

Dans le cadre de l'implantation par Dalkia d'une chaufferie biomasse à Haubourdin pour alimenter le réseau de chaleur de la Métropole Européenne de Lille, Atmo Hauts-de-France propose cette note bibliographique afin de documenter les émissions des chaufferies biomasse.

Introduction

Le bois-énergie en France

Le bois-énergie représente 4,8% des consommations d'énergie dans les Hauts-de-France en 2023 (Inventaire des émissions atmosphérique, Atmo HDF, M2024_v1), tous secteurs confondus. **Le chauffage domestique représente le principal usage du bois-énergie. Le bois représente 16% des consommations d'énergie du chauffage résidentiel**, l'électricité et le gaz naturel représentant 35% chacun. Si cette part reste relativement stable depuis 2012, le chauffage collectif est lui en usage croissant. En témoigne l'augmentation du nombre de chaufferies collectives dans les Hauts-de-France : 147 installations en 2010, et 587 installations en 2025 (Fibois Hauts-de-France, 2025).

Le bois a l'avantage d'être une énergie renouvelable, économique et locale, pouvant contribuer à une économie rurale de proximité, en créant des emplois non délocalisables. Le prix du bois est stable, contrairement à ceux du gaz et de l'électricité, et peu dépendant du prix des produits pétroliers. Ainsi, dans un contexte de transition énergétique, la France fait la part belle au bois-énergie, qui représente près de 30% du mix renouvelable dans un objectif de décarbonation et de souveraineté énergétique (SDES, 2024). Concernant la ressource, le bois revêt son intérêt climatique lorsqu'il est issu de l'exploitation durable des forêts et du bocage, ou bien d'une valorisation des déchets de bois et des sous-produits agricoles. L'utilisation du bois-énergie doit donc s'inscrire dans une gestion réfléchie des forêts et des haies, en complémentarité avec les autres énergies renouvelables.

La combustion biomasse au regard de la qualité de l'air

En termes de pollution de l'air, **le bois, parmi les énergies utilisées en région pour le chauffage résidentiel, représente le combustible émettant plus de 95% des particules PM10 et PM2,5 du secteur dans les Hauts-de-France** (Atmo Hauts-de-France, 2024). Il émet, en revanche, peu de GES (gaz à effet de serre), le principal contributeur étant le gaz naturel. Outre les particules, les principaux polluants émis sont le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatils (COV) comme le benzène et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). À l'inverse, les installations sans combustion, par exemple les pompes à chaleur (aérothermiques ou géothermiques) ou le solaire thermique, n'émettent pas ou peu de polluants, mais ne sont pas toujours adaptés aux besoins et aux territoires. Par ailleurs, les quantités émises de polluants sont fortement dépendantes du type d'appareil et de sa performance : un réseau de chaleur pour du chauffage collectif n'aura pas le même impact qu'un insert à bûches individuel.

La note présente a pour objectif de documenter les émissions des chaufferies biomasse et les facteurs faisant varier ces émissions, apporter des éléments de comparaison par rapport aux autres appareils de chauffage au bois et décrire l'impact de la combustion biomasse sur la qualité de l'air et l'exposition des populations.

Principe d'émission

Une chaufferie biomasse produit de la chaleur à partir de matières organiques utilisées comme combustible, ici du bois-énergie. La combustion est un processus en 3 phases : évaporation, combustion homogène, combustion hétérogène. Pendant la première phase, l'eau quitte le combustible. Ensuite, des réactions de pyrolyse décomposent le bois en résidus charbonneux, en libérant les composés gazeux. 80% de la matière organique constituant le bois brûlé passe en phase gazeuse, se mélange à l'oxygène de l'air et s'enflamme. Les molécules se transforment en dioxyde de carbone (CO_2) et en eau (H_2O), le charbon restant brûle lentement, laissant des cendres minérales.

En théorie, une combustion produirait uniquement du CO_2 et de la vapeur d'eau (combustion parfaite). **En pratique, la combustion parfaite n'existe pas et engendre divers composés gazeux ou particuliers "imbrûlés" : oxydes d'azotes (NO_x et en particulier NO_2), particules (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, particules ultrafines PUF), monoxyde de carbone, COV, HAP, dioxines, furanes et composés solides : suie, goudron, charbon. Même si ces composés sont largement minoritaires, ils sont responsables d'effets délétères sur la santé, d'où la nécessité de surveiller leurs émissions.**

Concernant les particules, la combustion de biomasse émet en grande partie des particules de petite taille (particules fines de $2,5 \mu\text{m}$ – $\text{PM}_{2,5}$ ou ultrafines – PUF). **Les PUF contribuent très peu à la masse globale des émissions, mais sont dominantes en nombre et leurs effets sur la santé sont majeurs**, compte tenu de leur grande surface et de leur capacité à pénétrer profondément les voies respiratoires. Les $\text{PM}_{2,5}$ et les PUF émises par la combustion de biomasse sont notamment composées de carbone suie ou Black Carbon, qui se caractérise par un risque sanitaire plus marqué que celui des $\text{PM}_{2,5}$, et une capacité à absorber la lumière, contribuant ainsi au réchauffement climatique (OMS, 2012).

Enfin, une partie des gaz issus de la combustion ne reste pas à l'état gazeux. Certains, en se refroidissant, condensent et passent en phase particulaire : ce sont les **particules dites condensables** (désormais incluses dans les facteurs d'émission des particules). Cette fraction est généralement plus faible pour les chaufferies collectives que pour le chauffage individuel résidentiel, en lien avec la qualité de la combustion (ADEME, ACIBIOQA, 2023). D'autres composés gazeux subissent ensuite des transformations chimiques dans l'atmosphère et contribuent à la formation de nouvelles particules, appelées **particules secondaires**. Dans le cas des composés organiques, il s'agit d'aérosols organiques secondaires (AOS). Ces particules ne sont pas prises en compte dans les facteurs d'émission. La littérature est peu développée sur ce sujet, mais la part de ces particules secondaires dans les émissions totales après vieillissement peut être majoritaire par rapport aux particules primaires (A. Bertrand, 2017). Les gaz pouvant se condenser ou former des particules secondaires sont les COV (notamment certains composés aromatiques tels que le toluène et les xylènes) et les HAP (notamment le benzo(a)pyrène).

