



Fumisterie et performances d'installations de chauffage domestique au bois

Avril
2023

Impact des conduits sur le
rendement et les émissions
particulaires de poêles à bûches

Objectifs et contexte

Le bois énergie, et plus spécifiquement le chauffage au bois dans le secteur résidentiel, est la première énergie renouvelable utilisée en France et dans le monde. Cependant les appareils domestiques au bois étaient responsables de 41 % des émissions nationales de particules fines PM_{2.5} en 2020 [1]. Afin de réduire ces émissions, dont l'impact sanitaire est avéré, les paramètres influant sur la qualité de combustion et donc sur les émissions de polluants ont fait l'objet de nombreuses études (technologie de l'appareil, nature du combustible, pratiques d'utilisation...). Néanmoins, l'étude bibliographique réalisée dans ce projet, présentée en annexe du rapport principal, n'a pas permis l'identification d'études concernant l'impact de la solution de fumisterie sur le fonctionnement de l'appareil, et donc sur son rendement et ses émissions polluantes.

Par ailleurs, il est avéré que les émissions et les propriétés physico-chimiques des particules évoluent dans le conduit d'évacuation des fumées en fonction de :

- La technologie et la génération de l'appareil [2] ;
- L'essence du combustible [3 ;4 ;5] ;
- L'humidité du combustible [6 ;7] ;
- La présence d'écorce sur le bois [6 + thèse B. Brandelet] ;
- Le tirage [8] ;
- Les réglages de l'appareil et les pratiques d'utilisation [9 ; 10].

Diverses solutions d'évacuation des fumées sont présentes sur le marché français. Les trois plus classiques sont les boisseaux tubés, les conduits métalliques isolés et les conduits métalliques concentriques. Des régulateurs de tirage, adaptés aux appareils domestiques, sont aussi apparus sur le marché, permettant d'éviter des augmentations trop élevées de tirage dans le cas de conduits de fumée de grande hauteur. Cependant aucune étude ne décrit les impacts de ces solutions sur la qualité de combustion, et donc sur les émissions de particules. Or les particules évoluent dans le conduit d'évacuation, et présentent donc des propriétés physico-chimiques différentes à la sortie de l'appareil et en sortie de conduit d'évacuation des fumées. Les mécanismes en jeu sont les suivants :

- Condensation d'aérosols ;
- Envois et dépôts ;
- Nucléation ;
- Coagulation ;
- Agglomération / Agrégation / Accumulation / Coalescence ;
- Réactions de surface ;
- Adsorption.

À ces mécanismes de formation et de croissance s'ajoutent les mécanismes de dépôt, notamment la thermophorèse.

Le projet BOICLEAN, lauréat de l'appel à projets de recherche CORTEA, a été mené par le laboratoire d'étude et de recherche sur le matériau bois (LERMAB), le laboratoire CERIC et le fabricant d'appareils de chauffage Seguin Duteriez. Ses principaux objectifs sont de (1) déterminer l'impact de la solution de fumisterie sur le fonctionnement de l'appareil et sur les mécanismes d'évolutions des particules puis (2) de développer des prototypes de conduits permettant d'améliorer les performances énergétiques du dispositif et de faciliter le piégeage des particules.

Le projet est structuré en plusieurs phases, bibliographique et expérimentales :

- Une étude bibliographique permettant de réaliser un bilan de connaissances sur les particules émises par le chauffage domestique au bois, les conduits d'évacuation et les systèmes de filtration ;
- Une campagne d'essais sur une plateforme expérimentale pour étudier l'évolution des caractéristiques des particules dans un conduit ;
- Une campagne d'essais sur des installations combinant deux appareils à bûches de génération différente (un insert de 2006 et un poêle de 2018) et trois solutions de fumisterie du marché, afin d'évaluer l'impact de la solution de fumisterie sur les performances énergétiques et environnementales des installations ;
- La conception et l'évaluation de conduits prototypes ayant pour objectif d'améliorer les performances énergétiques du dispositif et de faciliter le piégeage des particules.

Impact du conduit sur l'évolution des particules

Dans le cas des installations de chauffage domestique au bois, les mécanismes conduisant au grossissement des particules et à leur dépôt dans le conduit ont une importance et peuvent donc impacter les émissions polluantes en sortie de conduit.

L'évolution des particules est observée sur une plateforme expérimentale. Un générateur de particules, dont la stabilité et la reproductibilité ont été validées auparavant, génère un flux de particules dans un conduit. Ces particules évoluent dans un effluent gazeux composé des gaz de combustion issus d'un brûleur gaz, proche des fumées générées par la combustion de bois bûches. Néanmoins, la teneur en monoxyde de carbone (CO) y est plus faible, et aucun composé organique volatil (COV) n'est présent dans l'effluent.

