

Emissions atmosphériques des chaufferies bois de puissance inférieure à 1 MW

Mai
2023

Campagne de mesures sur sites et
proposition d'évolution des
facteurs d'émission

Première source d'énergie renouvelable utilisée en France, la filière bois énergie présente plusieurs avantages : ressource abondante et locale, en complémentarité avec le bois-construction, participant à l'entretien et à la résilience de nos forêts et créatrice d'emplois. Mais la combustion du bois émet des polluants et peut, en particulier à certaines périodes de l'année et dans certaines zones géographiques, contribuer de façon significative à la pollution de l'air extérieur.

Ce secteur énergétique est en forte mutation : la réglementation évolue, les combustibles utilisés aussi et les technologies de traitement des émissions progressent. Ainsi, les chaufferies bois de moyenne à grande puissance (supérieure à 1 MW) ont réduit leurs émissions de polluants d'un facteur 10 au cours des quinze dernières années. Mais si les performances accrues de ces installations de puissance supérieure à 1 MW sont bien documentées, ce n'est pas le cas pour les chaufferies bois de puissance inférieure.

Avec la volonté de mieux maîtriser la pollution de l'air extérieur à des échelles infranationales, il est devenu indispensable de mieux connaître aussi le fonctionnement de ces plus petites installations, de préciser la part de leur contribution aux émissions de polluants atmosphériques, et de dégager les pistes d'une réduction de leurs émissions.

Au-delà d'un état de l'art exhaustif et inédit des connaissances des émissions dans cette gamme de puissance de combustion, et d'un examen approfondi de l'adéquation des hypothèses de calculs des facteurs d'émission de ces installations, le présent projet a permis de réaliser des campagnes d'analyses des émissions de six de ces installations, couplées à l'analyse de leurs conditions de fonctionnement.

Si le nombre réduit d'installations auditées ne permet pas de prétendre à une représentativité complète du parc, le spectre élargi des polluants mesurés, les méthodes nouvelles de prélèvement et de mesure et surtout la durée des prélèvements à l'échelle de plusieurs jours ont permis de fournir des données nouvelles et étayées.

Les résultats obtenus ont permis de revoir les valeurs des facteurs d'émissions de ces petites chaufferies, utilisés dans les inventaires nationaux. Ils ont confirmé le caractère incontournable des systèmes de traitement de fumée performants. De plus, ils ont mis en évidence l'impact des phases d'arrêts et de redémarrage des chaudières sur les émissions de polluants, débouchant sur l'élaboration de prescriptions. Ces préconisations à destination de la filière (maître d'ouvrages, constructeurs, exploitants, bureaux d'études) ont fait l'objet d'un document séparé traitant du bon dimensionnement initial des installations et de leur mode de fonctionnement.

1. Présentation du projet

Le projet ACIBIOQA lauréat de l'appel à projet CORTEA (COonnaissance, Réduction à la source et Traitement des Emissions dans l'Air) de l'ADEME s'est attelé à mieux quantifier les émissions de polluants des chaufferies¹ de puissance inférieure à 1 MW, les chaufferies de quelques mégawatts ayant fait l'objet de plusieurs d'études antérieures commandités par l'ADEME. Il a été conduit par INDDIGO et ses partenaires, le Citepa et l'INERIS sur une durée de trois ans et demi, entre octobre 2019 et avril 2023.

La première phase du projet est un état des lieux comprenant :

- Un rappel de la réglementation française concernant le contrôle des émissions de polluants pour les chaufferies biomasse. Pour les installations de la gamme de puissance 500 kW-1MW (et à partir de 1200 MWh/an d'énergie produite), Le Fonds Chaleur impose des plafonds d'émissions concernant les particules (PM), les oxydes d'azote (NOx) et le monoxyde de carbone (CO) comparables aux exigences du régime ICPE pour la gamme 1-5 MW. En revanche, il n'existe pas d'exigences en contrôle d'émissions pour les installations de plus petites puissances, au-delà des tests en usine (Exigence d'écoconception de la Commission Européennes) et des arrêtés de contrôle et d'entretien des chaudières.
- Un état de l'art inédit des connaissances en termes d'émissions des chaufferies de puissance de plus de 250 kW et inférieure à 20 MW, sur la base d'une cinquantaine de publications françaises et internationales. L'état de l'art inclut les informations relatives aux émissions des régimes spécifiques comme les phases d'arrêt et de démarrage des chaudières. Ces recherches ont permis de déterminer des gammes de facteurs d'émission par polluants, qui ont servi de référence dans l'interprétation des mesures réalisées dans le cadre de cette étude.
- L'explicitation de la méthodologie de calcul des facteurs d'émissions de ces chaufferies bois de faible puissance dans les inventaires nationaux, préalable indispensable pour utiliser ensuite les résultats des campagnes d'analyse sur site.
- Une quinzaine d'entretiens d'acteurs qualifiés (exploitants, fabricants de chaudières, fabricants de systèmes de filtration...) répartis sur le territoire national afin de mieux connaître les pratiques sur le terrain permettant l'abattement des émissions de ces chaufferies de faible puissance. Les équipements visent essentiellement les émissions de particules. En effet, compte tenu des investissements liés, les meilleures techniques disponibles ne permettent l'abattement des NOx que pour des installations de grande puissance (plusieurs MW).

La deuxième phase du projet est une campagne de mesure sur sites.