Ces particules secondaires viennent s'ajouter aux composés émis initialement lors de la phase de combustion et alourdissent le bilan des émissions liées à la combustion de biomasse, d'où l'importance de mieux mesurer le potentiel de formation d'aérosols secondaires, et de surveiller les émissions des COV et HAP (INERIS, 2018).

Définitions :

Cette note mobilise les termes suivants pour qualifier et quantifier les polluants provenant de la combustion biomasse :

Emissions : les émissions de polluants correspondent aux quantités de polluants directement rejetées dans l'atmosphère par les activités humaines, ici la combustion biomasse. Les facteurs d'émission, exprimés en masse de polluant émise par quantité d'énergie consommée ($\mu\text{m}/\text{Gj}$), permettent d'estimer les quantités de polluants émises par un appareil sur une période donnée.

Concentrations : les concentrations de polluants caractérisent la qualité de l'air que l'on respire, elles s'expriment le plus souvent en masse des polluants par volume d'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). La mesure des concentrations permet de quantifier l'exposition d'une zone à la pollution.

Valeurs Limites d'Emission (VLE) : exprimées elles aussi en $\mu\text{m}/\text{m}^3$, elles sont utilisées pour mesurer en sortie de cheminée les concentrations en polluants des fumées rejetées.

Différenciation chauffages collectif et individuel

Le bois-énergie représente, en Hauts-de-France, en 2023, 58% des émissions de PM_{2,5} et 30% des émissions de PM₁₀ tous secteurs confondus (Atmo Hauts-de-France, 2024). La majorité de ces émissions sont liées à l'usage domestique du chauffage au bois, et la part du chauffage collectif dans les émissions de PM_{2,5} liées à la combustion de bois, tous secteurs confondus, reste encore marginale (3%). Cela s'explique tout d'abord par le fait que le volume de chaleur produit par les installations de chauffage collectif reste moindre par rapport à la somme de la production des appareils individuels, mais également par le fait que les facteurs d'émission des installations collectives sont bien inférieurs à ceux des installations individuelles. Par exemple, le facteur d'émission des particules d'un insert performant à bûches est 50 fois supérieur à celui d'une installation collective d'une puissance supérieure à 50 MW.

Les chaufferies collectives dont la puissance est supérieure à 1 MW sont soumises à des réglementations qui limitent leurs émissions, ce qui implique des technologies permettant de filtrer les particules. Le type de combustible (plaquettes forestières, bocagères ou assimilés, granulés, bois en fin de vie et bois déchets, connexes de sous-produits de l'industrie du bois) influe également sur les émissions. Ces installations dites "industrielles" font l'objet de procédures d'exploitation qui garantissent leur performance et sont conçues pour accepter une plus grande variabilité de combustible, sans nuire à leurs performances.

Facteurs influençant les émissions

Réglementation
Performance de l'installation
Efficacité de la combustion
Systèmes de filtration
Type de combustible

Particules (Total Suspended Particulate - TSP)

Au-delà de ce constat général, **les facteurs d'émission sont variables selon les types d'équipements**, qu'ils soient individuels ou collectifs. Concernant les appareils individuels, les appareils récents bénéficient de technologies limitant les émissions de particules : depuis 2015, tous les appareils commercialisés sont équipés

d'un système de post-combustion, et, depuis 2022, les appareils doivent respecter les critères Eco-Design. Aussi, les appareils à granulés permettent une combustion mieux contrôlée donc moins émissive. Cependant, le renouvellement du parc s'inscrit sur le temps long, et des appareils individuels encore fortement émetteurs sont toujours utilisés.

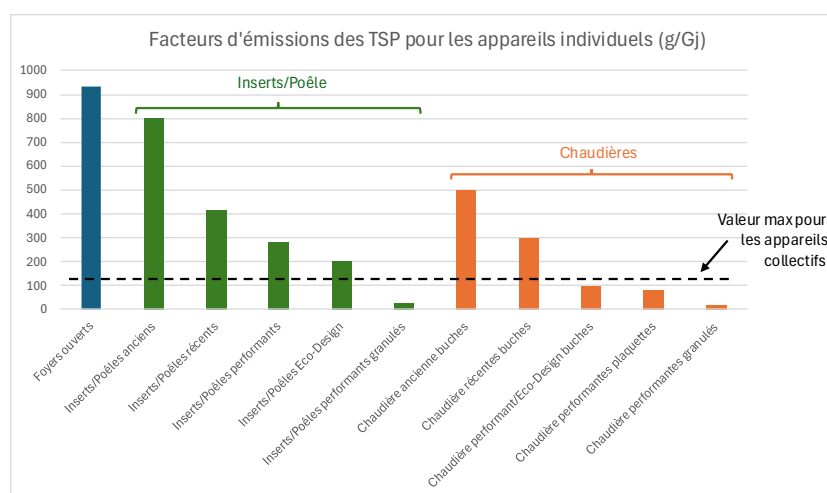


Figure 1 : Facteurs d'émission de TSP des appareils de chauffage au bois individuels, OMINEA 2026 (CITEPA)

Concernant les installations collectives, le CITEPA pose des hypothèses sur les types de filtres installés sur les chaudières selon les différents secteurs, et attribue les facteurs d'émission moyens suivants par secteur, puissance et combustible.

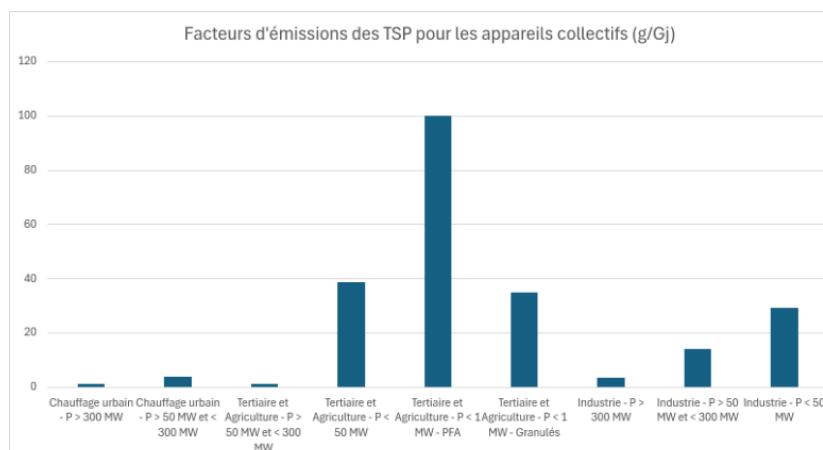


Figure 2 : Facteurs d'émission de TSP des chaudières biomasse par secteur et par puissance, OMINEA 2026 (CITEPA)