Sur cette plateforme, la distribution en nombre des particules au point bas et au point haut est mesurée avec un ELPI (Impacteur Electrique Basse Pression, qui mesure le nombre de particules dans différentes classes granulométriques), sans faire varier la longueur de la ligne chauffée le reliant au conduit (point clé). Trois types de conduits sont testés sur cette installation : un conduit Simple paroi, un Flexible et un Concentrique, suivant plus de soixante-dix essais.

Le conduit simple paroi et le conduit concentrique se comportent de manière équivalente. Un grossissement significatif des particules est observé sur les niveaux granulométriques les plus fins (Figure 1).

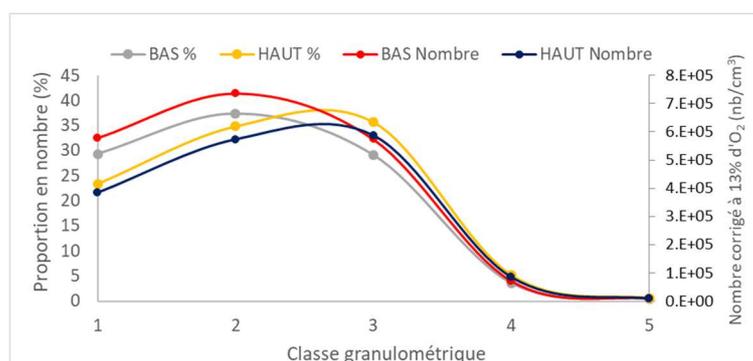


Figure 1 : Conduit Simple paroi : Distribution en nombre et en pourcentage des particules au point bas et au point haut.

En revanche, le conduit flexible induit, du fait de ses parois non lisses, un gradient de température beaucoup plus important. Ce gradient de température enclenche des mécanismes de croissance très importants dans le conduit, et permettrait aux particules les plus fines (< 30 nm, non détectées par l'ELPI au point bas) de croître.

En plus des mécanismes de croissance, le mécanisme de thermophorèse (mécanisme de mouvement des particules sous l'effet d'un gradient de température) est mis en évidence dans le conduit simple paroi et le conduit concentrique, par un nombre de particules plus faible au point haut qu'au point bas dans un certain nombre de configurations réalisées et principalement pour les particules les plus fines. Malgré des constats moins marqués sur

le conduit flexible, ses parois sur la première moitié du conduit sont tapissées de particules, de manière beaucoup plus importante que pour les autres conduits. Cette observation est cohérente avec l'hypothèse que le conduit flexible, du fait de ses forts échanges thermiques, favorise la thermophorèse. En effet, même si la visualisation de ce mécanisme est, dans un même temps, masquée par la croissance accrue des particules initialement non comptabilisées au point bas (puisqu'en dessous des seuils de détection de taille), la surface de contact avec les fumées par mètre de conduit est plus élevée dans le cas du conduit Flexible, et le gradient de température (lui aussi plus élevé avec ce conduit) est un paramètre qui impacte la thermophorèse. Ainsi, les différents types de conduits induisent des évolutions différentes des particules.

Ensuite, une étude approfondie sur l'impact du gradient de température montre qu'au sein d'un même conduit, il modifie significativement la distribution granulométrique des particules au point haut. En effet, dans le cas du conduit concentrique, plus le gradient de température est élevé, plus la thermophorèse est forte (Figure 2). En revanche, dans le cas du conduit simple paroi, plus le gradient de température est élevé, plus les mécanismes de croissance sont forts.

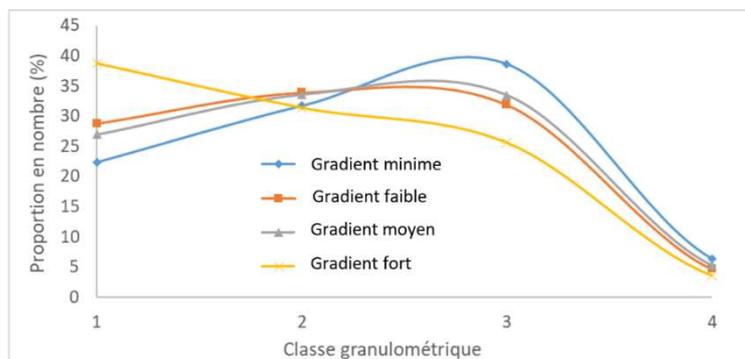


Figure 2 : Mesure de la répartition granulométrique au point haut du conduit concentrique selon quatre gradients de température.

Pour bien appréhender l'évolution des particules, un Indice d'Evolution est défini, propre à chaque classe granulométrique de chaque essai sur chaque conduit. L'étude de cet Indice d'Evolution en fonction du gradient de température permet de valider que le gradient de température est le paramètre qui influence le plus les différents mécanismes, qu'il s'agisse de mécanismes de croissance ou de thermophorèse.

