

# Airparif

12 juin 2025

## CHAUFFERIES BIOMASSE DE MOINS DE 500KW

Mesures des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre





01

PRESENTATION GENERALE DE  
L'ETUDE

02

FONCTIONNEMENT DES  
CHAUDIÈRES

03

PRESENTATION  
RESULTATS ET  
INTERPRETATIONS

04

REMERCIEMENTS



01

# PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE

---

Développement de l'usage de biomasse dans les chaufferies collectives, notamment via les chaudières biomasse de faibles puissances (<500 kW)

x 4 nombre de chaufferies entre 2010 et 2022

x 8 puissance installée entre 2010 et 2022

83 chaufferies < 500kW sur 134 chaufferies biomasse franciliennes

Questionnement sur la neutralité carbone et l'impact sur la qualité de l'air (polluants réglementés ou non ayant un effet sur la santé : particules ultrafines, HAP, ...)

Mesures à l'émission **en condition réelle d'exploitation** pour éclairer les choix des décideurs (nombre chaufferies/puissance, type de combustibles, ...) en collaboration avec l'INERIS



Mesures de 1 à 6 mois en continu



4 chaudières de moins de 500 kW à granulés



4 chaudières de moins de 500 kW plaquettes forestières



# Quelles mesures et quelles analyses ?

## ➤ **Mesures en continu** sur 6 mois ou 1 mois en fonction des chaufferies

Mesures de **gaz** :  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$

Mesures des **particules** : Nombre total de particules et Concentrations massiques

**Paramètres physiques** : Débit de fumée, température de fumée

## ➤ **Mesures ponctuelles**

**Gravimétrie** : Masse de particules selon les tailles de particules (TSP,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_1$ )

**Granulométrie** : Nombre de particules classées selon leur taille

**Analyse de la fraction condensable** des particules

**Analyse des combustibles** : paramètres physiques (humidité, Pouvoir Calorifique,..) et chimiques (azote, minéraux : Potassium – sodium..., carbone, métaux (Zinc, cuivre,...))

## ➤ **Projet CAPCHA (INERIS, IGE, EDYTEM) avec financement Ademe et Anses**

Composés organiques totaux (COVT), Carbone suie, EC/OC), métaux, acides organiques, méthoxyphénols, sucres, hydrocarbures (alcanes), HAP et ions inorganiques, potentiel oxydant



02

# FONCTIONNEMENT DES CHAUDIERES

---

Cycles plus ou moins variables et dynamiques alternant entre 3 principaux régimes :

- « démarrage/montée en charge »,
- « charge nominale »,
- « arrêt/baisse de charge »

Cycles de chauffe des chaudières jouent sur :

**la température de fumée** = Température plus élevée lors de la période de chauffe

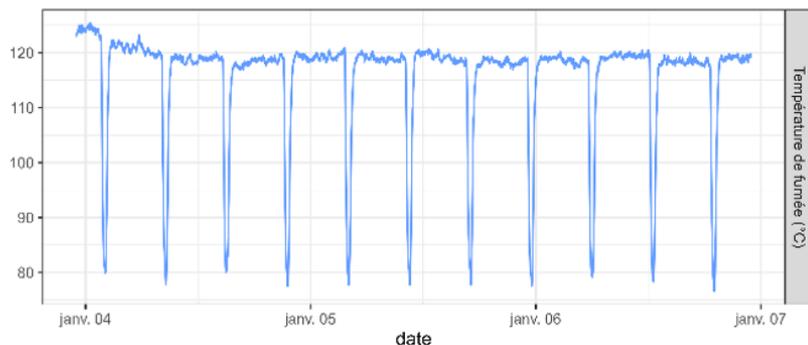
**le taux d'oxygène** = Baisse du taux d'O<sub>2</sub> lors de la combustion – « comburant »

**le débit de fumée** = Tirage thermique et mécanique (ventilation)

# Des cycles de chauffe variables

Analyse des cycles de chauffe des chaudières à l'aide des mesures de la température de fumée : des cycles différents pour chaque chaudière sur la période de mesure réalisée