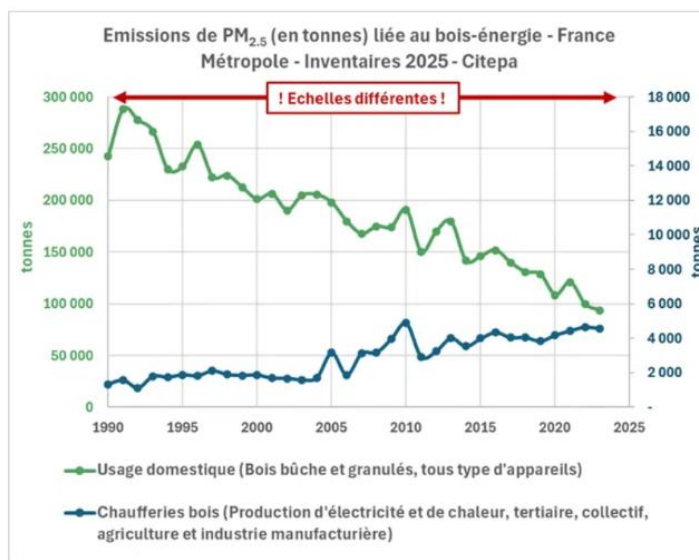
L'étude ACIBIOQA de l'ADEME, dans laquelle une cinquantaine de travaux scientifiques ont été agrégés, établit un facteur d'émissions moyen pour les chaufferies de moins de 20 MW à 110 g/Gj et un facteur d'émission médian à 40 g/Gj. L'étude a montré que la plus grande variabilité des émissions concerne les chaufferies de plus petite puissance et le combustible PFA (plaquettes forestières et assimilées).

Le CITEPA n'établit pas de facteur d'émission pour les particules inférieures à 1 µm, ni pour les PUF inférieures à 0,1 µm. Cependant, la revue de la littérature du projet ACIBIOQA a relevé une étude s'intéressant aux particules ultrafines, et qui établit un facteur d'émission entre 0,016 et 13 g/Gj (Fachinger et al., 2018). Par ailleurs, dans le cadre de l'étude Périclès de l'ADEME, les émissions de PUF de deux poêles à bûches et deux poêles à granulés ont été mesurées (ADEME, 2025). **L'étude a montré que les poussières émises par ce type de combustion sont en grande majorité des PUF.** Les facteurs d'émission résultants, exprimés en nombre et non en masse, sont de l'ordre de 10^{13} à 10^{14} #/m³. Les émissions varient fortement entre la phase d'allumage et les phases nominales et d'arrêt, avec des émissions plus faibles pour ces dernières. L'étude a également mis en lumière une littérature limitée sur ce sujet et l'intérêt de développer la recherche sur les émissions de PUF liées à la combustion biomasse.

Hormis certaines chaufferies de petite puissance, les appareils collectifs sont donc globalement moins émetteurs que les appareils individuels, et à plus forte raison que les appareils individuels anciens. Le renouvellement du parc d'appareils domestiques et l'installation de réseaux de chaleur alimentés par des chaufferies biomasses réglementées constituent donc un levier non négligeable d'amélioration de la qualité de l'air.

Bien que la part des émissions de particules PM10 et PM2,5 liées aux chaufferies collectives soit faible, celle-ci tend à augmenter en lien avec la multiplication des chaufferies biomasse. Cette évolution est visible au niveau national, comme le montre le CITEPA. Une attention doit donc être portée à la multiplication de chaufferies biomasse et à la place prépondérante du bois-énergie dans le mix renouvelable, au regard des impacts sanitaires sur la qualité de l'air.

Figure 3 : Emissions de PM2,5 associées au bois-énergie en France métropolitaine, 2025 (CITEPA)



Dans ce contexte, **les AASQA (Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air) se mobilisent pour la surveillance des émissions et des concentrations** afin de s'assurer de la compatibilité avec les objectifs nationaux de réduction (PREPA), du respect des normes européennes en termes de qualité de l'air et de la réduction de l'exposition des populations aux risques sanitaires.

Carbone suie (Black Carbon)

Le carbone suie étant un composé des particules fines (PM_{2,5}), **les facteurs d'émission du CITEPA sont exprimés en pourcentage de carbone suie dans le total des particules fines émises** (CITEPA, 2026). Concernant les appareils individuels, la part de carbone suie varie de 7% (foyers ouverts) à 28% (chaudières bûches récentes ou Poêles/Inserts Eco-Design). La part de carbone suie dans les particules fines augmente avec la qualité de l'appareil : les appareils plus performants émettent des particules fines plus chargées en carbone suie. Concernant les appareils collectifs, les petits et moyens appareils (de puissance inférieure à 50 MW) émettent des particules fines chargées en carbone suie en proportion identique aux appareils individuels performants (28% des particules). **Cette proportion diminue pour les appareils de plus grande puissance (>50 MW) : 15% pour les installations collectives tertiaires, agricoles ou industrielles, et 3,3% pour les installations de chauffage urbain.**

COVnM (Composés Organiques Volatils non Méthaniques)

Les facteurs d'émission des COVnM pour la combustion de biomasse tels que diffusés par le CITEPA varient, pour les appareils individuels, entre 1 700 g/Gj (foyers ouverts) et 10 g/Gj (appareils à granulés). Pour les appareils collectifs, le facteur d'émission varie de 2,2 g/Gj pour les installations de puissance entre 1 et 20 MW soumises au Fond Chaleur de l'ADEME, et 12 g/Gj pour les petites installations de puissance inférieure à 1 MW. À part les petites installations, les appareils collectifs sont donc moins émetteurs que les appareils individuels.

HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques)

Les facteurs d'émission de HAP pour la combustion de biomasse tels que diffusés par le CITEPA varient, pour les appareils individuels, entre 0,179 g/Gj (poêles/foyers fermés anciens) et 0,003 g/Gj (chaudières récentes). Pour les appareils collectifs, le facteur d'émission est de 0,004 g/Gj pour les installations de puissance inférieure à 50 MW, soit un facteur d'émission proche de celui des meilleurs appareils individuels.

