur retirée (allure très réduite)

**Tableau 3 : Teneurs moyennes (médianes) estimées en fraction solide des particules (en mg/m<sup>3</sup> à 13 % d'O<sub>2</sub>)**

Le remplacement d'appareils anciens (27 ans de moyenne d'âge) par des appareils performants récents à bûches et à granulés conduit à une réduction importante des émissions de la fraction solide des particules, de l'ordre de 55 %. Le gain est de 61 % pour les appareils à bûches et de 49 % seulement pour les appareils à granulés.

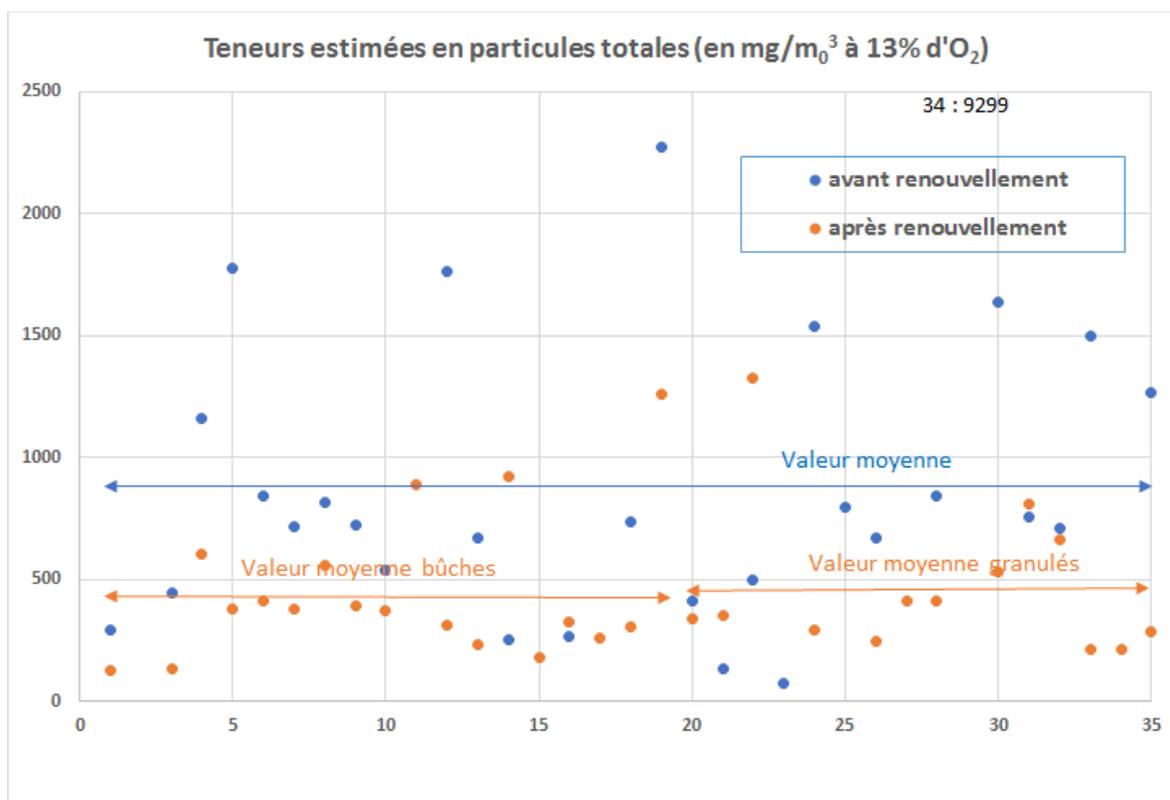
### 3.4.1.3. Teneurs en particules totales (fractions solide et condensable)

Les résultats des mesurages des particules totales sont présentés dans les graphes et tableau ci-après.

Les résultats sont similaires à ceux de la fraction solide. Un tiers des appareils anciens représentent 79 % des émissions de particules totales.

Les plus fortes teneurs en particules totales sont observées lors d'un fonctionnement à allure réduite des appareils (faibles températures des fumées et forts excès d'air : logements 11, 14, 19, 22, 31 et 32 notamment). Lorsque les conditions d'essais et opératoires ont évolué entre les campagnes avant et après renouvellement cela peut se traduire par de plus fortes émissions après renouvellement (cas des logements 14 et 22 notamment). Nous ne disposons pas d'éléments permettant d'expliquer ces résultats ; bon nombre de paramètres ayant pu les influencer (les mesurages étant effectuées in situ, en usage réel).

Le remplacement d'appareils anciens (27 ans de moyenne d'âge) par des appareils performants récents à bûches et à granulés conduit à une réduction importante des émissions des particules totales, de l'ordre de 52 %. Le gain est de 57 % pour les appareils à bûches et de seulement 44 % pour les appareils à granulés.



NB 1 : la teneur du logement 34 avant renouvellement (allure très réduite) dépasse l'échelle du graphique, elle est indiquée en haut à droite sur le graphique

NB 2 : les valeurs des logement 2, 11, 17, 27 et 29 avant renouvellement et 2, 23, 25 et 29 après renouvellement sont manquantes (mesurages non validés)

Figure 10 : Teneurs estimées en particules totales dans les 35 logements (en  $\text{mg}/\text{m}^3$  à 13 % d' $\text{O}_2$ )

	Tous les appareils (n=30)	Appareils anciens à bûches (n=30)	
Avant renouvellement	947 <sup>a</sup> (736)	1039 (730)	832 (753)
	Tous les appareils récents	Appareils récents à bûches (n=18)	Appareils récents à granulés (n=13)
Après renouvellement	456 (369)	447 (373)	469 (350)
Réduction en %	52 (50)	57 (49)	44 (54)

a : une valeur retirée (allure très réduite)

Tableau 4 : Teneurs moyennes (médianes) estimées en particules totales (en  $\text{mg}/\text{m}^3$  à 13 % d' $\text{O}_2$ ).

### 3.4.2. Facteurs d'émission en polluants

Des facteurs d'émission en polluants ont été estimés, en tenant compte de la charge de bois introduite dans la chambre, de l'humidité du bois, du débit théorique de fumées dégagé (déterminé selon la norme NF EN 16510-1), et en considérant que toute la charge introduite a été brûlée durant la période de mesurage (1 heure). Ils sont exprimés en gramme de polluant émis par kilogramme de bois sec brûlé.

A partir de ces valeurs, des facteurs d'émission exprimés en gramme par mégajoule (MJ) utile ont été établis, connaissant le PCI du bois (hêtre sec : 18,38 MJ/kg) et le rendement énergétique des appareils.

N.B. : ces facteurs d'émission ont été déterminés uniquement pour les appareils à bûches, la charge brûlée dans les appareils à granulés n'étant pas connue.

### 3.4.2.1. Facteurs d'émission en CO (monoxyde de carbone)

Les facteurs d'émission en CO sont présentés dans les graphes et tableaux ci-après.

#### 3.4.2.1.1. Valeurs exprimées en g/kg de bois sec brûlé

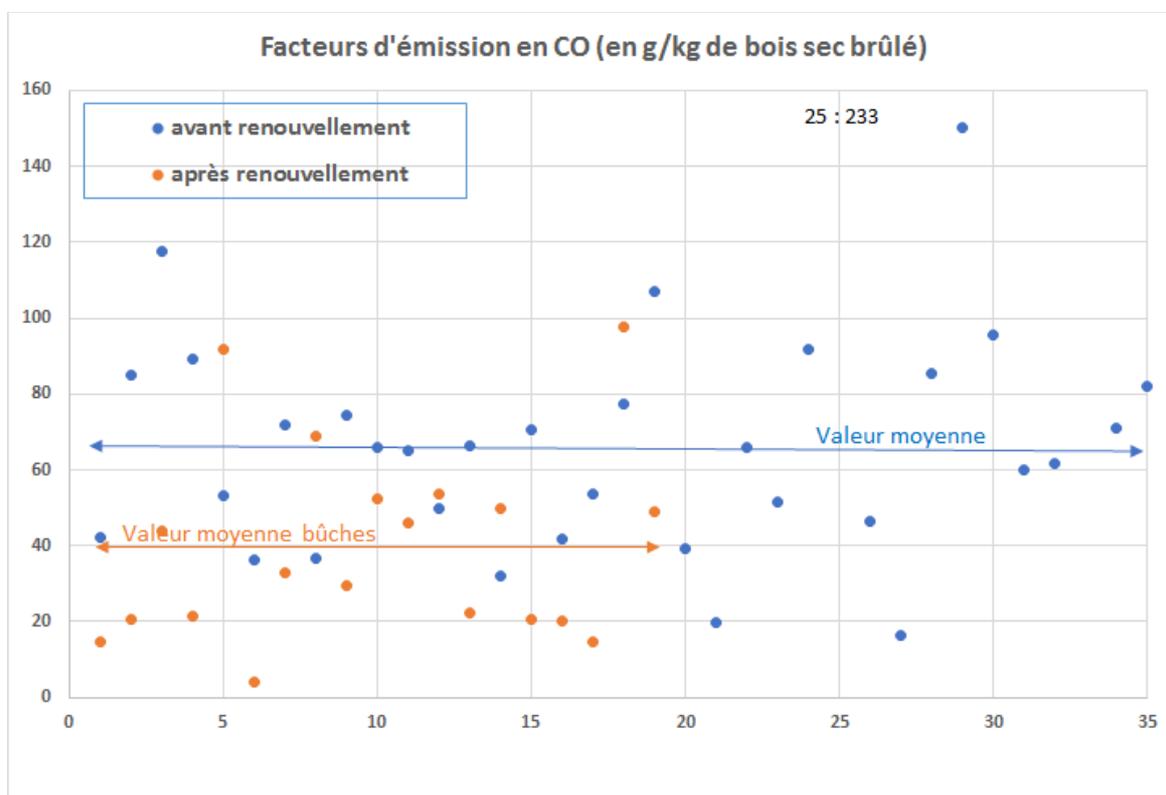


Figure 11 : Facteurs d'émission en CO estimés

Comme pour les valeurs exprimées en concentration, certains résultats après renouvellement sont supérieurs à ceux obtenus avant renouvellement (logements 5, 8, 14 et 18 notamment). Nous ne disposons pas d'éléments permettant d'expliquer ces résultats ; bon nombre de paramètres ayant pu les influencer (les mesurages étant effectués in situ, en usage réel).