Ainsi, tous les mécanismes d'évolution des particules dans un conduit sans COVT sont mis en évidence. Le paramètre qui apparaît comme le plus impactant est le **gradient de température**, qui dope ces mécanismes. L'état de surface du conduit est donc un point clé, puisqu'il favorise ou non les échanges avec l'extérieur, et joue donc un rôle significatif sur le gradient de température. Tout ceci peut être schématisé de manière générale, comme sur la Figure 3.

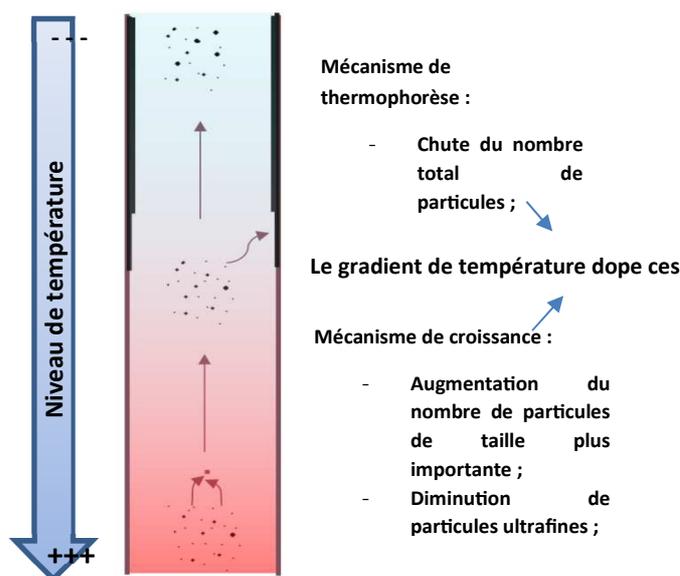


Figure 3 : Schéma bilan de l'évolution des particules sur le banc d'essai.

Impact du conduit sur la qualité de la combustion et sur les performances d'un appareil de chauffage au bois

Des essais sont menés afin de déterminer l'impact du conduit sur les performances énergétiques et environnementales d'appareils de chauffage domestique au bois bûches. Différents paramètres (hauteur de conduit, type de fumisterie, présence de régulateur de tirage...) sont examinés.

Trois solutions de fumisterie différentes sont testées sur deux appareils de génération différente (insert de 2006 et poêle de 2018) :

- Raccordement simple paroi puis conduit isolé (conduit émaillé DN 150 mm + conduit isolé DN 150 mm pour le poêle 2018 ou conduit simple paroi rigide inox DN 200 mm + conduit isolé inox-galva DN 200 pour l'insert 2006) ;
- Conduit concentrique isolé triple paroi (DN 150/250 mm) pour le poêle 2018 ;
- Raccordement simple paroi puis boisseau tubé (conduit rigide simple paroi émaillé DN 150 mm pour le poêle 2018 ou conduit rigide simple paroi inox DN 200 mm pour l'insert 2006 + tubage double peau DN 200 mm dans boisseau).

Deux longueurs de conduits (4 et 8 m) sont étudiées, ainsi que l'activation ou non d'un régulateur de tirage. Les mesures sont réalisées en deux points : en sortie de l'appareil et en sortie de conduit, juste avant l'évacuation des fumées. Le protocole suivi est de type BeReal afin de réaliser les essais dans des conditions réalistes (tirage naturel, rechargement à la disparition des flammes), différentes des essais normalisés qui définissent les caractéristiques des appareils à combustion (essais à tirage constant, rechargement sur lit de braise pesé...).

Dans cette campagne, la position des points de mesure, notamment ceux nécessaires au calcul du rendement, sont aussi adaptés pour mesurer les gains apportés par le conduit de raccordement. La Figure 4 propose une photographie d'un des montages réalisés sur le poêle 2018.



Figure 4 : Photo d'un des montages réalisés (Laboratoire CERIC).

Ces travaux montrent l'influence des paramètres suivants :

- (1) La longueur du conduit : Le passage d'une longueur de conduit de 4 à 8 m **augmente le tirage de manière significative et défavorable**. Ceci s'accompagne d'une diminution du rendement à la buse des appareils comprise entre 5 et 13 points. Cette perte de rendement est due à une augmentation du débit d'air comburant, qui provoque la dégradation de la qualité de la combustion. Ce fonctionnement favorise une augmentation des émissions de CO, de COVT et augmente donc naturellement les émissions de carbone organique (Organic Carbon, OC).
- (2) Le régulateur de tirage : La problématique précédente peut être réduite par l'installation d'un régulateur de tirage, qui permet d'optimiser la combustion des appareils performants en réduisant les émissions de CO,

de COVT et le ratio Organic Carbon / Elemental Carbon (OC/EC). Positionné juste au-dessus du poêle, le régulateur de tirage permet de retrouver, avec 8 m de conduits, des rendements à la buse proches de ceux mesurés avec 4 m de conduits, mais il annule les gains de rendements observés sur les raccordements en injectant de l'air dans le conduit de fumée, et donc en diminuant les échanges thermiques avec la pièce.