Oxydes d'azote (NO_x)

Outre les particules, qui restent le principal enjeu, **la combustion biomasse est également à l'origine d'oxydes d'azote (NO_x)**. Les émissions de NO_x de la combustion de biomasse ne représentent que 3% des émissions de NO_x totales en 2022 en Hauts-de-France, mais la part du chauffage collectif est plus importante que pour les émissions de particules : **33% des émissions de NO_x liées à la combustion de biomasse (tous secteurs confondus) sont associées au chauffage collectif** (Atmo Hauts-de-France, 2024).

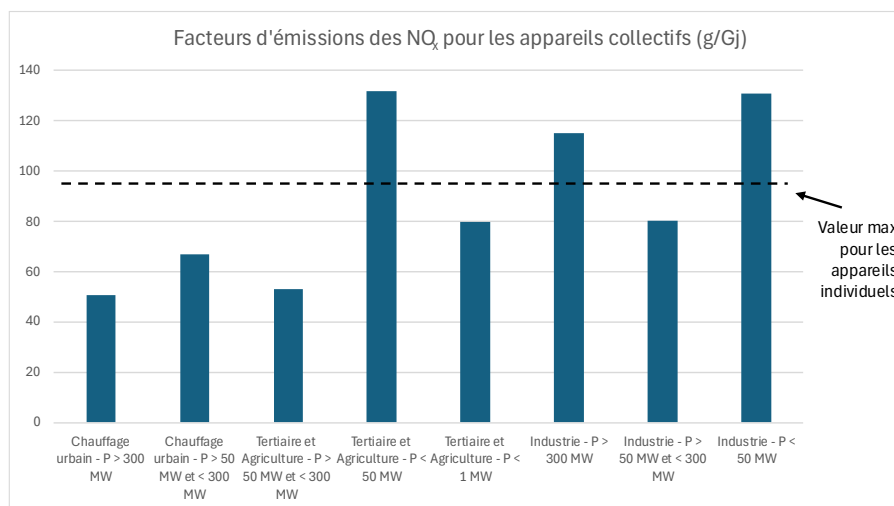
Cela s'explique par la nature des processus de formation des NO_x. Deux types d'oxydes d'azote se forment dans la combustion, par deux procédés distincts (ADEME, ACIBIOQA, 2023) :

- Les NO-thermiques se forment dans le cas de très hautes températures, où le diazote (N₂) de l'air réagit avec l'oxygène (O₂) pour former du NO, puis du NO₂ ;
- Les NO-combustibles sont liés à la présence d'azote dans le combustible. Ils sont majoritaires dans les émissions de NO_x (65 à 95% de la formation de NO_x dans le foyer).

Plusieurs facteurs font ainsi varier les émissions de NO_x : la température du foyer, le temps de séjour, l'apport d'air et le taux d'azote dans le combustible. Les installations de hautes puissances sont favorables à la formation de NO_x, car les températures sont plus élevées, et la combustion est mieux maîtrisée. Les facteurs d'émission fournis par le CITEPA pour les appareils individuels attribuent des émissions plus élevées pour les appareils individuels puissants (chaudières). **Ainsi, contrairement aux facteurs d'émission des particules, plus les appareils sont récents et performants, plus ils émettent de NO_x.**

Concernant les chaufferies collectives, les facteurs d'émission sont variables, et dans les mêmes ordres de grandeur que ceux des appareils individuels. L'étude ACIBIOQA de l'ADEME établit, à partir de la littérature, un facteur d'émission moyen pour les chaufferies de moins de 20 MW à 77 g/Gj et un facteur d'émission médian à 68 g/Gj.

Figure 5 : Facteurs d'émission de NO_x des chaudières biomasse par secteur et par puissance, OMINEA 2026 (CITEPA)



Ainsi, un juste équilibre est à trouver dans les conditions de fonctionnement : ce qui améliore les conditions d'oxydation vient réduire les émissions d'imbrûlés (particules et autres gaz), mais augmente celle des NO_x (ADEME, 2013).

Réglementation des chaufferies collectives

Au-delà d'une puissance de 1 MW, **les chaufferies biomasse sont classées installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), impliquant une obligation de suivi des émissions et de respect de seuils réglementaires.**

La réglementation française, alignée sur la directive européenne MCP (2015/2193), poursuit un renforcement progressif des valeurs limites d'émission (VLE) des chaufferies pour réduire l'exposition des populations aux émissions atmosphériques. Depuis 15 ans, les seuils à l'émission ont été divisés par 5 à 10 : plus la puissance nominale est importante, plus la législation en vigueur est stricte. Le Fonds Chaleur proposé par l'ADEME impose également des VLE strictes visant à prévenir les impacts sanitaires et environnementaux.

VLE pour une chaufferie biomasse P > 50 MW

Arrêté du 3 août 2018 relatif aux installations de combustion d'une puissance thermique nominale totale supérieure ou égale à 50 MW soumises à autorisation au titre de la rubrique 3110

Polluant	Valeur limite (mg/Nm ³)
SO₂	200
NO_x	250
PM	20
CO	200

Ces valeurs s'appliquent aux installations autorisées à compter du 1^{er} novembre 2010, pour une biomasse à 6% d'O₂. Pour les installations existantes avant cette date, des valeurs transitoires ou dérogatoires peuvent s'appliquer. **Ces VLE s'accompagnent d'une surveillance en continu à l'émission obligatoire** (mesures de concentrations) **pour SO₂, NO_x, PM et CO** (Art. 28).

Axes de réduction des émissions

Bonnes pratiques

Différentes bonnes pratiques sont mises en œuvre dans les installations collectives de chauffage au bois pour réduire les émissions. En optant pour des équipements de combustion, de traitement des fumées et des poussières répondant aux **Meilleures Techniques Disponibles** (MTD), il est possible de limiter très fortement les impacts sur la qualité de l'air. Les MTD, telles que définies et répertoriées par l'Union Européenne (2021), correspondent au stade de développement le plus efficace et avancé des activités, visant à éviter ou à réduire au maximum les impacts sur l'environnement (air, eau, sol, déchets).

En termes de manutention du combustible, celui-ci peut être acheminé de façon à réduire la formation de particules d'origine mécanique, puis dépoussiéré. Les dépoussiéreurs font l'objet d'une maintenance préventive avec équipement pour suivre l'état des filtres.