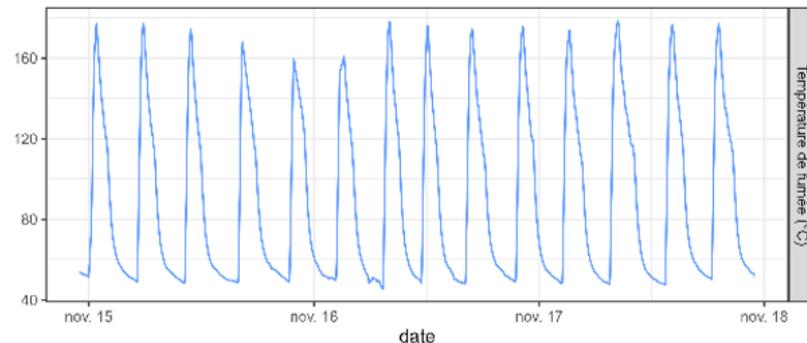
## Chauffe continue



Chaudière 250 kW - Granulés

Température globalement stable avec des baisses de température régulières = cycles d'évacuation des cendres

## Chauffe brève et dynamique



Chaudière 110 kW - PFA

Cycles très dynamiques et périodicité régulière : montée de la température puis baisse dès la température max atteinte



03

# PRESENTATION RESULTATS ET INTERPRETATIONS

---

- ❑ **Arrêté inter-préfectoral du 9 janvier 2025 (Plan de Protection de l'Atmosphère) :**

Article 11 : obligation de contrôles périodiques de chaudières de moins de 400 kW

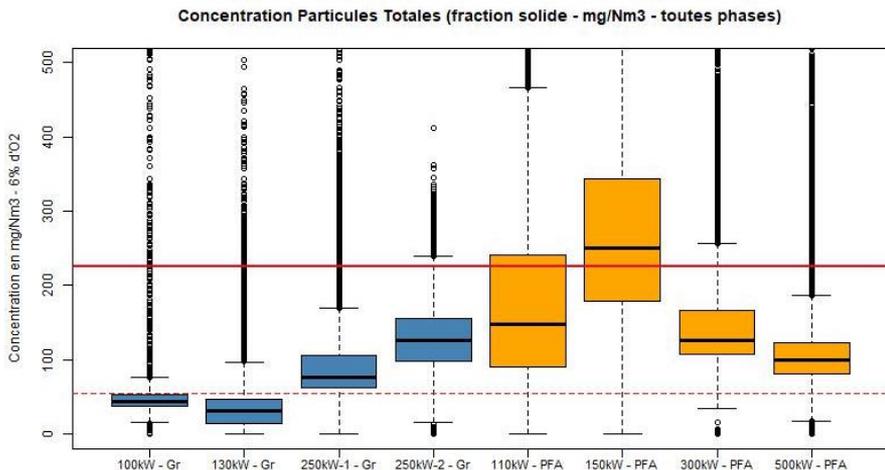
**Valeurs indicatives à l'émission pour les particules et oxydes d'azote (NOx)**

Article 17 : valeur limite à l'émission pour le monoxyde de carbone (CO)

- ❑ **Réglementation européenne d'écoconception** concernant les chaudières de puissances inférieures ou égales à 500 kW : valeurs limites d'émission avant la mise sur le marché des installations au 1<sup>er</sup> janvier 2020

# Valeur limite à l'émission : particules totales

Seuil indicatif de l'arrêté du 2 octobre 2009 de 225 mg/Nm<sup>3</sup> à 6% d'O<sub>2</sub> (ligne rouge)