Afin de qualifier les sites en amont, onze visites techniques ont été réalisées. Les campagnes de mesures de polluants ont finalement été menées sur six chaudières de puissances comprises entre 150 kW et 1,6 MW. En général, ce type de chaudière fait l'objet de test sur les fumées (O₂, NOx, CO) sous forme de mesures ponctuelles et réalisées dans des conditions favorables (au fonctionnement nominal de la chaudière avec une bonne qualité de combustible bois). Dans le cadre du projet ACIBIOQA, les campagnes de mesure ont été réalisées sur quatre à cinq jours pour chaque chaudière et sur un périmètre élargi de polluants afin d'avoir une vision plus complète des émissions, et notamment de leurs variations lors des différentes phases de fonctionnement des chaudières. Le choix des six chaudières s'est orienté vers des puissances inférieures à 1 MW (sauf un site de plus de 1 MW) afin de combler le manque de connaissances sur cette typologie d'installation de combustion de biomasse.

L'analyse des résultats a permis :

- D'identifier des fonctionnements pouvant générer des émissions de particules, de CO et de COV importantes ;

¹ Précision dans la nomenclature « chaudière » versus « chaufferie » : une chaufferie est un local technique abritant les équipements destinés à assurer le bon fonctionnement de la production de chaleur. Une chaufferie peut contenir plusieurs chaudières et sa puissance se calcule à partir des puissances unitaires de ses chaudières.

- De proposer des premières préconisations afin de réduire ces émissions via un guide de recommandations pour la profession (document complémentaire au rapport final) ;
- De proposer des nouveaux facteurs d'émissions pour certains polluants notamment concernant la gamme de puissance 250 kW – 1 MW. L'impact de la variation de ces facteurs d'émissions sur les inventaires nationaux, et le poids respectif de ces chaufferies bois de faible puissance vis-à-vis des autres secteurs d'émissions ont pu être quantifiés. Ces facteurs d'émissions ont été utilisés dans l'inventaire nationale dès l'année 2022.

Les résultats de ce projet feront l'objet d'une publication scientifique rédigée par l'Ineris.

2. Etat des lieux

Le travail bibliographique a permis d'identifier les gammes de facteurs d'émissions des chaudières biomasse de puissance comprise entre 250 kW et 20 MW pour une grande diversité de polluants. Elle repose sur une cinquantaine d'articles scientifiques ou de rapports identifiés comme pertinents par rapport au périmètre. Ces études proviennent aussi bien de sources françaises que de sources étrangères.

Malgré un nombre parfois limité d'études identifiées concernant certains polluants, une très grande diversité de résultats a pu être observée. Il est à noter que, dans la littérature scientifique, le sujet de la combustion de biomasse par ces installations de petite puissance est peu étudié, relativement au sujet de la combustion résidentielle (bois domestique), qui porte sur des typologies d'appareils complètement différentes.

La grande hétérogénéité des cas observés explique l'étalement des facteurs d'émission sur plusieurs ordres de grandeurs pour l'ensemble des polluants.

La diversité des combustibles utilisés, leur composition et leur taux d'humidité, le principe des méthodes d'échantillonnage utilisées et de mesure des polluants, la présence et la nature de système de traitement de fumée sont autant de paramètres qui varient d'une étude à l'autre et dont il est difficile d'identifier précisément l'impact. La manière dont les résultats sont présentés (directement sous forme de facteurs d'émission ou sous forme de concentrations nécessitant une conversion) est également une source d'incertitudes qui complexifie les comparaisons entre les différents résultats.

Polluants	Unité	Gamme de puissance	Gamme de facteurs d'émission	Nombre de mesures
CO	g/GJ	[250 kW - 1 MW]	[21 - 4 425]	24
		[1 - 20] MW	[0,01 - 7 360]	50
TSP		[250 kW - 1 MW]	[4,7 - 389]	29
		[1 - 20] MW	[0,02 - 1520]	68
PM ₁₀		[250 kW - 1 MW]	[4,3 - 96]	5
		[1 - 20] MW	[0,4 - 108]	14
PM _{2,5}		[250 kW - 1 MW]	[3,6 - 26]	2
		[1 - 20] MW	[0,4 - 8]	8
PM _{1,0}		[250 kW - 1 MW]	[1,4 - 33]	10
		[1 - 20] MW	[0,1 - 264]	27
BC ²		[250 kW - 1 MW]	[50 - 3 600]	10
		[1 - 20] MW	[0,1 - 8 500]	30
NO _x		[250 kW - 1 MW]	[22 - 340]	30
		[1 - 20] MW	[17 - 164]	58
SO ₂	[250 kW - 1 MW]	[0,44 - 25]	11	
	[1 - 20] MW	[0,004 - 63]	26	
NH ₃	[250 kW - 1 MW]	NA	NA	

² Le carbone suie (ou « Black Carbon » en anglais, aussi appelé « Elemental Carbon ») provient de la combustion incomplète de combustibles fossiles ou de biomasse. En plus de ses effets sanitaires notamment cardiovasculaires et cancérigènes, il est également classé parmi les forceurs climatiques ; autrement dit, en réchauffant l'atmosphère, le carbone suie participe au changement climatique.