Concernant la combustion, sa qualité dépend du respect de la température, de la teneur en oxygène, du mélange des produits pour favoriser l'oxydation. Des capteurs suivent la combustion en permanence pour pouvoir intervenir en direct, toujours dans une optique d'optimisation de la combustion. Une attention particulière reste à porter aux phases de démarrage/arrêt, phases d'exploitation les plus polluantes, afin de les éviter le plus possible. **La puissance de la chaudière doit donc être dimensionnée au juste besoin de chaleur, afin d'éviter un fonctionnement général en surrégime ou en sous-régime.**

Le combustible doit être de qualité, avec un regard sur sa composition et son humidité. Les plaquettes sont plus émissives que les granulés, mais ce format permet de valoriser des bois laissés en forêt, inscrivant le bois-énergie comme complémentaire à la filière bois traditionnelle. Le bois-énergie valorise également les broyats de bois d'emballage, impliquant une certification SSD (sortie du statut de déchet). Les analyses menées permettent de garantir la qualité nécessaire et la bonne conformité pour une utilisation en combustible. À noter qu'en qualité industrielle, les taux d'humidité peuvent être plus élevés qu'en usage domestique ou petite chaufferie, en raison des performances de l'installation et des dispositifs de filtration.

Pour contribuer aux objectifs environnementaux, le combustible doit donc être brûlé dans un appareil performant, avec un regard sur les conditions de production, d'approvisionnement, de combustion et du temps nécessaire au renouvellement de la ressource.

Filtres à particules

Plusieurs technologies existent pour réduire les émissions de particules et autres polluants. Concernant les particules, les principaux systèmes de filtres sont les suivants :

- **Les cyclones ou multi-cyclones** sont des filtres courants, et souvent installés en amont d'autres filtres, notamment les électrofiltres. Les gaz passent dans le cyclone où la force centrifuge permet de retenir les particules et laisser s'échapper les gaz filtrés. Ce système est plus efficace pour les particules de grande taille. Il est assez simple et est installé sur la plupart des chaufferies biomasse. Les cyclones permettent de réduire les émissions de particules (TSP) à **150 mg/Nm³** environ, mais les performances sont dépendantes du type de combustible et de la charge (moins performant à faible charge).
- **Les filtres à manches** sont des systèmes plus avancés, souvent utilisés dans les chaudières de plus grande taille. Les gaz passent à travers des feutres qui retiennent les particules. La taille des particules filtrées dépend de la taille de la maille. Ce système est sensible à la température, et une solution de by-pass doit être mise en place pour protéger les filtres en cas de températures trop élevées ou trop faibles (risque de condensation). Les constructeurs annoncent des performances **de 15 à 75 mg/Nm³**, et 9 installations étudiées équipées d'un filtre à manche présentaient des concentrations à 18,6 mg/Nm³ en moyenne (ADEME, 2013).
- **Les électrofiltres**, un peu moins efficaces que les filtres à manches, reposent sur l'attraction des particules vers des plaques réceptives sous l'effet d'un champ électrostatique. Les particules sont ensuite décollées par vibration ou percussion. Les performances dépendent des caractéristiques des poussières en entrée. Les constructeurs annoncent des performances **de 45 à 150 mg/Nm³**, et 8 installations étudiées équipées d'un filtre à manche présentaient des concentrations à 22,9 mg/Nm³ en moyenne (ADEME, 2013). Cependant, les électrofiltres sont relativement peu efficaces pour filtrer les PUF (Zhou et al., 2024).

Les systèmes de filtration peuvent être accompagnés de condenseur pour récupérer de la chaleur, mais aussi diminuer les polluants en sortie de cheminée. Ce système performant mais coûteux implique la mise en place de retours froids, permettant d'atteindre la température de condensation. Une courte campagne de mesures en octobre 2017 sur une chaufferie composée de deux chaudières de 6 et 8 MW a montré qu'un condenseur permettait de diminuer de 99,6% les émissions de PM10 et PM2,5. Les condensats récupérés nécessitent un traitement approprié, avant rejet (CEDEN, 2018). Ces chiffres restent à approfondir et dépendent du traitement des fumées en amont, peu d'études sont disponibles actuellement. Il sera intéressant de suivre les performances des laveurs-condenseurs sur le marché, notamment les résultats d'analyse du projet Récup'EFFI (ADEME), à propos de l'efficacité du condenseur TERRAO.

Enfin, la mise en place de **filtres catalytiques** permet d'agir sur la fraction gazeuse des émissions. L'oxydation catalytique permet de réduire les émissions de monoxyde de carbone (CO), de COV et de HAP : ce type de filtre peut ainsi avoir un impact sur les émissions finales de particules, en réduisant **les gaz précurseurs des particules condensables ou secondaires** (INERIS, 2018). Ces filtres sont donc complémentaires aux autres techniques précédemment citées, qui agissent uniquement sur la fraction solide des particules. L'usage de ces filtres et leurs performances n'ont, semble-t-il, à ce jour pas été évalués.

Réduction des oxydes d'azote

Concernant les oxydes d'azote, deux types de systèmes existent pour réduire les émissions :

- **Les systèmes bas-NO_x** sont des systèmes préventifs qui visent à réduire la formation de NO_x lors de la combustion. On parle alors de foyer bas-NO_x, pour lequel l'introduction du combustible, le volume de la chambre, et l'excès d'air sont contrôlés et adaptés pour réduire la formation de NO_x.
- **Les systèmes déNO_x** sont des systèmes curatifs qui visent à réduire les NO_x déjà formés en introduisant des substances favorisant leur destruction (agent réducteur). Deux techniques existent : la réduction sélective non catalytique (SNCR), qui a lieu durant la combustion, à température élevée, et la réduction sélective catalytique (SCR) qui a lieu après, à température plus faible. La SCR est plus efficace que la SNCR (50% de réduction pour la SNCR contre 80% pour la SCR).

Les systèmes bas-NO_x sont les plus utilisés, et le SCR n'est que très peu utilisé, du fait de son coût et que les systèmes bas-NO_x et SNCR suffisent à réduire les émissions sous les seuils réglementaires.