	35 appareils à bûches
Avant renouvellement	65,7 <sup>a</sup> (65,8)
	19 appareils à bûches
Après renouvellement	39,6 (33,0)
<b>Réduction en %</b>	<b>40 (50)</b>

a : une valeur retirée (233 : bois à 28 % d'humidité)

Tableau 5 : Facteurs d'émission moyens (médians) en CO estimés (en g/kg de bois sec brûlé)

Le remplacement d'appareils anciens (27 ans de moyenne d'âge) par des appareils performants récents à bûches conduit à une réduction des facteurs d'émission de CO de 40 %.

### 3.4.2.1.1. Valeurs exprimées en g/MJ utile

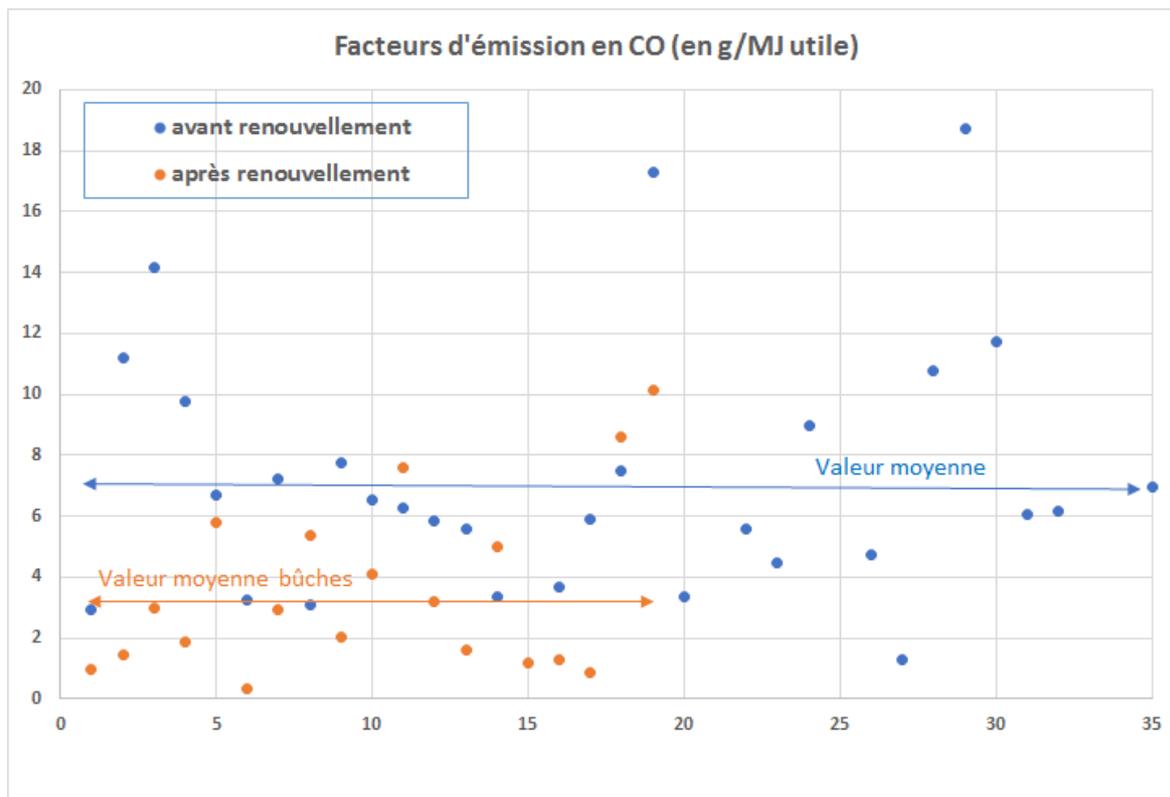


Figure 12 : Facteurs d'émission en CO estimés (en g/MJ utile)

	30 appareils à bûches
Avant renouvellement	7,23 (6,16)
	19 appareils à bûches
Après renouvellement	3,55 (2,93)
<b>Réduction en %</b>	<b>51 (52)</b>

Tableau 6 : Facteurs d'émission moyens (médians) en CO estimés (en g/MJ utile)

A quantité égale d'énergie utile produite, le remplacement d'appareils anciens par des appareils performants récents à bûches conduit à une réduction des facteurs d'émission de CO de 51 %.

### 3.4.2.2. Facteurs d'émission en fraction solide des particules

Les facteurs d'émission en fraction solide des particules sont présentés dans les graphes et tableaux ci-après.

### 3.4.2.2.1. Valeurs exprimées en g/kg de bois sec brûlé

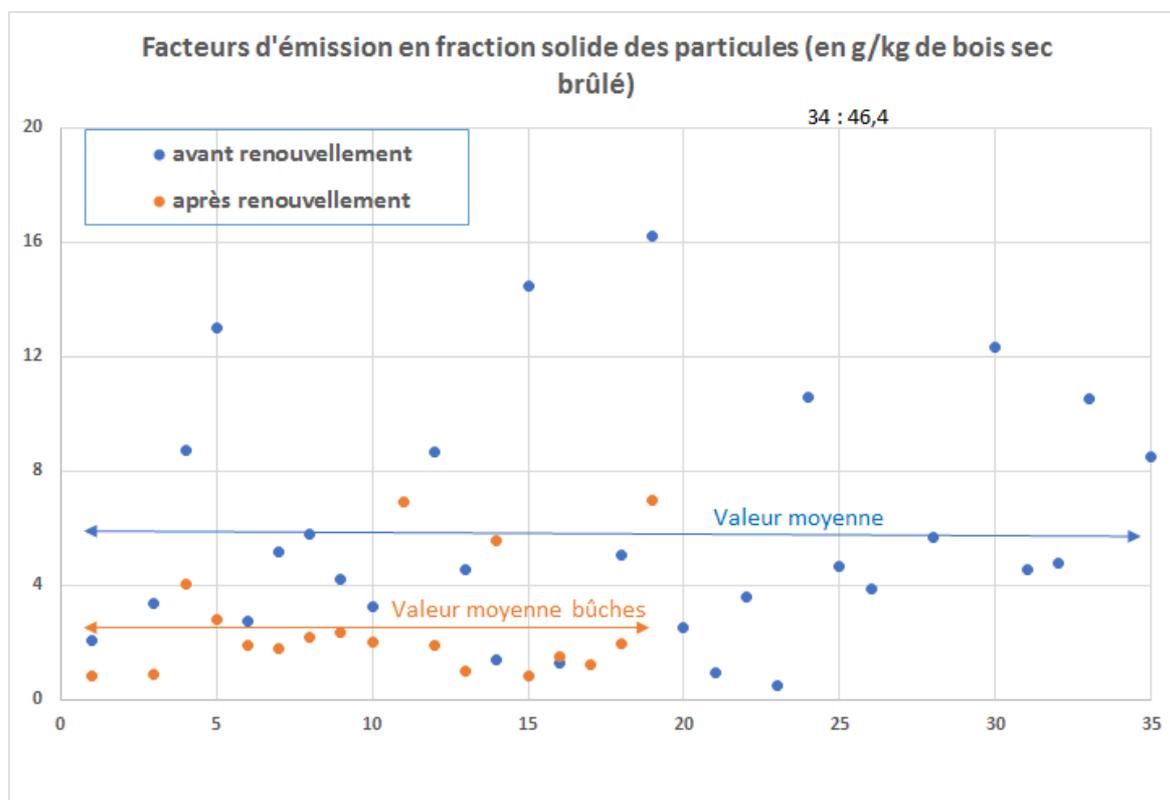


Figure 13 : Facteurs d'émission en fraction solide des particules estimés (en g/kg de bois sec brûlé)

Comme pour les valeurs exprimées en concentration, les facteurs d'émission déterminés sont bien plus dispersés avant renouvellement qu'après renouvellement. Avant renouvellement, quelques foyers (4, 5, 12, 15, 19, 24, 30, 33 et 35) interviennent fortement sur la moyenne. Nous ne disposons pas d'éléments permettant d'expliquer le résultat obtenu sur le logement 14 (valeur après renouvellement supérieure à la valeur avant) ; bon nombre de paramètres ayant pu l'influencer (les mesurages étant effectués in situ, en usage réel).