- (3) Le conduit concentrique triple paroi améliore significativement la qualité de combustion, en préchauffant l'air comburant jusqu'à une centaine de degrés. Comparée aux autres conduits, cette solution permet d'obtenir des niveaux de CO et COVT faibles. Cependant, malgré un rendement de combustion amélioré à la buse de l'appareil, les échanges thermiques du conduit avec la pièce étant limités, cette solution ne permet pas une optimisation du rendement global de l'installation (mesuré au plafond). De plus, cette haute température des gaz comburants (air) induit probablement une augmentation de la vitesse d'injection et donc une augmentation des envolées de cendres.
- (4) A l'inverse, la solution « raccordement simple paroi + boisseau tubé » permet un bon échange thermique avec la pièce, donc un rendement global de l'installation intéressant. Cependant, cette solution reste moins performante concernant les émissions polluantes (notamment de CO et de COVT).

Le compromis entre ces deux solutions est donc la solution mixte « raccordement simple paroi + conduit isolé » qui permet un bon échange thermique avec la pièce, donc un rendement global optimal de l'installation. Cette solution présente aussi l'avantage de réduire les émissions de CO et COVT par rapport au boisseau tubé, sans pour autant atteindre le niveau de performance du conduit concentrique triple paroi.

Concernant l'évolution des particules, les essais permettent d'expliquer plusieurs phénomènes :

- Tout d'abord, le mécanisme de condensation hétérogène des COVT a été décrypté. Il dépend principalement du gradient de température dans le conduit et de la capacité des COV à condenser, traduite dans notre étude par son ratio CH₄/COVT. Cette condensation hétérogène des COVT induit un mode granulométrique dans les fractions les plus fines, que l'on parvient à retrouver dans nos mesures. Parallèlement aux mécanismes de croissance mis en évidence, les mécanismes de dépôts ont été décrits et dépendent pour environ 70 % de la qualité de combustion et du gradient de température, et pour 30 % d'autres paramètres (type de particules, spécificité de surface du conduit, ...).
- Ensuite, la granulométrie des particules au point bas est plus fine qu'au point haut. Cela montre bien que les mécanismes de croissance se déroulent dans le conduit, ce qui est confirmé par cette seconde observation : plus la colonne est grande, plus l'écart granulométrique entre le point bas et le point haut est important.

Des corrélations ont pu être établies entre les différentes émissions d'imbrûlés (CO et COVT), qui ne dépendent ni de l'appareil ni du conduit installé. En revanche, la relation entre les COVT et le rapport OC/EC est très bonne pour un même appareil. Le ratio OC/EC varie différemment selon la conception de l'appareil.

De tous ces constats émergent deux pistes pour développer des prototypes de conduits d'évacuation :

- Sur la base du conduit concentrique isolé triple paroi, la séparation des conduits d'évacuation de fumée et d'alimentation en air comburant sur la partie raccordement doit permettre d'optimiser la combustion, tout en favorisant la récupération vers la pièce de l'énergie disponible dans la fumée.
- Le positionnement du régulateur de tirage au niveau du plafond a pour objectif de réguler le tirage pour les grandes hauteurs de conduits, tout en favorisant la récupération d'énergie dans la pièce chauffée.

Conception et évaluation des performances de deux prototypes de conduits

Afin de confirmer les pistes de développement identifiées précédemment, deux prototypes de conduits sont réalisés et évalués sur le poêle de 2018 (Figure 5).

Ces prototypes sont composés d'un raccordement jusqu'au plafond de la pièce en conduit simple paroi dans le premier cas et flexible dans le second, puis d'un conduit concentrique isolé au-dessus de la zone habitable dans les deux cas.

Ces prototypes sont testés selon un protocole simulant des conditions réalistes, identique à celui utilisé précédemment.

Les deux prototypes donnent des résultats intéressants, favorisés par des échanges thermiques avec la pièce importants. Toutefois, la solution de fumisterie composée d'un raccord simple paroi jusqu'au plafond, puis d'un

conduit concentrique et d'un régulateur de tirage, montre des échanges thermiques plus importants que celle du prototype équipé d'un flexible (abaissement de la fumée de 196°C avec le conduit simple paroi et de 134°C avec le flexible). Ainsi seuls les résultats obtenus avec ce prototype sont présentés dans cette synthèse.