Conditions réelles d'émissions

Grosses chaufferies (entre 1 et 50 MW)

Une étude nationale menée par l'ADEME en 2018, sur les émissions de 110 chaufferies, à la fois en collectif et en industriel, allant de 2 à 50 MW, présentent les résultats suivants : **94% des rapports d'émissions sont conformes pour les poussières et 99% des rapports d'émissions sont conformes pour les NO_x** (ADEME, IRH Ingénieur Conseil, 2018).

Chaufferies intermédiaires (entre 400 kW et 1 MW)

Concernant les chaufferies de plus petite taille, l'ADEME a mené une campagne de mesure dans le cadre du projet ACIBIOQA sur 5 chaufferies de puissance inférieure à 1 MW, et une chaufferie d'une puissance de 1,6 MW. Les mesures ont montré que **l'ensemble des chaufferies avaient des émissions de NO_x inférieures au seuil réglementaire de 500 mg/Nm³ du Fonds Chaleur et du seuil des installations ICPE de puissance inférieure à 5 MW**. A l'inverse, **les émissions de particules des chaufferies étaient toutes supérieures au seuil de 50 mg/Nm³** (Fonds Chaleur et ICPE < 5 MW), excepté la chaudière de 1,6 MW équipée d'un filtre à manche.

Petites chaufferies (inférieures à 500 kW)

AirParif a mené une étude sur 8 petites chaufferies inférieures à 500 KW en région parisienne (2025), non soumises aux VLE, en conditions réelles de fonctionnement. **L'étude a ainsi montré que les paramètres faisant varier les concentrations de NO_x, par ordre d'importance, étaient : le type de combustible (notamment la teneur en azote du combustible), la puissance de la chaudière, et l'excès d'air.**

Concernant les particules, **l'excès d'air est le principal facteur : un excès d'air trop important engendre une combustion incomplète, donc l'émission de particules**, en lien avec les phases de chauffe ; en phase d'arrêt/baisse de charge, l'excès d'air est plus important. L'étude a également montré que les chaudières qui alternent entre une phase de montée en charge et une phase de baisse de charge, sans passer par une phase nominale, présentaient des concentrations moyennes à l'émission plus élevées. Enfin, la composition des combustibles est un autre paramètre majeur : les combustibles présentant des forts taux de sodium et de potassium favorisent l'augmentation des concentrations de particules. **Il est donc important de veiller au dimensionnement des chaufferies collectives afin de favoriser le fonctionnement en phase nominale, au réglage de l'excès d'air, ainsi qu'à la composition des combustibles pour réduire les émissions de particules.**

PUF

La même étude d'AirParif s'est également intéressée aux émissions de PUF, mesurées en nombre et non en masse, du fait de leur masse trop faible. Les mesures de concentration en cheminée ont permis d'étudier la granulométrie des particules, à savoir leur répartition en différentes classes selon la taille. Les résultats montrent que les particules émises sont, en nombre, composées à 90% de PUF. **Par ailleurs, l'étude n'a pas pu établir de lien entre les concentrations de PUF et le type de chaufferie, le type de combustible, ou le type de phase.** L'étude de l'ADEME sur les 6 chaufferies de puissance inférieure à 1,6 MW a également montré que la part des particules de petite taille était largement majoritaires dans les émissions : 70 à 97% des particules mesurées avaient une taille inférieure à 1 µm.

Influence de la combustion de biomasse sur l'exposition des populations

Au-delà de la surveillance des émissions à la sortie de cheminées, les AASQA s'engagent dans des campagnes de mesures et de modélisation afin d'**analyser et prévenir l'exposition des populations aux polluants émis**. Ces campagnes de mesure visent à rendre compte de l'exposition en condition réelle, puisque **selon l'implantation de la chaufferie, la dispersion des polluants ne sera pas identique, et les effets sur l'environnement vont différer**. L'implantation d'une chaufferie biomasse se réfléchit donc également en termes de densité de population, de topographie (relief naturel, bâti) et de vents dominants sur le secteur.

Impact de la combustion de biomasse sur les concentrations mesurées en Hauts-de-France

Dans le cadre de leurs missions réglementaires, les AASQA s'intéressent à la contribution du chauffage au bois dans les concentrations observées aux stations. **Il apparaît que le chauffage au bois est un contributeur majeur des concentrations de particules et que sa part augmente significativement en hiver**. Dans une étude menée en 2023 et 2024 sur la MEL par Atmo Hauts-de-France, **16% des PM_{2,5}** mesurées sur toute la période d'observation sont issues de la **combustion de biomasse**, cette part s'élève à **34% en période hivernale**, faisant de la combustion de biomasse le 1^{er} contributeur aux concentrations en PM_{2,5}. Concernant les épisodes de pollution (moyenne journalière en PM₁₀ supérieure au seuil réglementaire de 50 µg/m³), dans les Hauts-de-France, sur la période 2020-2023, 30% à 60% des épisodes de pollution particulaire ont été liés au chauffage au bois. À Amiens, lors d'un épisode de pollution en novembre 2020, la contribution de la combustion de biomasse est montée jusqu'à 70% des PM₁₀ mesurées (Atmo France, 2024).

Les concentrations élevées en particules sont associées à des impacts sanitaires majeurs, respiratoires et cardiovasculaires. Plus les particules sont petites, plus elles pénètrent profondément dans les voies respiratoires et plus leur surface d'échange avec les tissus biologiques est importante. Elles peuvent ainsi irriter et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. **Les émissions de particules de la combustion de biomasse étant principalement constituées de particules de petites tailles, son impact sanitaire est donc important**. Par ailleurs, une autre évaluation de la dangerosité des particules se fait via la mesure de leur potentiel oxydant : en fonction de leur composition, les particules génèrent plus ou moins de stress oxydant, néfaste pour les cellules. En utilisant cette nouvelle métrique recommandée par l'ANSES, une étude française (Weber et al., 2021) a établi que la combustion biomasse était le contributeur majoritaire du potentiel oxydant. L'étude de caractérisation des particules menée sur la MEL s'est poursuivie par une analyse du potentiel oxydant, les résultats montrent que la combustion de biomasse constitue la première source de potentiel oxydant sur la métropole lilloise.

Le chauffage au bois résidentiel est donc fortement associé aux capacités oxydantes des particules soulignant son rôle dans les effets sanitaires liés.