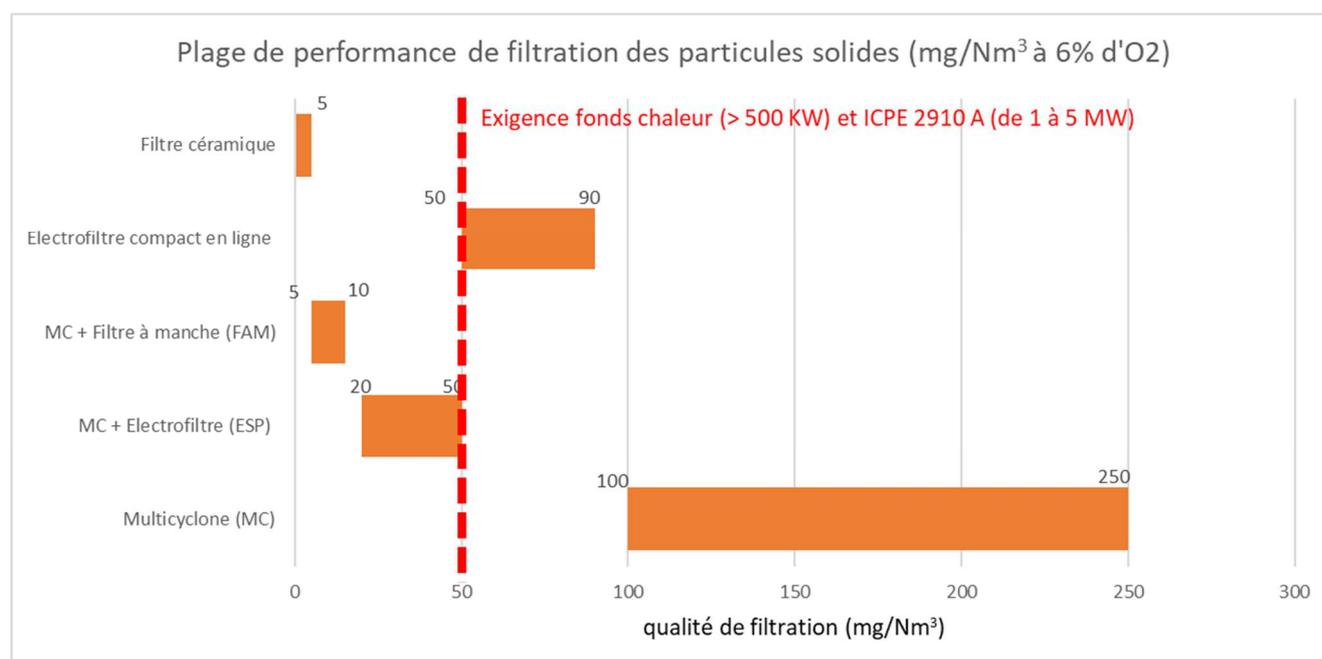
		[1 - 20] MW	[0,01 - 6]	21
COV		[250 kW - 1 MW]	[0,15 - 1,4]	3
		[1 - 20] MW	[0,01 - 492]	28
CH ₄		[250 kW - 1 MW]	[0,1 - 2]	6
		[1 - 20] MW	[0,01 - 387]	26
HAP8	mg/GJ	[250 kW - 1 MW]	[0,1 - 85]	3
		[1 - 20] MW	[0,01 - 8]	12
PCDD/F	ng/GJ	[250 kW - 1 MW]	[3,5 - 9 770]	21
		[1 - 20] MW	[1 - 6 550]	25

Tableau 1 : Récapitulatif des gammes de facteurs d'émission par puissance et par polluant³ issus de l'analyse d'une cinquantaine de publication.

Il a malgré tout été possible de distinguer clairement l'impact des différents systèmes de traitement de fumée sur le niveau d'émission de certains polluants (TSP, PM₁₀, PM₁ et BC).

Les études portant sur la partie condensables⁴ des émissions de particules suggèrent que celle-ci est moins importante pour les chaufferies de puissance inférieure à 1 MW que celle observée lors de combustion de biomasse dans des appareils domestiques. Ceci est en cohérence avec une meilleure qualité de combustion dans le premier cas.

Bien que la littérature fournisse peu d'études s'intéressant à la variabilité des émissions lors des changements de phase du processus de combustion (démarrage, variations de charge, arrêt), des tendances fortes peuvent être distinguées pour certains polluants. En effet les émissions de CO peuvent être accrues au-delà d'un facteur dix lors de ces phases. Un décalage de la distribution granulométrique en nombre des émissions de particules est observé, vers des diamètres plus larges au démarrage et plus fins lors de la fin du processus de combustion.



Les entretiens avec une quinzaine d'acteurs du marché des chaufferies biomasse ont permis de conforter les enseignements concernant les méthodes de filtration des particules. Le graphique ci-dessous montre que pour atteindre des bonnes performances (en dessous de 50 mg/Nm³ à 6 % d'O₂ pour les particules), le recours à un filtre à manche, à un filtre céramique ou à un électrofiltre est nécessaire. Les deux premières technologies pourront plus

³ CO Monoxyde de Carbone, TSP Total des particules en suspension, PM₁₀ particules d'un diamètre inférieur à 10 microns, PM_{2,5} particules d'un diamètre inférieur à 2,5 microns, PM_{1,0} particules d'un diamètre inférieur à 1 microns, BC Black Carbone, Nox Oxydes d'azote, SO₂ Dioxyde de soufre, NH₃ Ammoniac, COV Composés organiques volatils, CH₄ méthane, HAP hydrocarbures aromatiques polycycliques, PCDD/F dioxine et furanes (polychlorodibenzo-furanes ou polychlorodibenzo-dioxines).