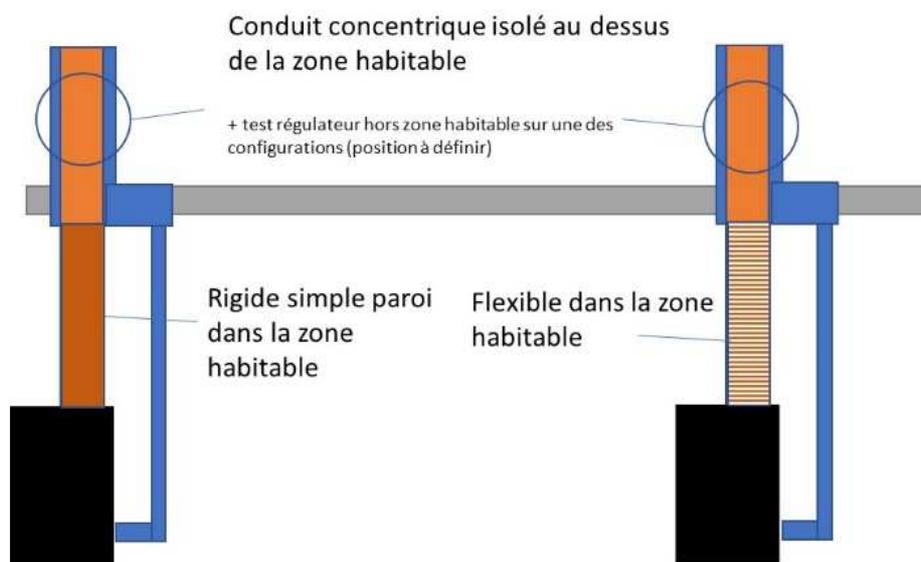


Figure 5 : Schéma des prototypes réalisés dans le projet

Avec ce prototype, par rapport aux solutions de fumisterie sans préchauffage de l'air entrant, la combustion est optimisée, avec une réduction des émissions de COVT par un facteur compris entre cinq et dix, et des émissions de CO par un facteur compris entre deux et cinq. Cette solution permet d'augmenter le rendement de l'installation de plus de 15 %, tout en réduisant les émissions de TSP, par mètre cube de fumées ou par unité d'énergie produite, à des niveaux atteignant plus de 70 %.

Ainsi, il semble que cette solution serait très intéressante à développer. Elle pourrait permettre de réduire de manière considérable les émissions d'imbrûlés gazeux des futures installations tout en diminuant les besoins de consommation en combustible.

De plus, ce type de conduit, en favorisant notamment le mécanisme de thermophorèse, réduit de manière importante les émissions de particules dans l'air ambiant. En dernier point, la modification de la granulométrie observée via ces prototypes permet d'envisager que le conduit puisse jouer naturellement le rôle de « système de collecte des particules ». De la même manière, les enseignements tirés de cette étude pourraient avoir un intérêt pour les systèmes de filtration industriels en « pré-conditionnant » les particules à filtrer pour leur faire atteindre des tailles de coupure nécessaires à leur captation par des cyclones, ou autres procédés. En effet, chaque technologie de filtration agit sur une classe de taille de particule spécifique. Le recentrage de la taille des particules sur ces classes permettrait d'optimiser l'efficacité de ces systèmes de filtration industriels.

Conclusion

Le projet BOICLEAN a permis de :

- Améliorer les connaissances concernant l'impact du type de conduit et de ses conditions de fonctionnement sur la qualité de combustion, donc sur les émissions et sur le rendement de l'installation. L'évolution des caractéristiques des particules le long de leur cheminement dans le conduit a été étudiée en parallèle. ;
- Caractériser les émissions de polluants (COV, particules, CO, NOx, ...) avec différents types de conduits représentatifs du marché, raccordés à deux appareils à bûches se voulant représentatifs du parc français : un insert de 2006 et un poêle de 2018 labellisé Flamme Verte 7*;
- Concevoir puis tester deux prototypes de conduits dans l'objectif d'améliorer les performances énergétiques du dispositif et de favoriser la croissance des particules et leur collecte sur le conduit (dépôts).

L'évolution des particules dans le conduit a été mise en évidence. Le paramètre clé permettant de favoriser leur croissance est le gradient de température (différence de température de fumée entre la sortie du conduit de fumée

et la buse de l'appareil de chauffage). Ce paramètre permet aussi d'optimiser les phénomènes de thermophorèse, et donc de limiter les émissions de particules dans l'air extérieur.

Les résultats montrent que les solutions de conduits concentriques « triple paroi » combinées avec un régulateur de tirage permettent de mieux maîtriser la combustion avec 8 m de conduits, et donc d'améliorer le rendement à la buse et de retrouver des valeurs proches de celles relevées avec 4 m de conduits. Cependant du fait de leur isolation, elles restituent moins d'énergie dans la pièce d'installation (moins de potentiel de gain de rendement par le conduit de raccordement).

Enfin, deux prototypes ont été conçus, en exploitant les qualités de maîtrise de la combustion induites par la technologie concentrique et la présence d'un régulateur de tirage, ainsi que la contribution d'un gradient de température de fumée important sur le raccordement, favorable au rendement de l'installation et aux mécanismes de croissance des particules.