Les **concentrations en carbone suie** sont également mesurées et suivies au regard de la dangerosité de ce composant des particules fines, et de la nouvelle directive européenne sur la qualité de l'air de 2024. L'OMS a défini un seuil associé à des effets sur la santé compris entre 1,08 et 1,15 µg/m³. Une majorité de sites de surveillance en France ne respecte pas cette valeur pour le carbone suie total, et même certains uniquement pour la fraction liée au chauffage au bois. Selon une étude menée en 2022 dont les mesures ont été menées entre 2015 à 2020, la combustion de biomasse dans les Hauts-de-France représente entre 10% (site sous influence trafic) et 35% des concentrations de carbone suie, avec une part plus élevée (35%) pour un site rural. En 2023, cette contribution a atteint 44% (Atmo France, 2024).

Impact des chaufferies biomasse sur les concentrations (études de cas)

Pour aller plus loin, il faut distinguer le chauffage bois collectif du chauffage au bois domestique. Plusieurs études menées sur des chaufferies biomasse en régions Auvergne Rhône-Alpes (AuRA) et Pays de la Loire ne mettent pas en évidence d'influence significative des chaufferies biomasse sur leur environnement. En région lyonnaise, Atmo AuRA (2020) a mené une étude pour déterminer l'influence de la chaufferie biomasse de Surville, qui comprend 2 chaufferies biomasse de 17 MW chacune, sur son environnement atmosphérique. **La campagne de mesures quantitative effectuée en période de chauffe n'a pas mis en évidence d'impact spécifique et significatif sur la qualité de l'air**.

Concernant l'évaluation qualitative, des analyses plus poussées des HAP permettraient d'affiner les diagnostics, mais l'étude conclut à la non-pertinence d'une surveillance à l'année. D'autant plus qu'il reste impossible de faire la distinction entre les polluants provenant du chauffage bois collectif et ceux provenant des installations de chauffage bois individuelles (Atmo AuRA, 2020).

À Donges (Loire Atlantique), une chaufferie bois vient alimenter un réseau de chaleur desservant 7 bâtiments, notamment un EHPAD et une piscine avec des forts besoins de chaleur. La chaufferie est composée de deux chaudières de 490 kW, une à bois et l'autre à gaz, celle à gaz venant prendre le relais en période estivale lorsque les besoins sont moindres, soit 20% du fonctionnement. Air Pays-de-la-Loire a évalué les zones de retombées maximales des émissions de la chaufferie, et l'impact global sur la qualité de l'air, notamment vis-à-vis de la réglementation et des objectifs à atteindre. Les modélisations ont démontré que l'impact sur les particules PM10 et PM2,5 est localisé dans les 100 premiers mètres de la chaufferie, et que la surconcentration (+4 µg/m³ pour PM10 et +3 µg/m³ pour PM2,5) en moyenne annuelle ne concerne que la proximité immédiate de la chaufferie. Les campagnes de mesure ont démontré que les niveaux enregistrés en particules sont représentatifs d'un milieu péri-urbain, avec une influence du chauffage individuel au bois, **sans conclure à une incidence du fonctionnement de la chaufferie sur les concentrations** (Air Pays-de-la-Loire, 2023).

La littérature scientifique n'est pas encore développée sur les impacts des chaufferies biomasses sur les concentrations de PUF mesurées. Une étude a cependant été menée en 2014 et 2015 par l'ORCAA (Olympic Region Clean Air Agency), l'agence locale de surveillance de la qualité de l'air d'une région de l'Etat de Washington, à la suite de l'installation d'une chaufferie biomasse pour alimenter un site industriel. Les mesures de PUF ont été faites avant et après l'installation de la chaufferie biomasse, en été, lorsque les concentrations de particules sont plus faibles et peu influencées par le chauffage résidentiel. L'étude a conclu à un impact non significatif de la chaufferie sur les concentrations de PUF mesurées. Les concentrations ont diminué l'été 2015, lorsque la chaufferie était en service : l'ORCAA fait l'hypothèse que d'autres sources (trafic routier et activités portuaires) expliquent la variabilité des concentrations de PUF, et que l'impact de la chaufferie biomasse est négligeable par rapport à ces autres sources (Haddley et al., 2018).

Conclusion

En conclusion de cette revue bibliographique, il apparaît que **les appareils de grande puissance sont les plus efficaces en termes de quantité de chaleur produite par rapport à la masse de particules émises**. Ce constat général est à nuancer au regard des conditions de combustion, qui peuvent faire grandement varier les émissions. Il est crucial de veiller au **bon dimensionnement de la chaufferie** afin d'éviter les phases non nominales plus émettrices, de veiller à la **qualité du combustible** (teneur en azote notamment pour les émissions de NO_x), et à la présence de **filtres efficaces**. Par ailleurs, **la recherche doit encore être développée** sur les polluants émergents non réglementaires comme les PUF, notamment du fait de leur dangerosité sur la santé, et sur leur potentiel de formation des particules secondaires. Enfin, l'emplacement d'une chaufferie biomasse est un paramètre à prendre en compte : si l'emplacement n'est pas propice à une bonne circulation de l'air (territoire enclavé, obstacles au vent, etc.), les masses d'air chargées en gaz et particules issues de la cheminée peuvent stagner dans l'air ambiant et les concentrations peuvent augmenter localement. À l'inverse, une cheminée haute en position favorable à la dispersion des polluants permet de réduire l'exposition des populations.

Ainsi, la surveillance des chaufferies biomasse est d'autant plus importante que, si les émissions des chauffages individuels ont bien tendance à diminuer, celles des chaufferies collectives sont en revanche en hausse, du fait de la croissance de ce secteur. Or, les concentrations de PM2,5 en Hauts-de-France ont diminué de 18% entre 2015 et 2025, mais restent stables depuis 2021, et à des seuils préoccupants : **100% de la population des Hauts-de-France est exposée à des seuils de concentrations supérieurs au de seuil 5 µg/m³ recommandé par l'OMS** (Atmo Hauts-de-France, 2025). Ces observations renforcent la nécessité d'agir avec des politiques ambitieuses visant à réduire les niveaux de concentrations de particules, et notamment de renforcer la surveillance et la recherche sur les émissions de particules de la combustion biomasse.