⁴ Les particules émises par la combustion du bois peuvent notamment comporter une proportion importante de composés dits « condensables ». Ces derniers deviennent solides après condensation et contribuent aussi à la pollution.

facilement atteindre des niveaux d'exigences inférieures. Le retour d'expérience sur les filtres céramiques sont faibles avec très peu de réalisation sur le domaine des chaufferies bois en France. L'électrofiltre devra être surdimensionné pour atteindre des performances en dessous de 20 mg/Nm³. Par ailleurs, il existe des petits électrofiltres en ligne qui sont un bon levier pour abaisser les émissions de particules sous les 100 mg/Nm³, ce qui ne semble pas possible avec un simple cyclone ou multicyclone.

3. Résultats des mesures sur site

Les mesures sur sites ont concerné six chaudières de puissance comprise entre 150 kW et 1,6 MW : trois en dessous de 500 kW et trois au-dessus de 500 kW, dont une de 1,6 MW. Les composés suivants ont été mesurés :

- Gaz de combustion (CO, CO₂, O₂, COVT, NOx) ;
- Particules fines (PM₁₀ et PM_{2,5}) ;
- Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) ;
- Métaux ;
- Carbone suie (BC) – EC (element Carbon/OC (organique carbon));
- Particules totales TSP (phase solide et condensable) et solides SP ;
- COV par classes de volatilité.

Les chaudières étudiées étant des installations non classées (excepté celle de Puissance 1,6 MW), leurs plateformes de mesure, leur fonctionnement par cycle ainsi que leur niveau d'émission ne permettaient pas de réaliser des prélèvements conformes aux exigences fixées par l'accréditation COFRAC. Les prélèvements sur site ont nécessité de déroger aux durées et aux nombres de prélèvement dans l'objectif d'atteindre des LQ suffisantes pour les paramètres recherchés. Les résultats des mesures sont donc donnés hors accréditation COFRAC et hors agrément et les comparaisons aux niveaux d'émissions des particules, des NOx et du CO exigés par le Fonds Chaleur sont données à titre indicatif afin d'initier une comparaison.

En parallèle des mesures, des audits techniques ont été réalisés pour quantifier le bilan énergétique annuel des chaufferies (production, rendement) et qualifier le fonctionnement (type de combustible, mode de régulation, problématiques rencontrées pour l'exploitation).

Le nombre de sites retenus pour ces analyses est relativement réduit à la suite de trois contraintes :

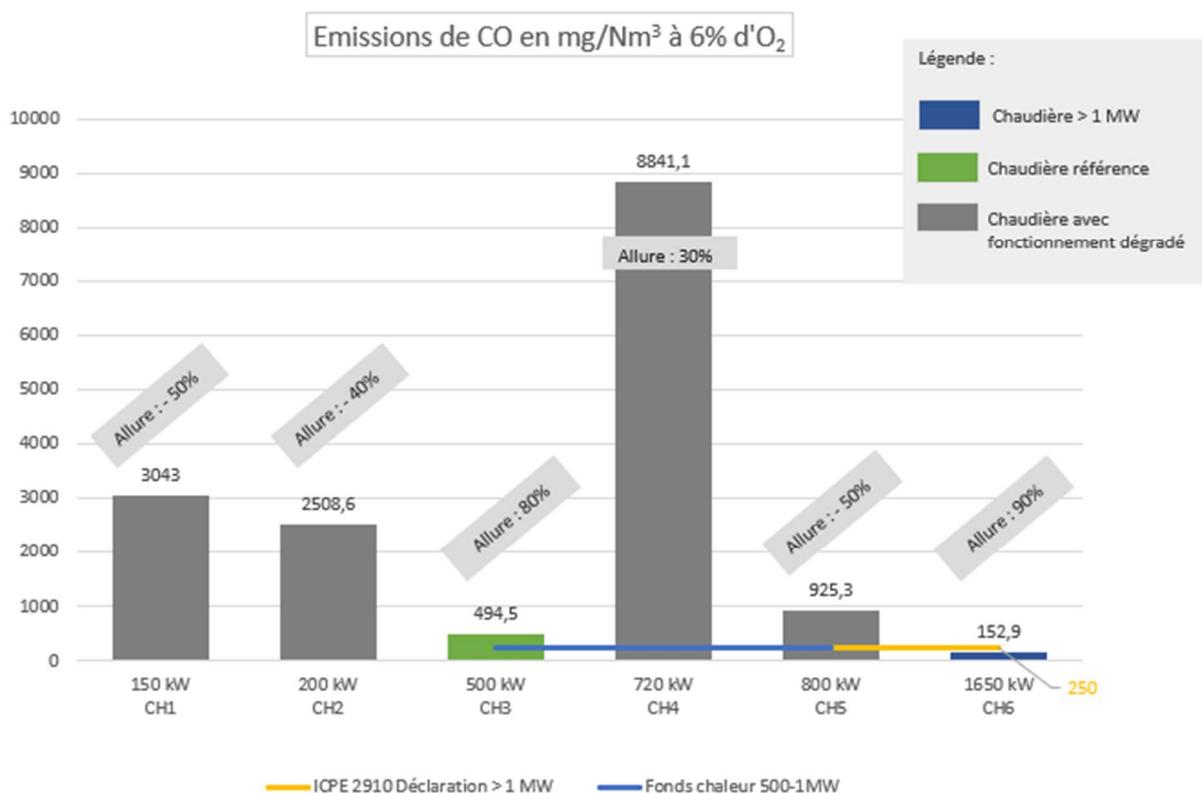
- Contrainte technique : Les sites de moins de 1 MW sont rarement équipés de plate-forme de mesure et la plupart des sites retenus ont dû faire l'objet de travaux modificatifs pour mettre en place une trappe de visite permettant de réaliser les prélèvements.
- Contrainte budgétaire : afin d'avoir une vision de l'impact des variations de charge sur les émissions et de traiter l'ensemble des polluants mesurables sur plusieurs heures, l'intervention a duré, pour chaque chaudière, entre quatre et cinq jours mobilisant deux techniciens.
- La campagne a été perturbée par la pandémie de la COVID 19.