Les prototypes ont révélé des résultats au-delà de nos attentes. Ils ont permis de réduire de 45 à 80 % les émissions de TSP, tout en augmentant leur granulométrie en sortie de conduit. Les rendements ont également été très largement optimisés (de 15 points en moyenne). La combustion étant très maîtrisée, les émissions de COVT ont été divisées par un facteur compris entre cinq et dix. **Ces résultats sont très encourageants et montrent à quel point le conduit impacte la qualité de combustion de l'installation.**

En outre, le projet permet de constater que l'utilisation d'un conduit adapté (conception, dimensionnement) sur un appareil récent et performant, associé à un combustible de qualité, permet d'atteindre en conditions réalistes de fonctionnement les performances déterminées par le fabricant en laboratoire en régime établi, pour des conditions optimales normalisées. En effet, les déclarations de l'appareil de 2018 mentionnent 25 mg/Nm³ (à 13% d'O₂) d'émissions de particules TSP, pour 24,3 mg/Nm³ mesurées avec le prototype, et un rendement au plafond (rendement de l'installation) de 80 %, pour 79,8 % mesurés avec le prototype.

A titre de synthèse, quelques exemples de résultats sont donnés pour les puissances nominales sur l'insert d'ancienne génération et le poêle de 2018 sur le Tableau 1 et schématisés sur la Figure 6.

Tableau 1: Synthèse de résultats sur quelques expériences sélectionnées

Appareil	Montage (Raccordement + CdFumée)	Rendement moyen de l'installation (au niveau du plafond) [%]	Consommation de bois pour 6400 kWh restitués	TSP à l'évacuation [mg/Nm ³]	COVT à l'évacuation [mgEqC/Nm ³ corrigé à 13% d'O ₂]
Insert 2006	Raccordement simple paroi + Boisseau tubé flexible 4 m	54,6	8,4	81,7	978,1
	Raccordement simple paroi + conduit isolé 8m Sans régulateur	57,4	8,0	82,9	533,1
	Raccordement simple paroi + conduit isolé 8m Sans régulateur	62,0	7,4	27,3	246,4
Poêle 2018	Prototype Raccordement simple paroi + Conduit concentrique isolé triple paroi 8m Avec régulateur à l'étage	79,8	5,7	24,3	78,5

Ces résultats confirment l'importance de la génération de l'appareil puisque le rendement de l'installation passe, par exemple, avec des conduits « standards », de 54,6 % pour l'insert de 2006 à 62 % pour le poêle de 2018.

Cette différence de rendement représente un gain de consommation d'un stère par an si l'insert de 2006 est remplacé par le poêle de 2018 (hypothèses d'un besoin annuel de chauffage de 6400 kWh avec 1400 kWh/stère). La solution de fumisterie mise en œuvre est aussi importante puisque, pour le poêle de 2018, l'utilisation des conduits prototypes améliore encore le rendement de l'installation pour atteindre 79,8% (soit une consommation de bûches réduite de 1,7 stères/an par rapport à celle obtenue avec un conduit « traditionnel »).

Enfin, le remplacement de l'insert de 2006 par le poêle de 2018, combiné à l'utilisation d'un conduit optimisé, permet un gain de consommation de combustible de 30 % et une réduction des émissions des TSP de 70 %.