Distribution des concentrations de particules totales pour les huit chaudières

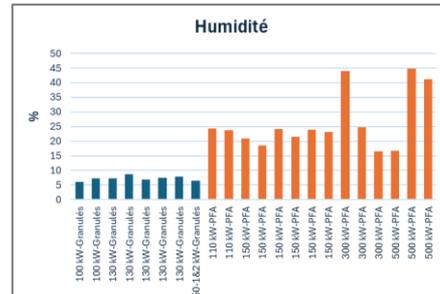
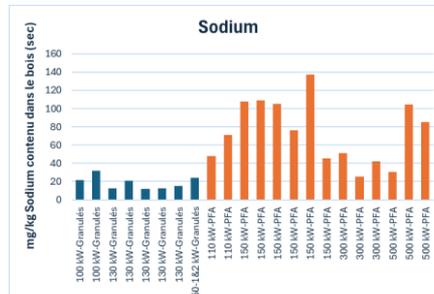
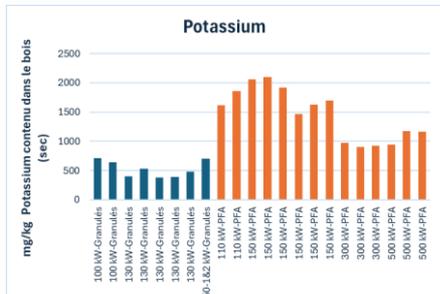
- ❑ Chaudières granulés et PFA de plus grosses puissances, dépassements très ponctuels, max. 4 % du temps
- ❑ Chaudières PFA de petites puissances, dépassement de 30 % à 60 % du temps
- ❑ Occurrence des dépassements : lors des phases transitoires de chauffe, principalement lors de la phase de « d'arrêt/baisse de charge »

## Hiérarchisation des facteurs d'influence des concentrations de particules

- ❑ **Excès d'air** : apport d'air trop important, entraîne une combustion incomplète (baisse de température du foyer)
- ❑ **Qualité du combustible** à travers la quantité de minéraux contenus dans le combustible et son taux d'humidité

Présence de sodium et de potassium dans le combustible favorise l'augmentation des concentrations de particules

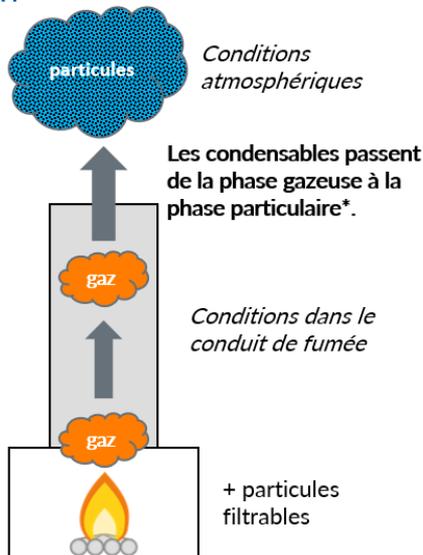
Combustible humide favorise les émissions de particules



Refroidissement  
et Dilution



Condensation



Émissions de composés condensables

❑ Chaudières < 500 kW instrumentées

Part de condensables comprise entre 10 % à 16 % des particules totales (solides et condensables)

❑ Faible par rapport au chauffage individuel au bois (données INERIS)

41 % pour les appareils respectant la directive écoconception

75% pour les appareils anciens à bûches et foyers ouverts

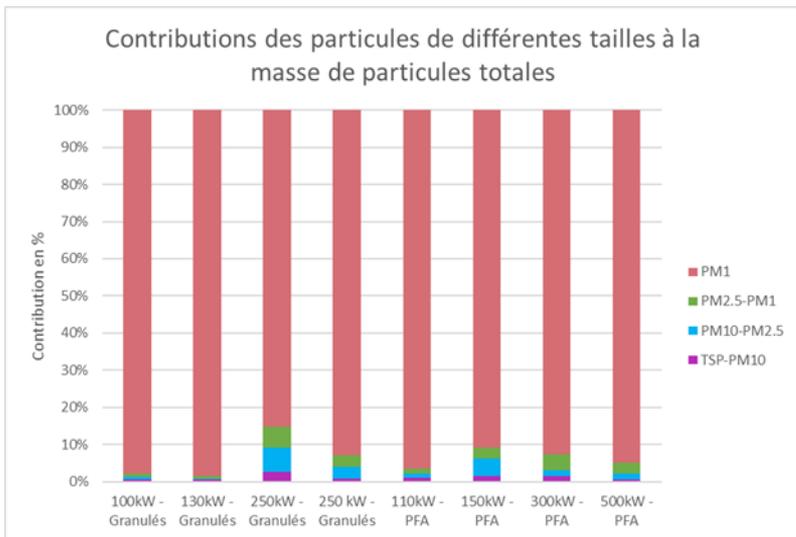
❑ Chaudière de puissance > 1,6 MW (INERIS)

quantités de particules solides et condensables très faibles

❑ Condition de combustion dégradée : part de particules condensables plus importante