Il est à noter que le recours à une aide Fonds Chaleur n'impose un niveau d'émission des particules à 50 mg/Nm³ à 6 % d'O₂ pour les chaudières dès 500 kW que depuis l'année 2022 (auparavant seules les chaudières de puissance supérieure à 1 MW étaient concernées). Les chaudières de moins de 1 MW étudiées dans ce projet étant préexistantes, elles ne sont pas équipées de système filtration pour les particules. Seul un premier niveau d'abattement est réalisé par des cyclones ou multicyclones.

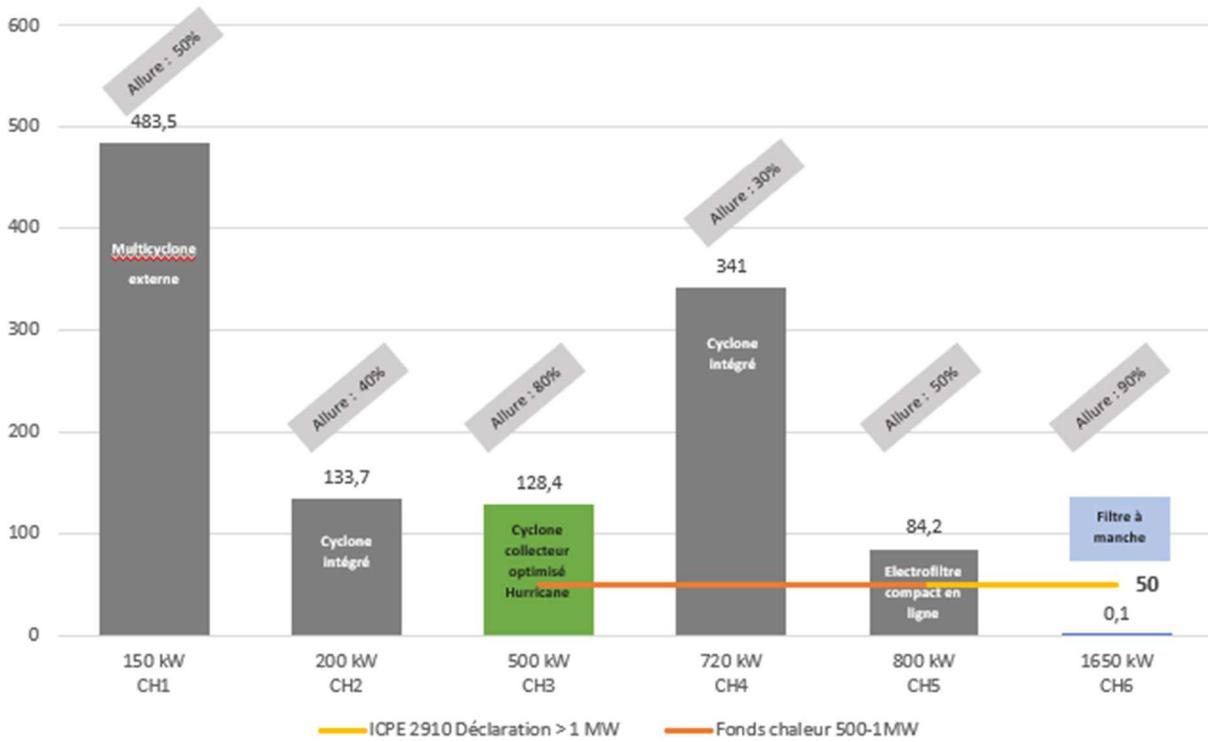
Les campagnes de mesure se sont concentrées sur :

- Quatre chaudières surdimensionnées (temps de fonctionnement inférieur à 2000 h/an) qui présentent de nombreux cycles d'arrêt et de démarrage sur une heure (cycle On/Off).
- Une chaudière bien dimensionnée (temps de fonctionnement > 2000 h/an).

Les graphes ci-dessous représentent les résultats pour les CO, les particules solides et les NO_x pour les six chaudières étudiées en comparaison avec les exigences du fonds chaleur (à partir de 500 kW) et de la réglementation ICPE 2910 A (à partir de 1 MW). Notons que pour les deux plus petites chaudières inférieures à 500 kW, les valeurs limites Fonds Chaleur sont donc indicatives d'un niveau de performance à atteindre mais en aucun cas exigées.



