



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 206576 - 2740861 - v2.0

28/07/2022

## **Réévaluation des facteurs d'émission des particules totales (solide et condensable) du chauffage domestique au bois**

Impacts sur les inventaires d'émission

## **PRÉAMBULE**

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction Milieux et Impacts sur le Vivant

Rédaction : CEA Benjamin - COUVIDAT FLORIAN – CUNIASSE BENJAMIN

Vérification : FRABOULET ISALINE; COLETTE AUGUSTIN ; ALLEMAND NADINE

Approbation : Document approuvé le 28/07/2022 par MORIN ANNE

## Table des matières

1	Contexte .....	6
2	Méthodologie actuelle d'établissement des inventaires d'émission du chauffage résidentiel au bois .....	7
2.1	FE de TSP et classification d'appareils utilisés dans les inventaires européens (données TNO, Citepa et Lignes directrices EMEP 2019) .....	7
2.2	Méthodologie du Citepa pour établir l'inventaire national Français et son évolution au cours du temps .....	8
2.2.1	Données de parc .....	8
2.2.2	Facteurs d'émission de particules utilisés par le Citepa .....	9
2.3	Intérêts et limites associés aux méthodologies actuelles d'établissement des inventaires .....	9
2.3.1	Limites associées aux méthodes de prélèvement des émissions de particules et à l'absence de prise en compte de la fraction condensable .....	9
2.3.2	Intérêts et limites associés à la classification actuelle des appareils .....	10
3	Proposition et impact sur l'inventaire d'une nouvelle méthodologie .....	11
3.1	Bilan des données disponibles à l'Ineris en termes de facteurs d'émissions de TSP et de paramètres d'influence des émissions .....	11
3.1.1	Evolution des FE des TSP dans les études INERIS depuis 2001 .....	11
3.1.2	Principaux paramètres d'influence du FE des TSP .....	12
3.2	Proposition d'une nouvelle classification par l'Ineris .....	13
3.2.1	Par type, par avancée technologique et par allure de combustion .....	13
3.2.2	Synthèse des propositions de l'Ineris en termes de FE des TSP (solide + condensable) et de catégories d'appareils .....	16
3.3	Impacts sur l'inventaire national .....	18
3.3.1	Impacts de la mise à jour des catégories d'appareils .....	19
3.3.2	Impacts sur les facteurs d'émission résultants .....	23
3.3.3	Impacts sur les émissions de PM <sub>2,5</sub> .....	23
4	Conclusion .....	26
5	Annexes .....	28

## Liste des Figures

Figure 1 : Frise d'évolution des facteurs d'émission des TSP (solides + condensables) basée sur les études réalisées par l'INERIS de 2001 à 2019.....	11
Figure 2 : Evolution des FE des TSP exprimés en g/GJ selon les études Ineris, les inventaires du SINTEF et des lignes directrices EMEP 2019.....	15
Figure 3 : Evolution des rendements des appareils à partir des valeurs calculées avant et après renouvellement des appareils à bois chez les particuliers entre 2015 et 2019 (étude CARVE).....	16
Figure 4 : Evolution du nombre total d'appareils {bûches et granulés} de chauffage domestique au bois dans le parc français utilisé dans l'inventaire national entre 1990 et 2020 .....	20
Figure 5 : Evolution de la proportion des poêles selon les catégories d'appareils en %.....	21
Figure 6 : Evolution de la proportion des foyers fermés et inserts selon les catégories d'appareils en % .....	21
Figure 7 : Evolution de la proportion des chaudières selon les catégories d'appareils en %.....	22
Figure 8 : Répartition de la consommation totale de biomasse dans le secteur résidentiel en % . ....	22
Figure 9 : Evolution des facteurs d'émissions résultants (i.e. estimé à partir des consommations totales nationales) des particules (TSP) en g/GJ.....	23
Figure 10 : Evolution des émissions nationales de PM <sub>2,5</sub> liée à la combustion de bois dans le secteur résidentiel selon plusieurs méthodologies de calculs.....	24
Figure 11 : Evolution de la proportion des PM <sub>2,5</sub> liée à la combustion du bois dans le secteur résidentiel par rapport au total national selon plusieurs méthodologies de calculs .....	25