## Gravimétrie : Mesure de la masse selon la taille des particules

Mesures ponctuelles pour chaque chaudière instrumentée

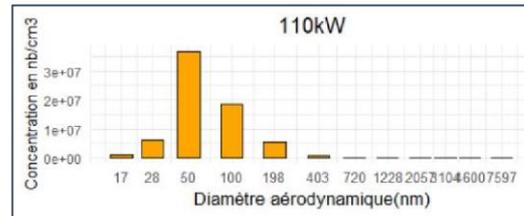


- ❑ Masse totale des particules liée à la masse des particules  $PM_{10}$  à hauteur de 85 % à 99 % selon les chaudières
- ❑ Contribution des  $PM_{10}$  à la masse totale importante aussi bien pour l'utilisation de granulés que de PFA

# Tailles des particules (en nombre)

**Granulométrie** – Classement des particules en nombre selon 12 classes de taille comprises entre 9 nanomètres et 7,6 micromètres

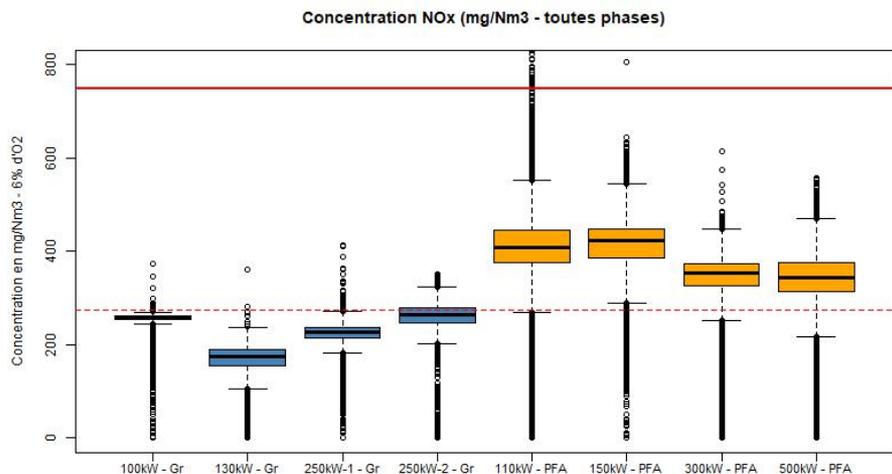
- Part du nombre de particules < à 100 nanomètres (PUF) comprise entre 86 % et 91 % hormis pour une chaudière (72 %) dont le nombre de particules est très faible



- « Mode majeur » = particules de tailles comprises entre 28 et 50 nm hormis pour 1 chaudière (50 – 100 nm) dont le nombre de particules est très faible

Cohérence des résultats avec mesure des PUF dans l'air ambiant en période hivernale  
« Mode source combustion de biomasse » = tailles comprises entre 70 et 100 nm → processus de coagulation, condensation et accumulation

Seuil indicatif de l'arrêté du 2 octobre 2009 de 750 mg/Nm<sup>3</sup> à 6% d'O<sub>2</sub> (ligne rouge)



Distribution des concentrations de NOx pour les huit chaudières

- ❑ Pas de dépassement de la valeur indicative hormis très ponctuellement sur la petite chaudière PFA (quelques minutes)

## Hiérarchisation des facteurs d'influence des concentrations de dioxyde d'azote

- ❑ **Type de combustible** : paramètre principal pour expliquer les différences de concentrations de NOx

Chaudières utilisant comme combustible les PFA = concentrations de NOx plus élevées que celles utilisant des granulés