Emissions de SP (particules solides) en mg/Nm³ à 6% d'O₂



Emissions de NOx en mg/Nm³ à 6% d'O₂



Figure 1 : Résultats des campagnes de mesures pour les CO, les particules solides (SP) et les NOx pour les six chaudières ramenés à 6 % d'O₂.

Les résultats de la chaudière de 1,6 MW (CH6) sont conformes à la réglementation ICPE 2910 A. Les bons résultats sur les particules ($0,1 \text{ mg/Nm}^3$) sont liés à la présence d'un filtre à manche. Les émissions de monoxyde de carbone (CO) sont faibles (150 mg/Nm^3), directement en lien avec une bonne qualité de combustion et un fonctionnement nominal (sans cycles On/Off) permettant d'atteindre un taux d'oxygène stable et proche du taux d'oxygène de référence de 6 % pendant la durée des mesures. L'audit technique montre que cette chaudière est bien dimensionnée en base avec un temps de fonctionnement élevé (3 000 h/an). Les émissions de NO_x sont également en dessous des seuils réglementaires. Ainsi, les émissions de polluants d'une chaudière bien dimensionnée équipée d'une filtration de type filtre à manche ou électrofiltre sont performantes et conformes aux seuils réglementaires.

L'analyse des résultats de la chaudière bien dimensionnée d'une puissance de 500 kW montre des émissions de particules en cohérence avec une filtration par cyclone ou multicyclone (environ 230 mg/Nm^3) mais presque cinq fois plus importantes que le seuil fixé en 2022 par le Fonds Chaleur (50 mg/Nm^3 à 6 % d'O₂). Pour répondre à ces nouvelles exigences du Fonds Chaleur les chaudières de cette gamme de puissance (500 kW- 1MW) doivent envisager la mise en place de filtre à manche ou électrofiltre.

Les résultats sur les émissions de NO_x sont très bons à 230 mg/Nm^3 (pour 500 mg/Nm^3 exigés par le Fonds Chaleur).

Pour le CO, les émissions sont deux fois plus importantes que les exigences du Fonds Chaleur (500 mg/Nm^3 pour 250 mg/Nm^3 exigés dès 500 kW).

Les quatre chaudières surdimensionnées de moins de 1 MW présentent des émissions de CO très importantes, de l'ordre de dix à trente fois plus que les exigences du Fonds chaleur (250 mg/Nm^3).

Pour ces quatre chaudières, il a été constaté des cycles d'arrêt et de démarrage très récurrents sur la période de mesure avec pour les plus émettrices des cycles de l'ordre de 15-20 min soit plus de quatre arrêts et redémarrage par heure. Cette corrélation entre cycle d'arrêt et de démarrage et des émissions plus importantes de CO conforte l'état de l'art réalisé dans la première phase.

Concernant les résultats sur les émissions de particules :

- Une chaudière est équipée d'un petit électrofiltre en ligne et présente des émissions inférieures à 100 mg/Nm^3 . Notons que cet équipement n'a pas permis d'atteindre les nouvelles exigences du Fonds chaleur pour les chaudières de plus de 500 kW (50 mg/Nm^3) lors de la durée de la mesure.
- Une des chaudières présente des émissions de particules en cohérence avec les résultats escomptés en présence de filtration simple par muticyclone (de l'ordre de 130 mg/Nm^3).
- Les deux autres, pourtant équipées de muticyclones, présentent des émissions supérieures à 300 mg/Nm^3 .

Plusieurs paramètres, tels que le bon réglage de la chaudière et la qualité du combustible, sont connus pour influencer la qualité de combustion et donc les émissions de particules. L'étude tend à montrer que le fonctionnement par cycle récurrent sur ces chaudières est également un facteur augmentant les niveaux d'émission de particules.

Les résultats montrent que la contribution de la fraction condensable aux émissions totales de PM variait entre 2 % et 20 % selon les typologies de chaudière étudiées. Pour les chaudières étudiées dans ce projet, la prise en compte de la fraction des condensables impacte peu les FE de TSP. Ces résultats restent toutefois à confirmer compte tenu du nombre limité de chaudières testées.

En revanche, aucun dépassement sur les émissions de NO_x n'a été constaté sur ces chaudières. Les résultats sont bien en deçà des 500 mg/Nm^3 , voir même en dessous de 300 mg/Nm^3 pour quatre chaudières sur six. Rappelons que les émissions de NO_x sont majoritairement liées à la teneur en azote dans le combustible. Sur ces sites, les combustibles représentés sont variés : broyats de palette, plaquettes de scierie, bois d'élagage et plaquettes forestières. Pour ces deux derniers combustibles, des émissions de NO_x un peu plus importantes que sur les autres sites ont été constatées (de l'ordre de 350 mg/Nm^3), certainement du fait d'un taux d'azote supérieur dans le combustible.

Ces résultats, complétés par les données de la bibliographie réalisée en début de projet (Tableau 1), ont permis au Citepa de distinguer deux gammes de puissance (inférieure à 1 MW et comprise entre 1 et 20 MW) au lieu d'une (inférieure à 20 MW) et de proposer de nouveaux facteurs d'émission.