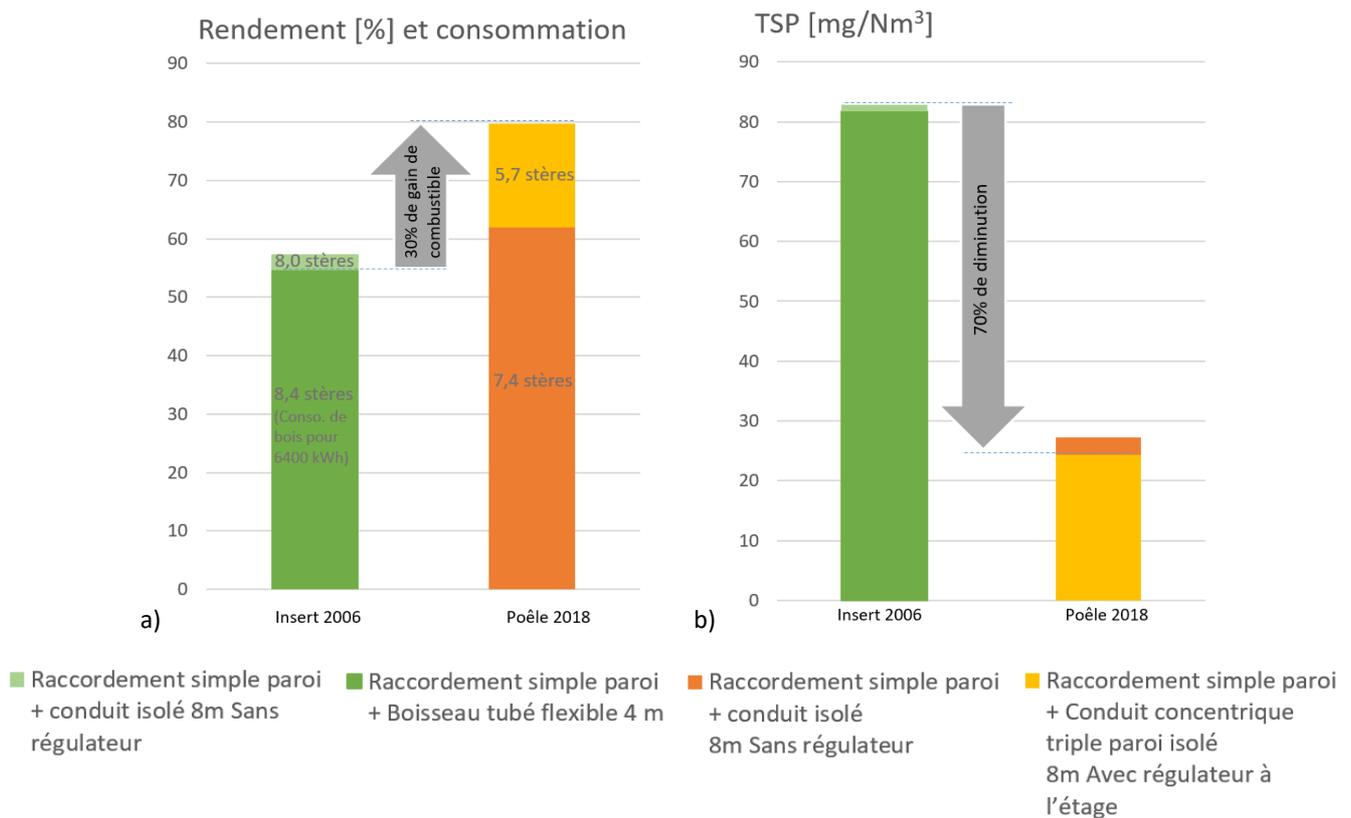


Figure 6: Gain de rendement en stères de bois consommés par an(a) et réduction des émissions TSP (b) via la solution de fumisterie

- Associer un appareil performant et des réglages appropriés avec un combustible de qualité et une solution d'évacuation des produits de combustion adaptée permet d'atteindre, en conditions réalistes de fonctionnement, les performances annoncées (obtenues en laboratoire avec des protocoles normalisés). Au-delà de la seule nature des conduits, les résultats mettent aussi en évidence l'importance de son bon dimensionnement pour obtenir les conditions de tirage nécessaires à un fonctionnement optimal de l'appareil de chauffage au bois.
- Concernant le conduit de fumée et l'alimentation en air, plusieurs points permettent d'optimiser la solution de chauffage :
 - Un tirage adapté et régulé permet de se rapprocher des conditions de fonctionnement obtenues en laboratoire.
 - Un conduit simple paroi visible dans la zone habitable (conduit de raccordement) associé à un conduit concentrique « triple paroi » isolé au-dessus de la zone habitable (conduit d'évacuation des fumées), permet une récupération d'énergie supplémentaire pouvant dépasser 15 points de rendement.
 - Avec un tel dispositif, un air canalisé et préchauffé à l'aide du conduit concentrique permet de ne pas refroidir le volume habitable tout en optimisant la qualité de combustion.
- En favorisant une combustion optimisée, le type de conduit et son dimensionnement abaissent les émissions de polluants (particules, COVT) à la source, mais ils participent aussi à leur réduction à l'évacuation en agissant sur la typologie de particules (nature et granulométrie) et en favorisant les mécanismes de dépôts.
- Le gradient de température dans le conduit est le paramètre le plus impactant sur les mécanismes d'évolution des particules (croissance et/ou thermophorèse).
- Les enseignements tirés de cette étude pourraient avoir des applications au-delà du chauffage domestique au bois. Par exemple, ils pourraient avoir un intérêt dans le cas des systèmes de filtration industriels, en « pré-conditionnant » les particules à filtrer pour leur faire atteindre des tailles de coupure nécessaires à leur captation par des cyclones, ou autres procédés. En effet, chaque technologie de filtration agit sur une classe de taille de particule spécifique. Recentrer la taille des particules sur ces classes, permettrait d'optimiser l'efficacité des systèmes de filtration industriels.