	30 appareils à bûches
Avant renouvellement	6,0 <sup>a</sup> (4,6)
	18 appareils à bûches
Après renouvellement	2,6 (1,9)
<b>Réduction en %</b>	<b>57 (56)</b>

a : une valeur retirée (46,4 : allure très réduite)

Tableau 7 : Facteurs d'émission moyens (médians) en fraction solide des particules estimés (en g/kg de bois sec brûlé)

Le remplacement d'appareils anciens (27 ans de moyenne d'âge) par des appareils performants récents à bûches conduit à une réduction des facteurs d'émission de la fraction solide des particules de 57 %.

### 3.4.2.2.2. Valeurs exprimées en g/MJ utile

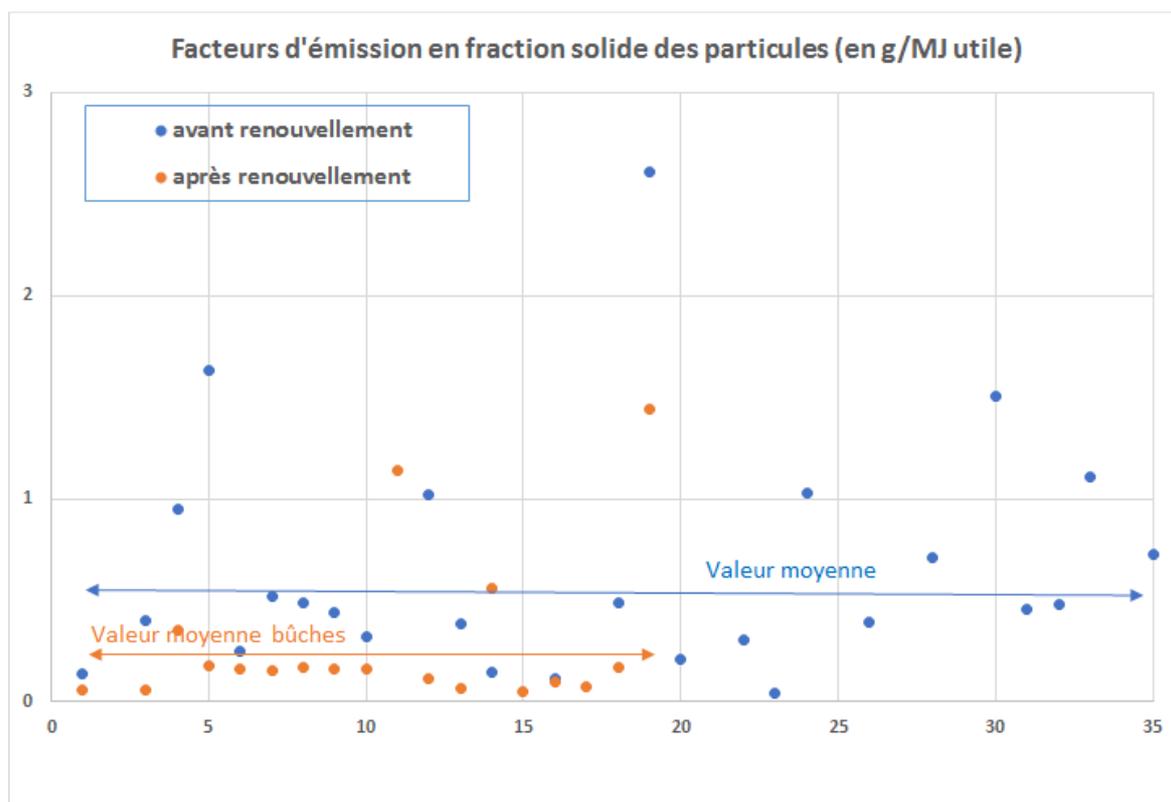


Figure 14 : Facteurs d'émission en fraction solide des particules estimés (en g/MJ utile)

	26 appareils à bûches
Avant renouvellement	0,65 (0,47)
	18 appareils à bûches
Après renouvellement	0,29 (0,16)
<b>Réduction en %</b>	<b>56 (66)</b>

Tableau 8 : Facteurs d'émission moyens (médians) en fraction solide des particules estimés (en g/MJ utile).

A quantité égale d'énergie utile produite, le remplacement d'appareils anciens par des appareils performants récents à bûches conduit à une réduction des facteurs d'émission de la fraction solide des particules de 56 %. Le gain déterminé à partir des valeurs médianes est sensiblement supérieur (66 %).

### 3.4.2.3. Facteurs d'émission en particules totales

Les facteurs d'émission en particules totales sont présentés dans les graphes et tableaux ci-après.

#### 3.4.2.3.1. Valeurs exprimées en g/kg de bois sec brûlé

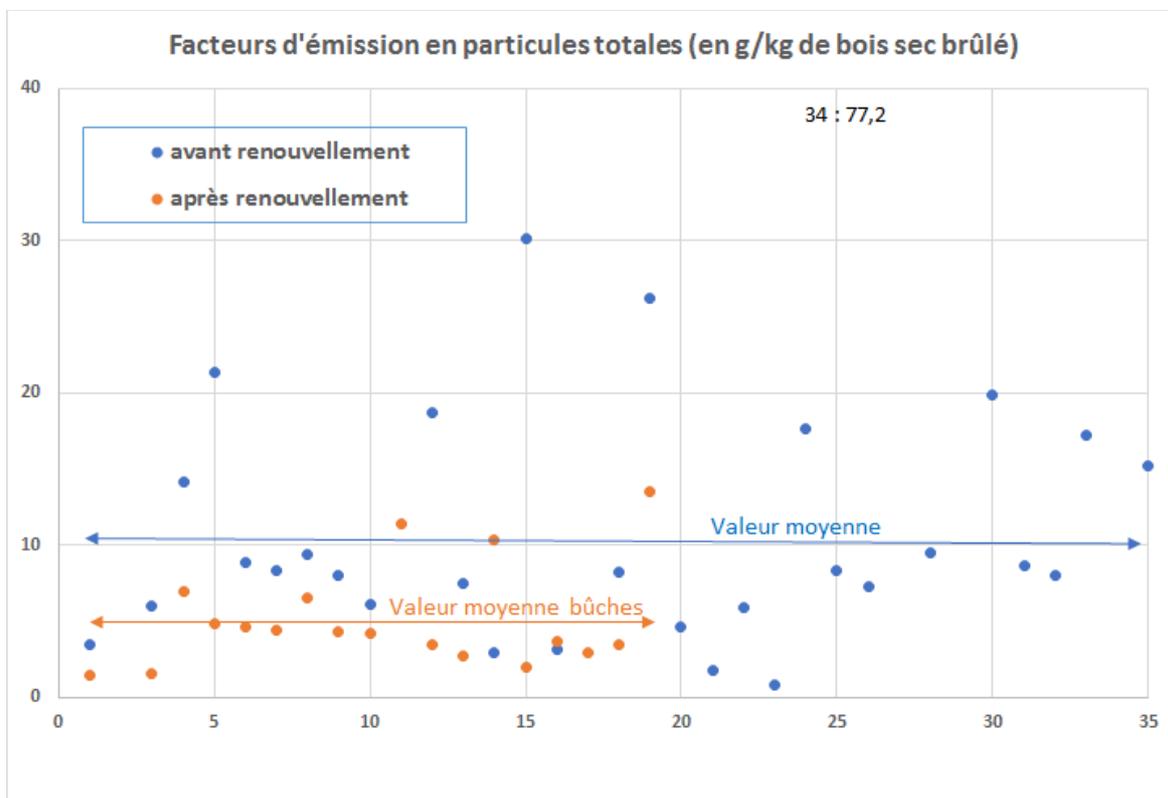


Figure 15 : Facteurs d'émission en particules totales (en g/kg de bois sec brûlé)

	30 appareils à bûches
Avant renouvellement	10,6 <sup>a</sup> (8,3)
	18 appareils à bûches
Après renouvellement	5,1 (4,3)
<b>Réduction en %</b>	<b>52 (48)</b>

a : une valeur retirée (77,2 : allure très réduite)

Tableau 9 : Facteurs d'émission moyens (médians) en particules totales (en g/kg de bois sec brûlé)

Le remplacement d'appareils anciens (27 ans de moyenne d'âge) par des appareils performants récents à bûches conduit à une réduction des facteurs d'émission en particules totales (fractions solide et condensable) de 52 %.