Polluants	Facteur d'émission proposé pour l'édition 2023		Facteurs d'émission dans les inventaires nationaux (édition 2022)
	< 1 MW	[1 - 20 MW]	< 20 MW
CO	435 g/GJ	Pas d'évolution proposée	250 g/GJ
NO _x	80 g/GJ	132 g/GJ	132 g/GJ (FC) et 200 g/GJ (hors FC)
COVNM	12 g/GJ	Pas d'évolution proposée	2,2 g/GJ (FC) et 4,8 g/GJ (hors FC)
TSP	100 g/GJ	Pas d'évolution proposée	16,8 g/GJ et 100 g/GJ (hors FC)
BC	15 % des PM _{2,5} (chaufferies industrie, tertiaire et agriculture)		28 % des PM _{2,5} (chaufferies industrie, tertiaire et agriculture)
Pb	32 mg/GJ		90 mg/GJ
As	7 mg/GJ		9,5 mg/GJ
Ni	8 mg/GJ		11 mg/GJ
Cu	15 mg/GJ		31 mg/GJ
Cr	23 mg/GJ		47 mg/GJ

Tableau 2 : Proposition d'évolution des facteurs d'émission des chaufferies biomasse de puissance inférieure à 20 MW

Les évolutions proposées sont comparées au total annuel national de l'édition 2022 des inventaires nationaux d'émissions de polluants réalisés par le Citepa. Ainsi :

- Les émissions annuelles nationales de monoxyde de carbone (CO) augmentent légèrement en lien avec le facteur d'émission spécifique plus élevé de 435 g/GJ utilisé pour les chaufferies de puissance inférieures à 1 MW.
- Les émissions annuelles nationales d'oxydes d'azote (NO_x) diminuent légèrement en lien avec le facteur d'émission spécifique plus faible de 80 g/GJ utilisé pour les chaufferies de puissance inférieure à 1 MW.
- Les émissions annuelles nationales de composés organiques volatils non méthanique (COVNM) augmentent légèrement en lien avec le facteur d'émission spécifique plus élevé de 12 g/GJ utilisé pour les chaufferies de puissance inférieures à 1 MW.
- Les impacts des évolutions proposées sur les émissions annuelles nationales de particules sont très limités et sont plus significatifs sur les émissions de Black Carbon ou carbone suie (BC) en lien avec une contribution un peu plus importante par rapport aux autres secteurs émetteurs.
- Concernant les métaux lourds, la révision à la baisse des facteurs d'émission de l'arsenic (As), du plomb (Pb), du nickel (Ni), du cuivre (Cu) et du chrome (Cr) pour l'ensemble des chaufferies biomasse sans distinction de puissance est positive pour la filière.

Cela est davantage développé (avec une analyse polluant par polluant) dans le rapport principal et ses annexes mais ces sources représentent **une part minoritaire** (bien que croissante) par rapport à d'autres secteurs émetteurs et par conséquent ces modifications ont également **très peu d'impact** au niveau des inventaires nationaux d'émissions.

4. Préconisations et perspectives de recherches

L'étude met en lumière l'enjeu du bon dimensionnement des installations de puissance inférieure à 1 MW. Les mesures réalisées ont permis de donner des premiers éléments de quantification des impacts sur la pollution de l'air associés à un régime de fonctionnement dégradé dû à un surdimensionnement. À la suite des enseignements de la campagne de mesure réalisée dans le projet ACIBIOQA, quatre recommandations majeures sont mises en avant afin de limiter les émissions de polluants atmosphériques de ces installations de combustion de biomasse :

- **Bien dimensionner les chaudières pour réduire leurs cycles de fonctionnement.** Un lien entre l'augmentation des émissions (CO et particules) et la fréquence importante de cycles d'arrêt/redémarrage des chaudières a été constaté. Lors de la conception, le bon dimensionnement de la chaufferie aux besoins est donc indispensable. Une première étape peut être de vérifier que l'installation fonctionne à pleine puissance à minima plus de 2 000 heures/an. Si un temps de fonctionnement bien plus faible que ces 2000 h est constaté sur un site existant, la mise en place d'un ballon d'accumulation peut permettre de réduire le nombre journalier de cycles. Sur un projet de nouvelle installation, la mise en place d'un ballon est recommandée même si la chaudière préconisée est considérée comme modulante.
- **Installer des systèmes de filtration sur les chaudières.** L'étude montre que sans filtration spécifique, il est difficile d'atteindre des niveaux d'émission suffisamment bas en exploitation, même si lors des tests en usine les équipements affichent les niveaux d'émission souhaités. Après avoir défini son objectif de filtration (soumis à ICPE, financé par le Fonds chaleur ou simple engagement en lien avec des contextes locaux), il convient de choisir un équipement en adéquation avec cet objectif. Un filtre à manche, un électrofiltre, ou un filtre céramique sont les systèmes adéquats pour rester en permanence en dessous de 50 mg/Nm³ 6 % d'O₂ pour les particules.
- **Bien choisir le combustible.** Des leviers existent pour limiter les émissions de polluants (CO, Particules, NOx) notamment en sélectionnant et en contrôlant régulièrement le combustible (humidité, taux de fines). A la mise en service de la chaudière, le réglage de combustion fait par l'exploitant ou le constructeur dépend des caractéristiques du combustible. Il faut également s'assurer du maintien de la qualité du combustible en phase d'exploitation, ou revoir périodiquement les réglages de la chaudière si des évolutions de la qualité ou du type de combustible interviennent. Les analyses peuvent aussi détecter un taux d'azote élevé (supérieur à 1%) et conduire à envisager une autre source de combustible pour limiter les émissions de NOx.
- **Faciliter l'instrumentation de la chaudière bois.** Certains sites présentaient des rendements médiocres (<80 %) qui n'avaient pas forcément été détectés (pas de suivi de cet indicateur). La mise en place d'une trappe de mesure (normalisée quand le conduit le permet) sur les conduits de fumées lors de la réalisation de projets d'installations neuves, mais aussi sur les chaudières déjà en exploitation permettraient de faire des mesures ponctuelles plus facilement pour les maîtres d'ouvrage qui souhaitent mieux contrôler et suivre les émissions de leur chaufferie. Pour les chaudières déjà en service, l'emplacement des trappes de visite doit être situé (quand la longueur du conduit le permet) à une distance de cinq fois le diamètre hydraulique d'un obstacle (type coude, ventilation, etc...). La trappe doit être positionnée à hauteur d'homme par l'intermédiaire d'une plateforme adaptée quand les mesures de plein pied ne sont pas possibles.