## Liste des Tableaux

Tableau 1 : Valeurs de FE des TSP exprimés en g/GJ dans les inventaires du TNO, du Citepa et dans le Guidebook EMEP 2019. ....	7
Tableau 2 : Rendement énergétique des différentes catégories et classes d'appareils du parc national – Méthodologie actuelle.....	8
Tableau 3 : Facteurs d'émission de TSP (hors condensables) – Méthodologie actuelle, (cité dans Autret et Rogaume 2011 : Etude Ineris 2008 : Évaluation de l'impact des appareils de chauffage à bois sur la qualité de l'air intérieur et extérieur).....	9
Tableau 4 : Valeurs des FE des TSP (solides + condensables) et des particules solides exprimées en g/GJ avant 2005 à nos jours définies par allure de combustion : nominale (AN), réduite (AR) ou non définies (AN et AR). ....	14
Tableau 5 : Correspondance entre la proposition de la nouvelle classification nationale et les différentes classifications des poêles à bois utilisées dans les inventaires du TNO, des lignes directrices EMEP 2019 et du Citepa illustrée selon la catégorie d'appareil (Tableau 5. A), les FE des TSP (Tableau 5. B).....	17

## Résumé

Les inventaires d'émissions de polluants des appareils de chauffage résidentiel au bois développés actuellement par la France et par les pays européens reposent sur un certain nombre de facteurs d'émissions (FE) par polluant dont les particules. Au sein de ces inventaires, les FE sont différenciés en fonction du type d'appareils et catégories d'appareils. Or, les FE actuels sont élaborés à partir de choix méthodologiques qui peuvent être différents induisant un impact sur l'inventaire. Ces choix portent sur :

- la manière de classer les types d'appareils selon leur performances énergétiques et en termes d'émissions (tels que les appareils conventionnels, anciens, récents, performants). Ces différentes notions peuvent manquer de définitions précises,
- la procédure de test des appareils (phases de combustion testées, types d'allure de combustion nominale ou réduite, qualité du combustible) et la méthode de prélèvement du polluant (avec ou sans condensables pour les émissions de particules) utilisées pour la détermination des facteurs d'émissions, l'information n'est pas toujours disponible.

Cette note présente :

- la méthodologie actuelle d'élaboration de l'inventaire d'émission national français,
- une proposition de révision de certains choix méthodologiques pour la France, en s'appuyant sur plusieurs études de l'Ineris réalisées depuis 2001, cette révision porte sur les FE des particules TSP (fractions solides + condensables) émises par les appareils de chauffage résidentiels au bois (poêles et foyers ouverts) en France depuis les années 1990 à nos jours,
- une réflexion sur une possible nouvelle classification des appareils dans l'inventaire national et de nouveaux FE qui prennent en compte :
  - les évolutions technologiques survenues en France depuis 1990 (<2005 : conventionnels ; 2005-2015 : Performants 1 ; 2015-2021 : Performants 2 et 2022 : Avancés/Eco-Design),
  - l'ensemble des TSP (*Total Suspended Particules* :solides et condensables),
  - l'usage de ces appareils selon l'allure de combustion (50 % nominale et 50 % réduite).

La nouvelle classification repose sur la description de quatre catégories d'appareils jugées plus représentatives du parc actuel que la classification retenue actuellement par le Citepa, auxquelles sont attribués des FE incluant les condensables :

- Appareils conventionnels (<2005),
- Appareils performants 1 - FV4\* à FV5\* (2005 – 2015),
- Appareils performants 2 – FV5\* à FV7\* (2015 – 2021),
- Appareils avancés, Eco-Design - FV7\* (à partir de 2022).

Cette proposition pourra être complétée par une catégorie poêle à granulés, dès que les données issues des projets en cours sur le sujet (le projet EPOCHAG notamment) seront disponibles.

L'impact de cette mise à jour méthodologique de deux natures différentes, évolution du parc et choix des facteurs d'émission (quatre ensembles de FE testés), a été évalué par le Citepa.

Cette étude d'impact a montré que la mise à jour méthodologique ne remet pas en cause l'atteinte des objectifs du PREPA pour les PM<sub>2,5</sub> en 2020 par rapport à 2005 quel que soit l'ensemble de FE choisi. Le Citepa propose de présenter ces choix méthodologiques (basé sur l'ensemble de FE 4) au GCIIIE (Groupe de Concertation et d'Information sur les Inventaires d'Emissions) en octobre 2022 pour validation.

## Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Réévaluation des facteurs d'émission des particules totales (solide et condensable) du chauffage domestique au bois, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 206576 - v2.0, 28/07/2022.

# 1 Contexte

Au sein des aérosols, les espèces dites « condensables » désignent les composés présents sous forme gazeuse dans le conduit de fumées qui se condensent lors de leur entrée dans l'atmosphère du fait de la dilution et du refroidissement des fumées. Les émissions de ces composés peuvent représenter *in fine* une part significative des concentrations de particules dans l'air ambiant, en particulier pour les émissions dues au chauffage au bois. Denier Van Der Gon *et al.*, (2015)<sup>1</sup> a montré que la plupart des inventaires se basaient sur des facteurs d'émissions n'incluant pas les condensables. Les auteurs ont estimé que les émissions européennes de particules pouvaient être sous-estimées d'un facteur 2. En utilisant les modèles de qualité de l'air EMEP et PMCAMx, ils ont montré que l'inclusion des émissions de condensables dues au chauffage au bois dans les inventaires d'émission pouvait mener à une augmentation de plus de 50% des concentrations simulées de particules.

En 2020, un groupe d'experts s'est réuni (Simpson *et al.*, 2020)<sup>2</sup> dans le cadre des travaux de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP) sur la question du traitement des condensables dans l'inventaire EMEP. Le groupe d'experts a recommandé que les condensables soient inclus dans les inventaires d'émissions de PM.

L'objectif de cette note est de présenter le détail du calcul des émissions de particules du chauffage au bois rapportées par la France et de proposer une évolution de la méthodologie qui reposerait sur des facteurs d'émissions (FE) incluant les fractions solide et condensable des aérosols émis par la combustion domestique du bois.

---

<sup>1</sup> Denier Van Der Gon, H. A. C. *et al.* (2015) 'Particulate emissions from residential wood combustion in Europe - revised estimates and an evaluation', *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(11), pp. 6503–6519. doi: 10.5194/acp-15-6503-2015.

<sup>2</sup> Simpson, D. *et al.* (2020) *How should condensables be included in PM emission inventories reported to EMEP/CLRTAP?*

## 2 Méthodologie actuelle d'établissement des inventaires d'émission du chauffage résidentiel au bois

### 2.1 FE de TSP et classification d'appareils utilisés dans les inventaires européens (données TNO, Citepa et Lignes directrices EMEP 2019)

Les appareils résidentiels de chauffage au bois présentent des émissions de particules qui peuvent varier selon un certain nombre de paramètres tels que le type d'appareil (poêles à bûche, poêles granulés/insert, foyers ouverts), l'ancienneté, la technologie interne (air secondaire, re combustion, ...), l'allure de la combustion (nominale ou réduite), le respect des bonnes pratiques (l'humidité du bois).

Aujourd'hui, les inventaires d'émissions chargés de référencer les émissions du secteur résidentiel ne tiennent pas forcément compte de tous ces paramètres qui peuvent faire varier les FE de façon importante. Dans les inventaires du TNO<sup>3</sup>, du Citepa et dans les lignes directrices EMEP 2019<sup>4</sup>, les appareils sont classés selon le type (poêles ou chaudière), le combustible utilisé et selon la catégorie ancienne, nouvelle/performante, avancée (voir Tableau 1).

Cependant, un tel classement présente des limites. En effet, il peut être délicat de comparer ces inventaires entre eux car les terminologies employées pour classer les différents appareils ne sont pas les mêmes. Il n'est donc pas certain que les appareils étiquetés « Old », « New » ou « Advanced » d'un inventaire donné correspondent bien aux appareils dits « Traditional/Conventional », « Improved/High Efficiency » ou « New » d'un autre inventaire.

Par ailleurs, le fait d'intégrer les émissions des condensables ou non, qui est intimement liée à la méthode de prélèvement utilisée, n'apparaît pas comme une information clairement identifiée dans les inventaires.