### 3.4.2.3.2. Valeurs exprimées en g/MJ utile

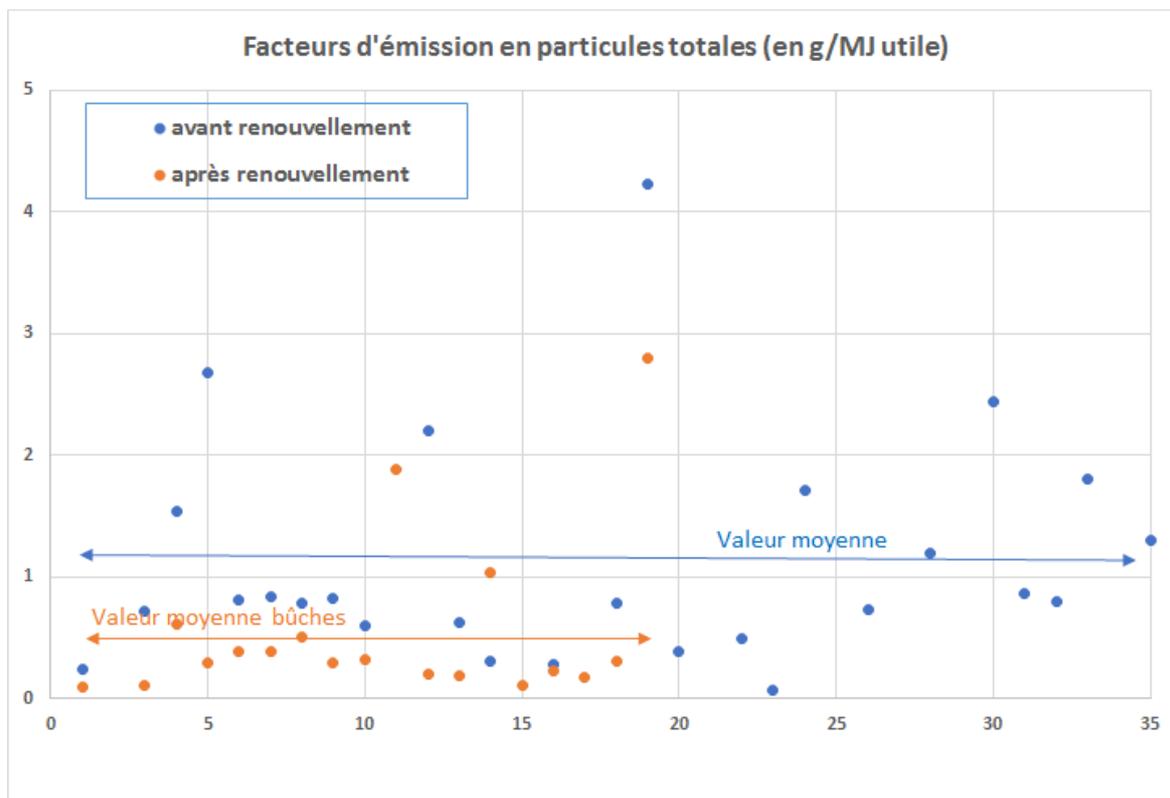


Figure 16 : Facteurs d'émission en particules totales (en g/MJ utile)

	26 appareils à bûches
Avant renouvellement	1,13 (0,81)
	18 appareils à bûches
Après renouvellement	0,56 (0,30)
<b>Réduction en %</b>	<b>51 (62)</b>

Tableau 10 : Facteurs d'émission moyens (médians) en particules totales (en g/MJ utile)

A quantité égale d'énergie utile produite, le remplacement d'appareils anciens par des appareils performants récents à bûches conduit à une réduction des facteurs d'émission en particules totales de 56 %. Le gain déterminé à partir des valeurs médianes est sensiblement supérieur (62 %).

### 3.5. Comparaison des résultats obtenus sur les appareils à bûches avec ceux d'études menées afin d'établir ou d'actualiser des facteurs d'émission de polluants

Dans le cadre de l'inventaire national d'émission, les émissions de polluants atmosphériques de la combustion du bois dans le secteur résidentiel sont estimées à partir de la consommation de bois par les ménages, de la modélisation du parc d'appareils installé et de l'utilisation de facteurs d'émission définis par catégorie d'appareil.

Deux études ont été précédemment menées par l'INERIS afin d'établir et d'actualiser les facteurs d'émission de polluants pour les appareils à bûches à utiliser dans le cadre de l'inventaire : la première en 2001 (INERIS, 2001) et la seconde en 2015 (AFAC, 2015).

Il est donc intéressant de comparer les facteurs d'émission obtenus *in situ* au cours de la présente étude à ceux établis en 2001 et en 2015 sur banc d'essais en simulant des conditions réelles.

Rappelons qu'en 2001 et 2015, les facteurs d'émission en polluants avaient été établis sur des appareils neufs. Ce n'est pas le cas pour ceux établis au cours de la campagne avant renouvellement du présent projet, sur des appareils anciens (27 de moyenne d'âge). Le vieillissement des appareils engendre généralement des entrées d'air froides non maîtrisées dans la chambre de combustion, du fait des contraintes thermiques répétées auxquelles les appareils sont soumis, ce qui a pour conséquence la formation d'imbrûlés, notamment des particules de suies.

Facteurs d'émission	CO	Particules totales
Unité	g/kg de bois sec brûlé	g/kg de bois sec brûlé
2001	118 (AN : 71 - AR : 164)	11,5 (estimation)
2015	66,3 (AN : 54,3 - AR : 78,6)	7,7 (AN : 5,0 - AR : 10,4)
Avant renouvellement	65,8	10,6
Après renouvellement	39,6	5,1

AN : allure nominale ; AR : allure réduite

**Tableau 11 : Comparaison des facteurs d'émission obtenus pour les appareils à bûches à ceux établis en 2001 et 2015**

Il est à noter que, dans le cadre de la présente étude :

- Une sous-estimation du facteur d'émission en CO est probable pour les appareils à bûches, du fait d'une prise de concentration toutes les 10 mn et donc d'une mauvaise prise en compte du pic d'émission qui dure 10 à 15 mn environ après mise en place de la charge de bois ;
- Les teneurs massiques en particules sont estimées au moyen d'un mesurage en nombre, tandis que lors des études menées en 2001 et 2015, elles ont été mesurées selon les normes en vigueur (directement en unité massique) ;
- Les essais ont été menés majoritairement à allure nominale (60 % environ à allure nominale, 30 % environ à allure intermédiaire et moins de 10 % à allure réduite - cf. figure 4) tandis que lors des études menées en 2001 et 2015, la moitié des essais avait été menée à allure nominale, l'autre moitié ayant été réalisée à allure réduite ;
- Les essais ont été menés majoritairement avec du hêtre (cf. tableau 1), tandis que lors des études de 2001 et 2015, d'autres essences telles que le chêne et le sapin, pouvant être à l'origine de plus fortes émissions de polluants, avaient également été prises en compte ;
- Enfin, compte tenu des contraintes opérationnelles liées à la réalisation d'essais chez des particuliers, un seul mesurage a été effectué par appareil testé.

Compte tenu de l'ensemble de ces éléments, les facteurs d'émission déterminés sont, pour le CO et les particules totales, cohérents avec les résultats obtenus en 2001 et 2015.

Notons par ailleurs que des facteurs d'émission très élevés sont observés :

- En CO lors de l'utilisation de bois humide (28 % d'humidité) : 233 mg/kg de bois sec brûlé (logement 25),
- Et en particules totales lors de l'utilisation d'une allure très réduite : 77,2 mg/kg de bois sec brûlé (logement 34).

Ces chiffres mettent en évidence l'impact important de mauvaises pratiques (utilisation de bois humide et usage d'allure très réduite) sur les émissions de CO et particules. Ces valeurs atypiques n'ont pas été prises en compte dans les valeurs moyennes indiquées ci-dessus afin de ne pas fausser la comparaison avant / après renouvellement.

### 3.6. Analyse statistique

Rappelons que les tests menés avant et après renouvellement des appareils n'ont pas été forcément réalisés dans les mêmes conditions. En effet, la représentativité des mesures *in situ* a été privilégiée en laissant chaque particulier gérer le fonctionnement de son appareil selon ses habitudes (charge introduite, gestion des entrées d'air et de l'allure notamment). Des essais ont, par exemple, été effectués à allure réduite avant renouvellement et à allure

nominales après renouvellement, ou inversement, selon les besoins en chauffage du logement au moment des essais.

Afin de comparer les moyennes avant et après renouvellement des appareils, le test paramétrique de Student apparié a été utilisé, en considérant qu'un même échantillon a fait l'objet d'une mesure avant et après. Il permet de voir si deux moyennes sont significativement différentes d'un point de vue statistique. Le test non paramétrique de Wilcoxon a été utilisé lorsque les conditions du test de Student n'étaient pas remplies (nombre de données insuffisantes notamment).

Ces tests ont été menés sans les deux points atypiques correspondant à une allure très réduite et un bois humide (28 % d'humidité).