Références

- [1] CITEPA, format SECTEN, Inventaire des émissions de polluants atmosphériques, juin 2022.
- [2] B. Brandelet, C. Rose, C. Rogaume, Y. Rogaume, Investigation of the organic carbon ratio analysis on particles from biomass combustion and its evolution in three generations of firewood stoves, *Biomass and Bioenergy*. 99 (2017) 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.03.002>.
- [3] S. Ozgen, S. Becagli, V. Bernardoni, S. Caserini, D. Caruso, L. Corbella, M. Dell'Acqua, P. Fermo, R. Gonzalez, G. Lonati, S. Signorini, R. Tardivo, E. Tosi, G. Valli, R. Vecchi, M. Marinovich, Analysis of the chemical composition of ultrafine particles from two domestic solid biomass fired room heaters under simulated real-world use, *Atmospheric Environment*. 150 (2017) 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.11.048>.
- [4] P.M. Fine, G.R. Cass, B.R. Simoneit, Chemical characterization of fine particle emissions from the fireplace combustion of woods grown in the southern United States, *Environmental Science & Technology*. 36 (2002) 1442–1451.
- [5] J.A. Rau, Composition and size distribution of residential wood smoke particles, *Aerosol Science and Technology*. 10 (1989) 181–192.
- [6] ADEME, POUJOLAT, LERMAB, Seguin Duteriez, D2I Groupe Invicta, QUALICOMB : réduction à la source des émissions issue du chauffage domestique au bois par usage de combustible de qualité, 2016.
- [7] B. Brandelet, C. Rose, J. Landreau, L. Druette, Y. Rogaume, Toward a cleaner domestic wood heating by the optimization of firewood stoves?, *Journal of Cleaner Production*. (2021) 129338. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129338>.
- [8] G. Reichert, C. Schmidl, W. Haslinger, M. Schwabl, W. Moser, S. Aigenbauer, M. Wöhler, C. Hochenauer, Investigation of user behavior and assessment of typical operation mode for different types of firewood room heating appliances in Austria, *Renewable Energy*. 93 (2016) 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.092>.
- [9] R.L. Carvalho, O.M. Jensen, L.A. Tarelho, Mapping the performance of wood-burning stoves by installations worldwide, *Energy and Buildings*. 127 (2016) 658–679.
- [10] B. Brandelet, C. Rose, C. Rogaume, Y. Rogaume, Impact of ignition technique on total emissions of a firewood stove, *Biomass and Bioenergy*. 108 (2018) 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.10.047>.
- [11] RECORD, Les polluants et les techniques d'épuration des fumées. Cas des unités de traitement et de valorisation thermique des déchets. Etat de l'art, 2009, 399 p, n°08-0227/1A.

Figures

Figure 1 : Conduit Simple paroi : Distribution en nombre et en pourcentage des particules au point bas et au point haut.	2
Figure 2 : Mesure de la répartition granulométrique au point haut du conduit Concentrique selon quatre gradients de température.	3
Figure 3 : Schéma bilan de l'évolution des particules sur le banc d'essai.	3
Figure 4 : Photos des montages réalisés (Laboratoire CERIC).	Erreur ! Signet non défini.
Figure 5 : Schéma des prototypes.	6
Figure 6 : Gain de rendement en stères de bois consommés et réduction des émissions TSP (b) via la solution de fumisterie prototype.	Erreur ! Signet non défini.

Tableaux

Tableau 1: Synthèse de résultats sur quelques expériences sélectionnées	7
---	---

RÉSUMÉ

Le chauffage domestique au bois est la première source d'énergie renouvelable en France. Néanmoins, cette énergie est l'une des principales sources d'émissions de particules fines. Le projet BOICLEAN étudie l'impact de la solution de fumisterie sur le fonctionnement des installations : rendement et émissions polluantes, mécanismes d'évolutions des particules dans le conduit d'évacuation des fumées.

Le gradient de température dans le conduit (différence de température de fumée entre la sortie du conduit de fumée et la buse de l'appareil de chauffage) est identifié comme le paramètre le plus impactant sur les mécanismes d'évolution des particules.

En favorisant une combustion optimisée, le type de conduit et son dimensionnement améliorent le rendement énergétique global de l'installation de plus de 15 % et abaissent significativement les émissions de polluants (particules, COVT) à la source. Ils participent aussi à leur réduction à l'évacuation en agissant sur la typologie de particules (nature et granulométrie) et en favorisant les mécanismes de dépôts.

Les enseignements tirés de cette étude peuvent avoir des applications au-delà du seul chauffage domestique au bois. On pourrait par exemple les appliquer aux systèmes industriels de filtration, en 'pré-conditionnant' les particules à filtrer pour atteindre des seuils de 'coupure' nécessaires à leur captation par des cyclones ou via d'autres procédés

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1962C0016

Étude réalisée par Brandelet B., Rogaume Y., Landreau J., Druette L., Pras K., De Galembert A., pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par le LERMAB

Appel à projet de recherche : Connaissances, Réduction à la source et Traitement des Emissions dans l'Air (CORTEA)

Coordination technique - ADEME : AUGEVEN-BOUR Isabelle

Direction villes et territoires durables / Service qualité de l'air

CITATION DE CE RAPPORT

BRANDELET Benoit, ROGAUME Yann (LERMAB) LANDREAU Julien, DRUETTE Lionel (CERIC), PRAS Kevin (DUTERIEZ), 2023. Fumisterie et performances d'installations de chauffage domestique au bois - BOICLEAN : Impact des conduits sur le rendement et les émissions particulières d'appareils à bûches. Synthèse.10 pages

Cet ouvrage est disponible en ligne

<https://librairie.ademe.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.