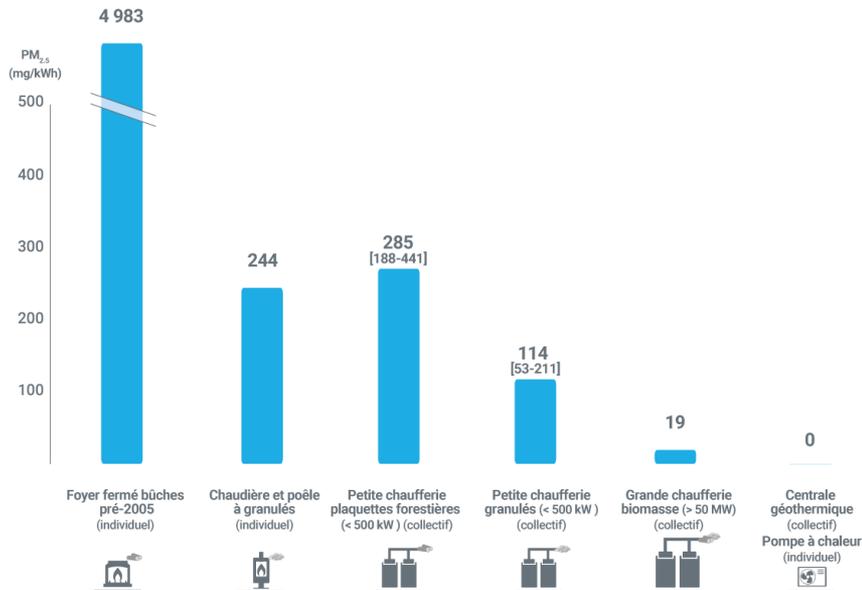
- ❑ **Puissance de la chaudière** : chaudières de petites puissances observent des concentrations de NOx plus importantes
- ❑ **Excès d'air** : Excès d'air important = température de foyer plus faible limitant la formation de NOx
- ❑ **Taux d'azote contenu dans les combustibles** : taux d'azote plus élevé dans les PFA engendre des concentrations de NOx plus élevées
- ❑ **Phase de chauffe** : phase « d'arrêt/baisse de charge » observe les teneurs les plus faibles

# Facteurs d'émissions de PM<sub>2.5</sub> en énergie utile

## Facteurs d'émissions associés à l'énergie utile fournie (mg/kWh) par les chaudières (prise en compte du rendement des chaudières)

### ÉMISSIONS DE PARTICULES FINES (PM<sub>2.5</sub>) DE DIFFÉRENTS MOYENS DE CHAUFFAGE

Émissions à chaleur fournie identique. Les valeurs entre crochets correspondent aux émissions moyennes minimales et maximales mesurées sur des chaufferies instrumentées par Airparif - Sources : données Airparif, ADEME, INERIS, CITEPA (2025)



- Facteurs d'émissions de PM<sub>2.5</sub> des chaufferies instrumentées au regard de ceux des poêles à granulés (à chaleur fournie identique)

Granulés : - 53 %

PFA : + 17 %

- Emissions 6 à 15 fois supérieures à celles des chaufferies > 50 MW
- Emissions largement supérieures à celles des équipements individuels utilisant d'autres énergies (fioul, gaz, électricité)



04

# REMERCIEMENTS

---

Un grand merci aux propriétaires et exploitants des chaufferies qui ont accepté les mesures et permis cette étude

Merci également à l'INERIS pour les échanges réguliers lors de l'interprétation des résultats.





## Chauffage domestique au bois

Quel impact sur la qualité de l'air  
en Île-de-France ?

Contact : [fabrice.joly@airparif.fr](mailto:fabrice.joly@airparif.fr) | 01 44 59 47 64



L'observatoire de l'air en Île-de-France

7 rue Crillon  
75004 Paris

[airparif.fr](http://airparif.fr)



[@Airparif](https://twitter.com/Airparif)



[facebook.com/Airparif.asso](https://facebook.com/Airparif.asso)



[Airparif](https://in.linkedin.com/company/airparif)



[airparif](https://airparif.instagram.com)