Les résultats du test mettent en évidence que les concentrations en polluants (ramenées à 13 % d'O<sub>2</sub>) après renouvellement sont inférieures aux concentrations avant, avec les p-value<sup>5</sup> suivants :

Pour le CO :

- 1,6e<sup>-6</sup> (très fortement significatif) pour l'ensemble des appareils ;
- 0,004 (fortement significatif) pour les appareils à bûches uniquement ;

Pour les particules totales :

- 5,0e<sup>-4</sup> (très fortement significatif) pour l'ensemble des appareils ;
- 0,006 (fortement significatif) pour les appareils à bûches uniquement.

Les résultats confirment l'influence de quelques paramètres sur les teneurs en polluants, tels que l'humidité du bois ou le rendement (cf. figures 2 et 3 en annexe 4). L'influence de ces paramètres n'a pu être testée que sur les données dans leur ensemble, trop peu de données étant disponibles pour mener les tests par type d'appareils (bûches et granulés).

L'influence de l'humidité du bois sur les émissions de particules n'a pu être mise en évidence du fait probablement d'une fourchette trop restreinte de teneurs en humidité.

Le

Tableau 12 présente les paramètres ayant l'influence la plus significative.

Paramètre testé	Influence sur	p-value	Signification de la tendance
Rendement	Teneur en CO (à 13 % d'O <sub>2</sub> )	0,002	Forte
Humidité du bois	Teneur en CO (à 13 % d'O <sub>2</sub> )	8,6e-07	Très forte
Rendement	Teneur en particules totales (à 13 % d'O <sub>2</sub> )	1,9e-05	Très forte

**Tableau 12 : Influence de quelques paramètres sur les teneurs en polluants**

Lorsque l'influence du rendement et de l'humidité du bois est testée sur la teneur en CO, les appareils à granulés, qui disposent de rendements élevés, d'un combustible sec (7 % d'humidité retenue) et de teneurs en CO faibles, jouent un rôle important sur la significativité de la tendance.

<sup>5</sup> Les seuils de significativité des p-values sont présentés en annexe 4

## 4. Conclusions / Perspectives

L'objectif de cette étude est de mieux cerner l'efficacité de l'opération de modernisation du parc d'appareils de chauffage individuel fonctionnant au bois dans la Vallée de l'Arve en termes d'amélioration de la qualité de l'air.

Les essais ont été menés *in situ* chez 35 particuliers, soit 19 renouvellements réalisés avec des appareils à bûches et 16 avec des appareils à granulés. Au cours des essais, chaque particulier gérait le fonctionnement de son appareil selon ses habitudes (charge introduite, essence de bois et humidité, gestion des entrées d'air et de l'allure notamment) afin de privilégier la représentativité des mesures réalisées dans des conditions de fonctionnement en usage réel des appareils.

Les résultats obtenus mettent en évidence que les concentrations en polluants (ramenées à 13 % d'O<sub>2</sub>) **après renouvellement sont statistiquement inférieures** aux concentrations avant renouvellement. Ils nous éclairent sur l'impact du renouvellement des appareils sur les émissions de polluants et les rendements. Lors du renouvellement d'un appareil ancien (avant 2002) par un appareil performant labélisé Flamme verte 7 étoiles ou équivalent, les gains de rendement et les réductions des émissions polluantes sont en moyenne les suivants :

Renouvellement par :	Rendement	CO	Particules totales
Un appareil à bûches	Gain de 16 points	Baisse de 41 %	Baisse de 57 %
Un appareil à granulés	Gain de 34 points	Baisse de 88 %	Baisse de 44 %

**Tableau 13 : Gains de rendement et réduction des émissions polluantes observés en moyenne lors du renouvellement d'un appareil ancien par un appareil performant**

**NB : valeurs estimées à partir des concentrations en polluants ramenées à 13 % d'O<sub>2</sub>)**

L'augmentation des rendements observée va permettre aux particuliers de réduire leurs consommations de bois pour une quantité d'énergie délivrée équivalente. **Outre un gain financier lié à l'achat du combustible, cette moindre consommation de bois contribue à réduire les émissions polluantes.**

Les résultats obtenus nous éclairent également sur les performances des appareils.

Pour les appareils anciens (27 ans de moyenne d'âge) :

- Les rendements de ces appareils sont de 54 % en moyenne (fourchette de valeurs allant de 41 à 68 %) ;
- Les niveaux d'émission en CO sont de l'ordre de 5890 mg/m<sup>3</sup> à 13 % d'O<sub>2</sub> (Ic<sup>6</sup> à 95 % : 5080-7000 ou en relatif ± 15 %) ;
- Les niveaux d'émission en particules totales sont de l'ordre de 950 mg/m<sup>3</sup> à 13 % d'O<sub>2</sub> (Ic à 95 % : 680-1220 ou ± 28 %). Un tiers des appareils représentent 79 % des émissions de particules totales. Il s'agit d'appareils ayant des excès d'air importants avec de probables entrées d'air froid dans la chambre, liées à une usure des joints ou à des déformations et à l'origine de la formation de particules, ou qui sont utilisés à des allures réduites ou très réduites. Ce constat met en évidence l'impact du vieillissement et/ou du manque d'entretien des appareils. L'excès d'air de ces appareils étant très élevé, une simple mesure d'O<sub>2</sub> permettrait de les identifier ;

Pour les appareils récents à bûches (17 FV 7\*, 2 FV 5\*) :

- Les rendements des appareils récents à bûches sont en moyenne d'environ 70 %. Les résultats obtenus sont cependant très dispersés (fourchette allant de 54 à 93 %) ;
- Les niveaux d'émission en CO : 3400 mg/m<sup>3</sup> à 13 % d'O<sub>2</sub> environ (Ic à 95 % : 2360-4440 ou ± 31 %) ;
- Les niveaux d'émission en particules totales (450 mg/m<sup>3</sup> à 13 % d'O<sub>2</sub>, Ic à 95 % : 400-600 ou ± 33 %) sont globalement bien plus faibles que ceux des appareils anciens à bûches ;

<sup>6</sup> Ic : intervalle de confiance à 95 %

#### Pour les appareils à granulés :

- Les rendements des appareils à granulés sont d'environ 88 %, soient 18 points supérieurs à ceux des appareils à bûches. Les résultats obtenus sont assez homogènes ;
- Les niveaux d'émission en CO :  $760 \text{ mg/m}_0^3$  à 13 % d'O<sub>2</sub> (Ic à 95 % : 340-1180 ou  $\pm 55$  %). Ces niveaux sont également bien plus faibles que ceux des appareils récents à bûches ;
- Les niveaux d'émission de particules totales des appareils à granulés sont du même ordre de grandeur que ceux des appareils récents à bûches ( $470 \text{ mg/m}_0^3$  à 13 % d'O<sub>2</sub>, Ic à 95 % : 280-660 ou  $\pm 40$  %). Ces valeurs relativement élevées pourraient provenir d'une utilisation fréquente de ces appareils à allure réduite. La puissance nominale utile des appareils à granulés installés dépasse la puissance nominale utile des appareils qu'ils remplacent. Un dimensionnement prenant en compte les rendements élevés de ces appareils est indispensable afin que l'utilisateur n'ait recours trop fréquemment à des allures réduites. Du fait d'un mode de pilotage automatisé de ces appareils, leur allure de fonctionnement n'a pas pu être relevée précisément lors des essais.

Les niveaux d'émissions de particules pour les appareils à granulés sont entachés d'une incertitude plus importante que ceux obtenus pour les appareils à bûches. Leurs émissions sont en effet estimées au moyen d'une corrélation établie à partir des émissions des appareils à bûches. Cette incertitude, non connue, n'est pas prise en compte dans l'intervalle de confiance indiqué précédemment. Rappelons également que la corrélation établie est en lien avec la granulométrie des particules, l'emploi d'une autre corrélation supposerait donc une granulométrie différente des particules entre ces deux types d'appareils.

Enfin, les résultats obtenus dans cette étude confirment qu'il ne suffit pas de disposer d'un appareil performant pour limiter les émissions de polluants liées à la combustion du bois : le dimensionnement de l'appareil par rapport au logement dans lequel il est installé et les pratiques d'utilisation ont également une importance capitale<sup>7</sup>.

Il a par exemple été mis en évidence lors de nos essais, l'impact important sur les émissions :

- De l'humidité du bois : un bois à 28 % d'humidité engendre 4 fois plus d'émissions de CO qu'un bois à 14 % d'humidité (cas du logement 25 avant changement d'appareil) ;
- De l'allure d'utilisation : à allure très réduite, un appareil peut émettre 15 fois plus de particules qu'à allure nominale (cas du logement 34 avant changement d'appareil) ;
- Du manque d'entretien : les appareils anciens les plus émetteurs de particules sont ceux qui présentent des entrées d'air non maîtrisées probablement liées à une usure des joints ou des déformations.

---

<sup>7</sup> Synthèse des études à l'émission réalisées par l'Ineris, 2018. Note de synthèse INERIS : <https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/DRC-17-164787-10342A.pdf>

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

AFAC (CORTEA), 2015. Détermination de facteurs d'émission de polluants des foyers domestiques alimentés au bois - Rapport final. ADEME. 51 pages.