L'incitation du Fonds Chaleur à équiper les chaudières de plus de 500 kW de systèmes de filtration des particules pour atteindre 50 mg/Nm³ à 6 % d'O₂ est une première garantie pour cette gamme de puissance sur les projets futurs. La problématique du CO reste cependant importante, et seule une bonne conception / exploitation alliant bon dimensionnement, hydro-accumulation, réglage de combustion et contrôle du combustible pourra permettre de baisser ces émissions sur le long terme.

Ces préconisations concernent les phases de conception, de réalisation et d'exploitation. Elles s'adressent donc à l'ensemble des acteurs de la filière : maître d'ouvrage, bureau d'études, constructeurs et exploitants. Le recours à des professionnels RGE pour la conception et l'installation d'un projet biomasse est indispensable à l'atteinte des objectifs de performance environnementale.

L'étude montre ainsi qu'il y a un véritable enjeu à poursuivre des actions de recherche et d'innovation pour agir sur le parc existant, notamment pour évaluer l'impact de modifications simples (réglage de la combustion, mise en place d'un ballon d'accumulation, évolution de la qualité du combustible utilisé) et définir une stratégie d'accompagnement à la mise en place de ces actions (par la formation des exploitants par exemple).

5. Sigles et acronymes

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
ACIBIOQA	Amélioration des connaissances en matière d'impact des chaufferies biomasse sur la qualité de l'air
BC	Black Carbon
CITEPA	Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
CH₄	Méthane
CO	Monoxyde de carbone
CO₂	Dioxyde de carbone
COV et COSV	Composés organiques volatils et semi-volatils
COVNM	Composé organiques volatils non méthaniques
COVT	Composés organiques volatils totaux
EC/OC	Element Carbon Organic Carbon
FC	Fonds Chaleur
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
ICPE	Installations Classées Pour l'Environnement
INERIS	Institut national de l'environnement industriel et des risques
NH₃	Ammoniac
NO_x	Oxydes d'azote
O₂	Oxygène
PCDD/F	dioxine et furanes (polychlorodibenzo-furanes ou polychlorodibenzo-dioxines)
PM	Particulate Matter en anglais : particules fines
PM₁	particules d'un diamètre inférieur à 1 micron
PM₁₀	particules d'un diamètre inférieur à 10 microns
PM_{2,5}	particules d'un diamètre inférieur à 2.5 microns
SO₂	Dioxyde de soufre
TSP	Total Suspended particulates (Total des particules en suspension)

RÉSUMÉ

Première source d'énergie renouvelable utilisée en France, la combustion du bois émet des polluants et peut à certaines périodes de l'année et dans certaines zones géographiques, contribuer de façon significative à la pollution de l'air extérieur.

Contrairement aux chaufferies biomasse centralisées soumises au contrôle des ICPE, et au chauffage domestique au bois largement documenté, les émissions atmosphériques des chaufferies bois de puissance inférieure à 1 MW sont mal connues.

Après un état de l'art exhaustif et inédit des connaissances des émissions dans cette gamme de puissance de combustion, le projet a consisté à mener des campagnes d'analyses des émissions polluantes de six installations, couplées à l'analyse de leurs conditions de fonctionnement.

Les résultats obtenus ont permis de revoir les valeurs des facteurs d'émissions de ces petites chaufferies. Ils ont confirmé les performances des systèmes de traitement de fumée. Ils ont également mis en évidence l'impact des phases d'arrêts et de redémarrage des chaudières.

Des recommandations à destination de la filière en termes de dimensionnement initial et de mode de fonctionnement sont proposées, afin d'optimiser les performances des installations de combustion de biomasse de puissance inférieure à 1 MW.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé

BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 19-03-C0042

Étude réalisée par Inddigo, le Citepa, l'Ineris pour ce projet financé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : Inddigo

Appel à projet de recherche : CORTEA 2018-65

Coordination technique - ADEME : DUBILLY Anne-Laure

Service Forêt Alimentation et Bioéconomie, Direction Productions et Energies Durables

CITATION DE CE RAPPORT

Florence PAULUS INDDIGO, Marine FICHAU INDDIGO, Gaetan REMOND INDDIGO, Benjamin CUNIASSE Citepa, Benjamin CEA Ineris, Isaline FRABOULET Ineris. 2023. **Emissions atmosphériques des chaufferies bois de puissance inférieure à 1 MW**. Campagnes de mesures sur site et proposition d'évolution des facteurs d'émission. Projet ACIBIOQA. Synthèse. 12 pages

Cet ouvrage est disponible en ligne

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

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.