Bibliographie

ADEME, CEDEN, 2025, Projet Récup'EFFI : <https://recherche.ademe.fr/recupeffi-recuperation-de-chaleur-gain-energetique-et-reduction-co2#synth%C3%A8se-des-r%C3%A9sultats>

ADEME, HARB S., FRABOULET I., DELCOUR S., MUCCILLI R., 2025, Emissions de particules ultrafines du chauffage domestique au bois - PERICLES : Mesures sur un poêle à bûches et un poêle à granulés. Rapport, 78 pages. <https://librairie.ademe.fr/air/9397-emissions-de-particules-ultrafines-du-chauffage-domestique-au-bois.html>

ADEME, 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 : <https://cibe.fr/wp-content/uploads/2023/09/emissions-atmospheriques-petites-chaufferies-bois-Synthese.pdf>

ADEME, IRH Ingénieur Conseil, 2018, Chaufferies biomasse et émissions atmosphériques : [20190117 Synthèse -collecte PV qair - vf](#)

ADEME, 2012, Evaluation technico-économique des systèmes de réduction des émissions de particules des chaudières biomasse : <https://www.bioenergie-promotion.fr/wp-content/uploads/2013/11/synthese-evaluation-emissions-chaudieres-biomasse.pdf>

ADEME, 2013, Bonnes pratiques bas-NOx pour chaudières à biomasse : <https://cibe.fr/wp-content/uploads/2018/08/61-Les-bonnes-pratiques-pour-r%C3%A9duire-les-Nox.pdf>

AirParif, 2025, Etude - Mesures à l'émission de petites chaufferies biomasse (< 500 kW) en conditions réelles d'exploitation : <https://www.airparif.fr/etudes/2025/etude-mesures-lemission-de-petites-chaufferies-biomasse-500-kw-en-conditions-reelles>

Air Pays de la Loire, 2023, Évaluation de la qualité de l'air autour de la chaufferie biomasse de Donges : https://www.airpl.org/sites/default/files/reports/Rapport%20BIODONGES_f.pdf

Anses, 2026, Rapport d'expertise collective - Chauffage domestique au bois, pollution de l'air et effets sur la santé : <https://www.anses.fr/system/files/AIR-2022-SA-0043-RA.pdf>

Arrêté du 3 août 2018 relatif aux installations de combustion d'une puissance thermique nominale totale supérieure ou égale à 50 MW soumises à autorisation au titre de la rubrique 3110 : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037284870>

Atmo AuRa, 2020 : Etude de l'influence de la chaufferie biomasse de Surville sur son environnement atmosphérique : https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/aura/files/content/migrated/atoms/files/rapportetudechaufferiesurville_2.pdf

Atmo Hauts-de-France, 2026 : Bilan de la qualité de l'air 2025 : https://www.atmo-hdf.fr/sites/hdf/files/medias/documents/2026-06/AtmoHDF_Bilan_qualite_air_2025.pdf

Atmo Hauts-de-France, 2024 : Inventaire des émissions atmosphériques et des consommations d'énergie en Hauts-de-France, méthodologie 2024 (M2024_v1) : <https://www.atmo-hdf.fr/article/inventaire-des-emissions>

Atmo Normandie, 2021, Projet RisaChaBois, Pour une meilleure connaissance des risques sanitaires associés aux émissions des chaufferies bois : <https://www.atmonormandie.fr/sites/normandie/files/medias/documents/2021-11/Rapport%20risachabois-vf24112021.pdf>

Bertrand, 2017, Vieillissement atmosphérique de l'aérosol de combustion de biomasse : du potentiel de formation d'aérosol organique secondaire à la modification de l'empreinte chimique à l'échelle moléculaire. Chimie analytique. Aix Marseille Université, 2017. <https://hal.science/tel-01654322/>

Biomasse Normandie, consulté juillet 2026, Encyclopédie du bois-énergie – Condensation des fumées : <https://www.biomasse-normandie.fr/encyclopedie/condensation-des-fumees>

CEDEN, 2018, Chaufferie biomasse et écart de température d'eau : les solutions de la performance : <https://cibe.fr/wp-content/uploads/2018/07/2-CEDEN-JT-AMIENS.pdf>

CITEPA, 2026 : Rapport OMINEA, Édition 2026 : <https://www.citepa.org/donnees-air-climat/methodologie-de-linventaire-ominea>

Fachinger et al., 2018 : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231018301523>

Fibois Hauts-de-France, 2025 : liste des chaufferies en Hauts-de-France (interne).

Fibois AuRA, 2021 : Se chauffer au bois – Chaufferies collectives, Edition 2021 : <https://www.fibois-aura.org/wp-content/uploads/2021/02/ChaufferiesCollectiv.pdf>

Haddley et al., 2018 : Regional Impact of a Biomass-fueled Co-generation Boiler on Ambient PM2.5 and Ultrafine Particle (UFP) Concentration. https://www.orcaa.org/wp-content/uploads/Sources-of-ultrafine-particle-pollution-in-Port-Angeles_final-report_21December18.pdf

INERIS, 2018, Synthèse des études à l'émission réalisées par l'INERIS sur la combustion du bois en foyers domestiques : <https://www.ineris.fr/sites/default/files/contribution/Documents/DRC-17-164787-10342A.pdf>

Journal de l'Union Européenne, Décision d'exécution (UE) 2021/2326 de la commission du 30 novembre 2021 établissant les conclusions sur les meilleures techniques disponibles (MTD), au titre de la directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil, pour les grandes installations de combustion : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021D2326>

OMS, 2012, Health effects of black carbon : <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/878418aa-b0ee-47a1-ba13-51a71fc5d352/content>

Roeder et al., 2025, Measurements of NOx emissions from biomass combustion in small to large-scale power plants : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236125015261>

Service des Données et Etudes Statistiques, 2025, Chiffres clés des énergies renouvelables - Édition 2025 : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-des-energies-renouvelables-edition-2025>

Weber, S., Uzu, G., Favez, O., Borlaza, L. J. S., Calas, A., Salameh, D. et al., 2021 : Source apportionment of atmospheric PM10 oxidative potential: synthesis of 15 year-round urban datasets in France, Atmos. Chem. Phys., 21, 11353–11378. <https://acp.copernicus.org/articles/21/11353/2021/>

Zhou Y., Liu Y., Shi Z., Li X., Yu M., 2024, Enhanced size-dependent efficiency of removal of ultrafine particles: New solution of two-stage electrostatic precipitator with thermophoresis, Separation and Purification Technology. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.127479>