CARVE 2, 2016. Campagnes de mesures de particules à l'émission de foyers domestiques alimentés au bois dans la vallée de l'Arve - Rapport final. ADEME. 14 pages.

INERIS, 2001. Emissions liées à la combustion du bois par les foyers domestiques - Rapport final. INERIS DRC-02-25420-AIRE-n°271-SCo. 45 pages.

Jaffrezo JL, Besombes JL, Marchand N, Mocnik G, Brulfert G, Chevrier F, Bertrand A, Jezek I., and Allard J. 2018. DEconvolution de la contribution de la COMbustion de la BIOMasse aux particules dans la vallée de l'Arve – projet DECOMBIO. 160 pages.

Peren<sup>2</sup>Bois, 2012. 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 domestiques utilisant la biomasse. Rapport INERIS : <http://www.ineris.fr/centredoc/peren2bois-1357814186.pdf>.

Synthèse des études à l'émission réalisées par l'Ineris, 2018. Note de synthèse INERIS : <https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/DRC-17-164787-10342A.pdf>

## INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

### TABLEAUX

<b>Tableau 1 : Essences de bois utilisées lors des essais</b> .....	18
<b>Tableau 2 : Teneurs moyennes (médianes) en CO (en mg/m<sup>3</sup> à 13% d'O<sub>2</sub>)</b> .....	22
<b>Tableau 3 : Teneurs moyennes (médianes) estimées en fraction solide des particules (en mg/m<sup>3</sup> à 13% d'O<sub>2</sub>)</b> .....	23
<b>Tableau 4 : Teneurs moyennes (médianes) estimées en particules totales (en mg/m<sup>3</sup> à 13% d'O<sub>2</sub>)</b> .....	24
<b>Tableau 5 : Facteurs d'émission moyens (médians) en CO estimés (en g/kg de bois sec brûlé)</b> .....	25
<b>Tableau 6 : Facteurs d'émission moyens (médians) en CO estimés (en g/MJ utile)</b> .....	26
<b>Tableau 7 : Facteurs d'émission moyens (médians) en fraction solide des particules estimés</b> .....	27
<b>Tableau 8 : Facteurs d'émission moyens (médians) en fraction solide des particules estimés (en g/MJ utile)</b> .....	28
<b>Tableau 9 : Facteurs d'émission moyens (médians) en particules totales (en g/kg de bois sec brûlé)</b> .....	29
<b>Tableau 10 : Facteurs d'émission moyens (médians) en particules totales (en g/MJ utile)</b> .....	30
<b>Tableau 11 : Comparaison des facteurs d'émission obtenus pour les appareils à bûches à ceux établis en 2001 et 2015</b> .....	31
<b>Tableau 12 : Influence de quelques paramètres sur les teneurs en polluants</b> .....	32
<b>Tableau 13 : Gains de rendement et réduction des émissions polluantes observés en moyenne lors du renouvellement d'un appareil ancien par un appareil performant</b> .....	33

### FIGURES

<b>Figure 1 : Déroulement du projet CARVE</b> .....	10
<b>Figure 2 : Comparaison de méthodes de mesurage de particules (PPS Pegasor vs fraction solide des particules)</b> .....	12
<b>Figure 3 : Comparaison de méthodes de mesurage de particules (PPS Pegasor vs particules totales)</b> .....	13
<b>Figure 4 : Interventions in situ chez des particuliers</b> .....	14
<b>Figure 5 : Allures habituelles de fonctionnement des appareils à bûches avant et après renouvellement</b> .....	17
<b>Figure 6 : Allures de fonctionnement des appareils à bûches lors des essais</b> .....	19
<b>Figure 7 : Rendements des appareils estimés dans les 35 logements avant et après renouvellement des appareils (en %)</b> .....	20
<b>Figure 8 : Teneurs en CO mesurées dans les 35 logements (en mg/m<sup>3</sup> à 13% d'O<sub>2</sub>)</b> .....	21
<b>Figure 9 : Teneurs estimées en fraction solide des particules dans les 35 logements (en mg/m<sup>3</sup> à 13% d'O<sub>2</sub>)</b> .....	22
<b>Figure 10 : Teneurs estimées en particules totales dans les 35 logements (en mg/m<sup>3</sup> à 13% d'O<sub>2</sub>)</b> .....	24
<b>Figure 11 : Facteurs d'émission en CO estimés</b> .....	25
<b>Figure 12 : Facteurs d'émission en CO estimés (en g/MJ utile)</b> .....	26
<b>Figure 13 : Facteurs d'émission en fraction solide des particules estimés (en g/kg de bois sec brûlé)</b> .....	27
<b>Figure 14 : Facteurs d'émission en fraction solide des particules estimés</b> .....	28
<b>Figure 15 : Facteurs d'émission en particules totales (en g/kg de bois sec brûlé)</b> .....	29
<b>Figure 16 : Facteurs d'émission en particules totales (en g/MJ utile)</b> .....	30

## SIGLES ET ACRONYMES

---

<b>ADEME</b>	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
<b>CO</b>	Monoxyde de carbone
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de carbone
<b>FV</b>	Flamme verte (label)
<b>mg/m<sub>0</sub><sup>3</sup></b>	Unité de concentration en milligrammes par mètres cubes exprimée aux conditions normales de température et pression (273 K et 101,3 kPa)
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxygène
<b>PM</b>	Particle matter (matière particulaire)
<b>PM<sub>x</sub></b>	Ensemble de la matière particulaire d'un diamètre aérodynamique inférieur à x micromètre (e.g. PM <sub>2.5</sub> )
<b>SM3A</b>	Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Abords

## LISTE DES ANNEXES

---

Repère	Désignation	Nb pages
1	Comparaison des principales caractéristiques de deux analyseurs de particules	1
2	Mesures du CO : comparaison entre l'analyseur Testo et la méthode de référence	1
3	Protocole de mesure et questionnaire	2
4	Analyse statistique	2

## **ANNEXE 1**

### Comparaison des principales caractéristiques de deux analyseurs de particules

Analyseur	Testo	PPS Pegasor
Gamme (mg/m <sup>3</sup> )	500 environ	2000
Utilisation	contrôle des foyers domestiques (1)	cheminées et émissions des véhicules
Dilution	oui	oui
Capteur	microbalance	mesure des charges électriques des particules
Poids (kg)	10	3
Possibilité de monter le matériel en toiture	oui, idem pour les 2 appareils	
Durée des mesures (mn) (1)	15 ou 30	pas de limitation (2)
Mesure en masse	oui	oui, avec corrélation (3)
Compteur de particules	non	oui
Température	80°C	200°C
Influence de l'humidité	non, du fait de la dilution	non, analyseur chauffé
Mesure du CO et O <sub>2</sub>	oui	non (4)
Evaluation robustesse (avis INERIS)	++	++++
Besoin spécifique	RAS	alimentation en air comprimé
Alimentation électrique	oui	oui

- (1) l'analyseur Testo a été conçu pour la réalisation de contrôle des foyers domestiques allemands chez les particuliers suivant une norme en projet qui définit les conditions d'essais et la durée du contrôle (15 mn).
- (2) le PPS Pegasor peut être utilisé en continu sur des périodes longues contrairement à l'analyseur Testo qui nécessite d'être calés (par rapport à l'introduction des bûches dans le foyer par exemple). La représentativité des mesures avec le PPS Pegasor est donc bien meilleure (mesurage sur une période plus longue). Le mesurage peut être démarré avant introduction des bûches dans le foyer et arrêté quand on le souhaite. Il pourrait par exemple permettre de déterminer des facteurs d'émission en arrêtant l'acquisition après brûlage complet des bûches introduites.
- (3) un calibrage par rapport à la méthode de mesurage normalisée des poussières est nécessaire pour établir cette corrélation. Quel que soit l'analyseur retenu, il est nécessaire de le tester sur le banc de l'INERIS pour vérifier les écarts constatés ou établir la corrélation par rapport à la méthode normalisée.
- (4) possibilité de faire les mesurages de CO avec l'analyseur Testo déjà acquis, car ce dernier comprend un analyseur de particules et un analyseur de CO et O<sub>2</sub> (boîtier distinct de l'analyseur de particules, qui peut être utilisé simultanément avec l'analyseur PPS Pegasor).

## **ANNEXE 2**

Mesure du CO : comparaison entre l'analyseur Testo et la méthode de référence

Pour la mesure du CO, les résultats de la comparaison entre l'analyseur Testo et la méthode de référence (NF EN 15058) sont présentés dans le graphe et le tableau ci-après.

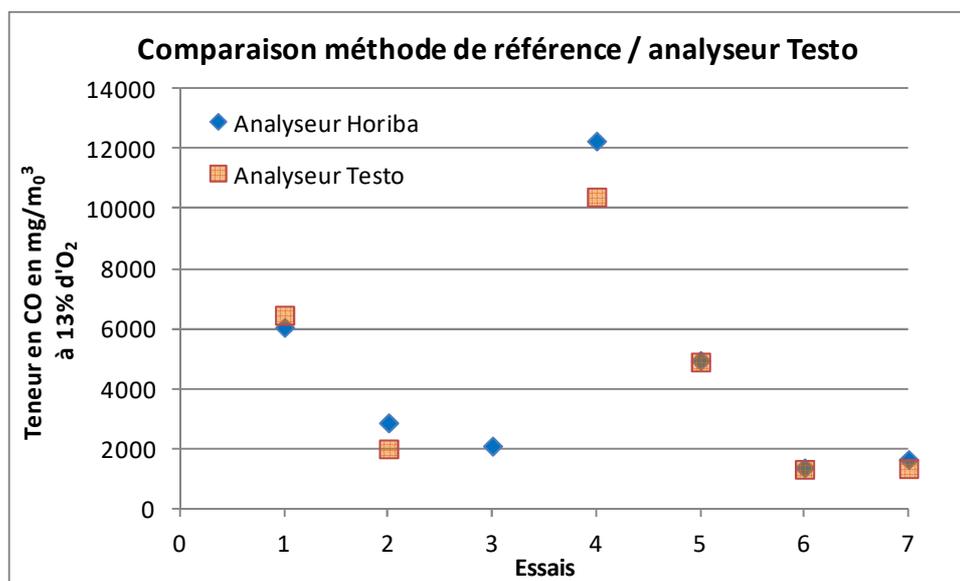


Figure A3-1 : Comparaison entre la méthode de référence et l'analyseur Testo pour la mesure du CO.

Essais	Analyseur Horiba (méthode de référence)	Analyseur Testo	Ecart observé par rapport à la méthode de référence
Unité	mg/m <sup>3</sup> à 13% d'O <sub>2</sub>		%
1	6045	6453	-7
2	2862	1998	30
3	2089	-	-
4	12262	10396	15
5	4938	4890	1
6	1364	1312	4
7	1640	1340	18

Tableau A3-1 : Teneurs en CO mesurées au moyen de la méthode de référence et de l'analyseur Testo. Ecart observé entre les deux méthodes.

Une incertitude de 20% est associée à la mesure du CO au moyen de l'analyseur Testo (incertitude déterminée lors de l'évaluation de l'analyseur par le TUV). L'intervalle de confiance à 95% associée à la mesure du CO au moyen de la méthode de référence est de l'ordre de 10%.

Les écarts observés entre l'analyseur Testo et la méthode de référence sont cohérents avec les incertitudes annoncées. Seul l'essai 2 présente un écart relativement important. Lors de l'essai 3 aucune valeur de CO n'a été fournie par l'analyseur Testo (problème de connectique ?).

# **ANNEXE 3**

## **Protocole de mesure et questionnaire**

## Protocole de mesure

### Visite préliminaire

- Informer le particulier sur l'opération menée (remettre la fiche de présentation du projet) ;
- S'assurer de l'accessibilité au conduit ;
- S'assurer de la disponibilité des personnes (prendre un RV pour la réalisation de l'intervention).

### Intervention

- Disposer d'une réserve de bûches pour essai (de façon à remplacer la charge mise en place par le particulier si besoin) ;
- Remplir le questionnaire joint ;
- Relever l'humidité du bois ;
- Peser les bûches à introduire ;
- Laisser le particulier conduire le foyer (sauf si des anomalies sont observées : introduction de déchets, disproportion de la charge de bois introduite, bûches trop humides) ;
- Réaliser les mesures sur une période d'au moins 45 mn (démarrage de l'essai lors de l'introduction des bûches en se faisant aider par le particulier) avec les analyseurs PPS et Testo (faire un relevé des teneurs en O<sub>2</sub> et CO toutes les 10 mn environ - valeurs à inscrire dans le questionnaire) ;
- Relever les conditions ambiantes (intérieur / extérieur) ;
- Transférer les données du PPS vers le PC (Excel) ;
- Transférer les fichiers de résultats à l'Ineris régulièrement ;
- Faire une copie de la fiche de renseignement ;
- Envoyer régulièrement les fiches de renseignements à l'Ineris.

## Questionnaire

<b>Intervenant :</b>	<b>Date :</b>	<b>Foyer :</b>	
<b>Client :</b>		Constructeur :	
Nom de la personne :		Modèle :	
Adresse :		Année d'installation :	Puissance (en kW) :
Heure de début de mesure :		<b>Conduit :</b>	
Heure de fin de mesure :		Hauteur du conduit (approximatif en m) :	
<b>Combustible :</b>		Présence d'un régulateur de tirage : <input type="checkbox"/>	
Heure d'allumage du foyer (approximativement) :		Diamètre du conduit (en m) :	
Heure du chargement (pour essai) :		<b>Entrées d'air :</b>	
Essence de bois brûlée :		Primaire <input type="checkbox"/>	
Quantité de bois chargé pour l'essai (pesée en kg) :		Secondaire <input type="checkbox"/>	
Nombre de bûches introduite :		<b>Questions sur le fonctionnement habituel du foyer :</b>	
Longueur des bûches (en m) :		Utilisation :	
Quartiers <input type="checkbox"/>		Agrément <input type="checkbox"/>	
Rondins <input type="checkbox"/>		Appoint <input type="checkbox"/>	
Humidité du bois (%) :		Base <input type="checkbox"/>	
<b>Allure du foyer lors de l'essai :</b>		Nombre d'heures de fonctionnement par jour :	
Nominale <input type="checkbox"/>		Conditions habituelles de fonctionnement :	
Réduite <input type="checkbox"/>		- Essence de bois utilisée :	
Intermédiaire <input type="checkbox"/>		- Allure du foyer (en journée) : nominal / intermédiaire / réduite	
<b>Position du point de mesure :</b>		- Allure du foyer (la nuit) : nominal / intermédiaire / réduite	
- sortie foyer <input type="checkbox"/>		- Charge de bois utilisée :	
- sortie cheminée <input type="checkbox"/>		- Nombre de bûches introduite :	
Distance approximative par rapport au foyer (en m) :		- Durée de stockage du bois avant utilisation :	
Présence d'une trappe de ramonage <input type="checkbox"/>		<b>Conditions ambiantes lors de l'essai :</b>	
Relevé des mesures d'O <sub>2</sub> et CO toutes les 5 à 10 mn		Température intérieure (°C) :	
O <sub>2</sub> (%) :		Humidité intérieure (%) :	
CO (ppm) :		Température extérieure (°C) :	
		Humidité extérieure (%) :	
<b>Test de connaissance de l'utilisateur (à remplir à l'issue du second essai)</b>		- réglage des entrées d'air primaire et secondaire aux différentes	
- charge de bois approximative à introduire (3,5 kW/kg) : oui / non		allures (allumage, nominale et réduite) : oui / non	
- positionnement des bûches (éviter d'obturer l'entrée d'air secondaire) : oui / non		- mise en service de l'appareil avec l'installateur : oui / non	
Observations/Remarques :			

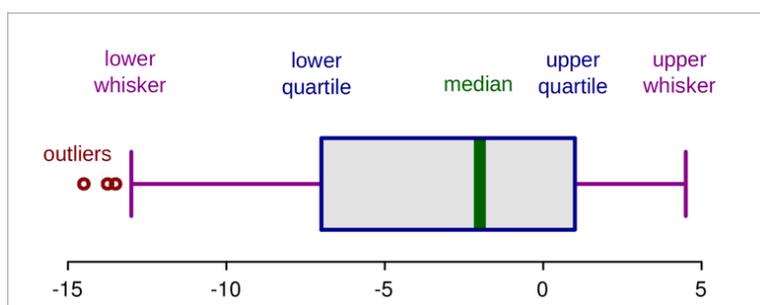
# **ANNEXE 4**

## **Analyse statistique**

Seuil de significativité des p-value (plus la p-value est faible, plus la tendance est significative) :

p-value $\leq$ 0,001	à très fortement significative
0,001 < p-value $\leq$ 0,01	à fortement significative
0,01 < p-value $\leq$ 0,05	à moyennement significative
0,05 < p-value $\leq$ 0,1	à faiblement significative
p-value > 0,1	à non significative

Guide de lecture des boxplots :



Seuil de significativité des p-value (plus la p-value est faible, plus la tendance est significative) :

p-value $\leq$ 0,001	à très fortement significative
0,001 < p-value $\leq$ 0,01	à fortement significative
0,01 < p-value $\leq$ 0,05	à moyennement significative
0,05 < p-value $\leq$ 0,1	à faiblement significative
p-value > 0,1	à non significative

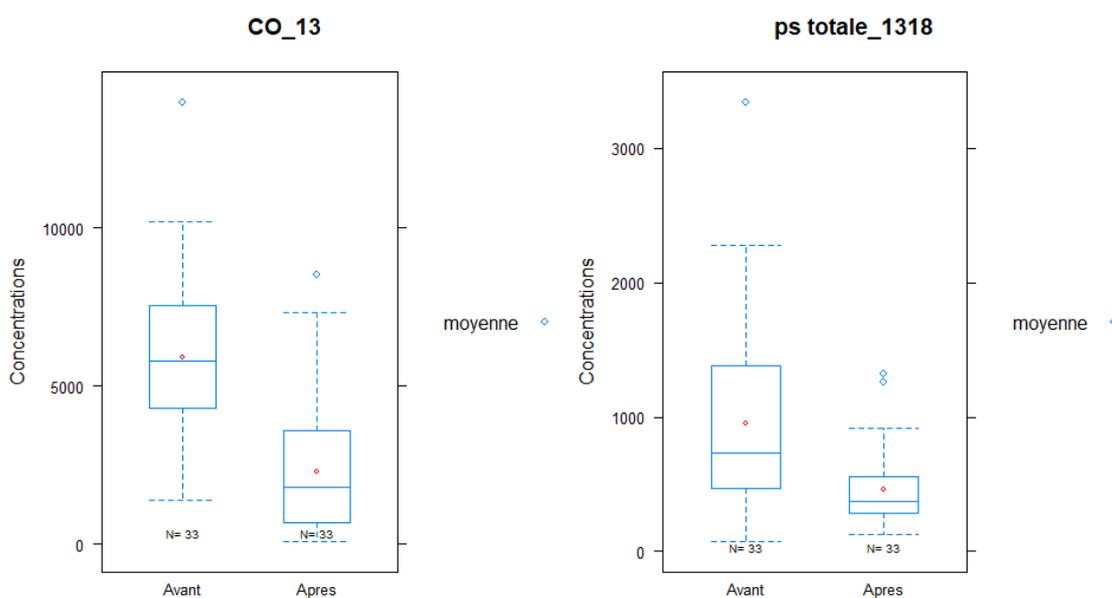


Figure 1 : comparaison de moyennes avant / après renouvellement (teneurs en CO et en particules totales à 13% d'O<sub>2</sub>).

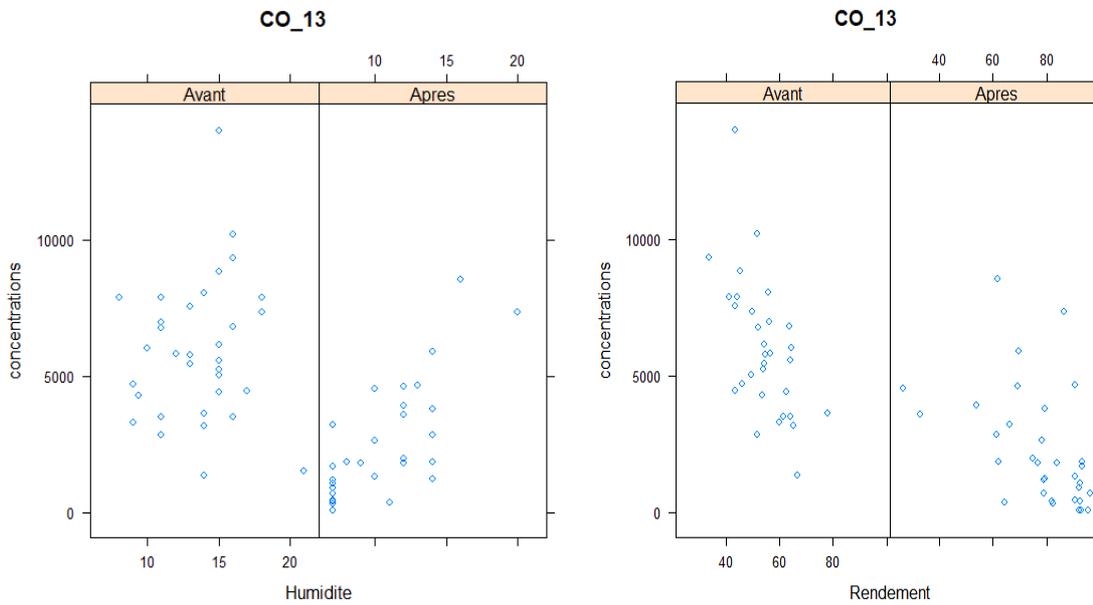


Figure 2 : influence de l'humidité (très fortement significative) et du rendement (fortement significative) sur les teneurs en CO à 13% d'O<sub>2</sub>.

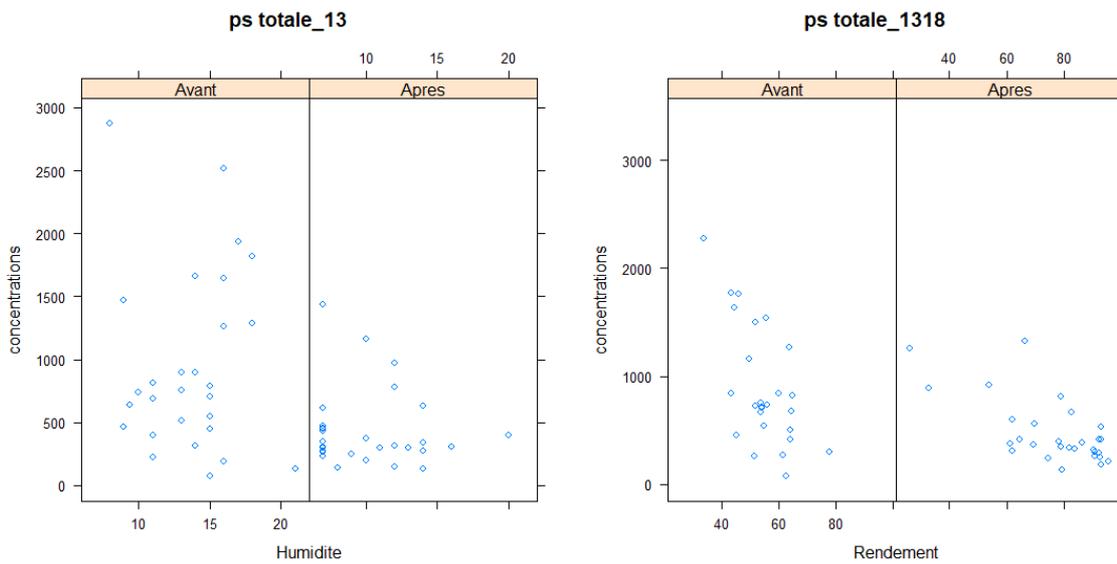


Figure 3 : influence de l'humidité (non significative) et du rendement (très fortement significative) sur les teneurs en particules totales à 13% d'O<sub>2</sub>.

## L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

<https://www.ademe.fr/>

### LES COLLECTIONS DE L'ADEME



#### ILS L'ONT FAIT

*L'ADEME catalyseur* : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



#### EXPERTISES

*L'ADEME expert* : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous un regard.



#### FAITS ET CHIFFRES

*L'ADEME référent* : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



#### CLÉS POUR AGIR

*L'ADEME facilitateur* : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation



#### HORIZONS

*L'ADEME tournée vers l'avenir* : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire

## IMPACT DU RENOUVELLEMENT D'APPAREILS NON PERFORMANTS DE CHAUFFAGE DOMESTIQUE AU BOIS SUR LES ÉMISSIONS DE PARTICULES

Ce projet apporte des éléments permettant de mieux cerner l'efficacité de l'opération Fonds Air Bois de la Vallée de l'Arve. Cette opération pilote vise à aider financièrement les particuliers pour remplacer leurs anciens appareils de chauffage au bois par des appareils de chauffage à bûches ou à granulés ayant des performances équivalentes à celles requises par le label Flamme Verte.

Les essais ont été menés *in situ*, chez des particuliers dans des conditions réelles de fonctionnement des appareils. Les mesures ont été réalisées dans une trentaine de logements avant et après changement de l'appareil.

Les résultats du projet CARVE éclairent sur l'impact du renouvellement des appareils sur les émissions de polluants et sur les rendements. Lors du renouvellement d'un appareil ancien par un appareil récent performant, les réductions des émissions particulaires estimées sont en moyenne de 57 % lors du remplacement d'un appareil ancien par un appareil à bûches récent et de 44 % lors du remplacement par un appareil à granulés. L'augmentation des rendements énergétiques (respectivement 16 et 34 points) va permettre de réduire les consommations de bois pour une quantité d'énergie délivrée équivalente. Outre un gain financier lié à l'achat du combustible, cette moindre consommation de bois contribue également à réduire les émissions polluantes.

Enfin, les résultats obtenus confirment qu'il ne suffit pas de disposer d'un appareil performant pour limiter les émissions de polluants : le dimensionnement de l'appareil par rapport au logement dans lequel il est installé, les pratiques d'utilisation ainsi que l'entretien de l'appareil ont également une importance capitale.

*Lors du renouvellement d'un appareil ancien par un appareil récent performant, les réductions des émissions particulaires estimées sont en moyenne de 57 % lors du remplacement d'un appareil ancien par un appareil à bûches récent et de 44 % lors du remplacement par un appareil à granulés, l'augmentation des rendements énergétiques de respectivement 16 et 34 points.*

*Cependant, il ne suffit pas de disposer d'un appareil performant pour limiter les émissions de polluants : le dimensionnement de l'appareil par rapport au logement dans lequel il est installé, les pratiques d'utilisation ainsi que l'entretien de l'appareil ont également une importance capitale.*