Ainsi, d'un côté ces inventaires peuvent diverger dans la manière d'identifier les appareils, et d'un autre, manquer de transparence sur la manière dont ont été obtenus les FE (méthodes de prélèvement incluant ou non les condensables).

Tableau 1 : Valeurs de FE des TSP exprimés en g/GJ dans les inventaires du TNO, du Citepa et dans le Guidebook EMEP 2019.

#### 1a) Facteurs d'émissions TNO étude de 2022

Technology	Poêles	Chaudières
Traditional	519	395
Improved	192	158
New	103	79
Pellet	26	35
Pelet+ESP	4	4

#### 1b) Facteurs d'émissions Citepa, décembre 2020

Technology	Poêles	Chaudières
Anciens	651	232.5
Nouveaux	241.8	93
Perfomants	13.2	46.5

<sup>3</sup> 20220131 PM small combustion France

<sup>4</sup> EMEP/EEA: air pollutant emission inventory guidebook 2019

1b) Facteurs d'émissions **Guidebook EMEP 2019 (p79 to p83): [Lien](#)**

Technology	Poêles	Chaudières
Conventional	800	500
High-efficiency	400	
Advanced / Ecolabelled	100	100
Pellet	62	62

Il apparaît donc nécessaire de réviser la méthodologie de classification des appareils résidentiels de chauffage au bois en France ainsi que les FE utilisés.

Le but de la révision de l'inventaire national est d'utiliser des FE de particules plus représentatifs de la réalité c'est-à-dire incluant les espèces condensables, de considérer les connaissances les plus récentes sur l'évolution des techniques de combustion et d'intégrer les pratiques des usagers.

## 2.2 Méthodologie du Citepa pour établir l'inventaire national Français et son évolution au cours du temps

### 2.2.1 Données de parc

Le parc d'appareils de combustion du bois dans le secteur résidentiel se décompose selon les catégories suivantes dans la méthodologie actuelle du Citepa :

- Chaudière ;
- Cuisinière ;
- Poêle ;
- Foyer fermé et insert ;
- Foyer ouvert.

Une distinction est également réalisée en fonction des classes suivantes (explications §3.4.1) :

- Appareil ancien (appareil mis sur le marché avant 1996) ;
- Appareil récent (appareil mis sur le marché après 1996) ;
- Appareil performant (appareil mis sur le marché à partir de 2001).

Les appareils considérés consomment du bois uniquement sous forme de bûches ou de granulés.

Les rendements énergétiques des différentes catégories et classes d'appareils sont présentés dans le Tableau 2 ci-dessous :

*Tableau 2 : Rendement énergétique des différentes catégories et classes d'appareils du parc national – Méthodologie actuelle.*

Rendement (%)	Chaudière	Cuisinière	Poêle	Foyer fermé et insert	Foyer ouvert
<b>Appareil ancien</b>	50	50	50	50	10
<b>Appareil récent</b>	70	60	60	60	
<b>Appareil performant</b>	85	80	80	75	

Note : les rendements énergétiques sont utilisés pour déterminer la consommation unitaire des appareils à partir des consommations unitaires présentées dans les enquêtes du CEREN exprimées par type d'usage utilisés pour l'inventaire.

Les facteurs d'émission utilisés dans les inventaires nationaux de SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> et N<sub>2</sub>O sont indépendants de la catégorie et de la classe d'appareil.

## 2.2.2 Facteurs d'émission de particules utilisés par le Citepa

Les facteurs d'émission de particules (hors condensables) actuellement pris en compte dans l'inventaire proviennent de l'étude réalisée par le Citepa en 2003 et sont calculés pour les appareils performants et récents à partir d'un « ratio de performance » provenant des travaux EGTEI/GAINS. Ces facteurs d'émission sont présentés dans le tableau suivant.

*Tableau 3 : Facteurs d'émission de TSP (hors condensables) – Méthodologie actuelle, (cité dans Autret et Rogaume 2011<sup>5</sup> : Etude Ineris 2008 : Évaluation de l'impact des appareils de chauffage à bois sur la qualité de l'air intérieur et extérieur).*

TSP (g/GJ)	Chaudières	Poêles	Cuisinières	FF/inserts	Foyers ouverts
Appareil ancien	250	700	700	700	750
Appareil récent	100	260	260	260	
Appareil performant	50	140	140	140	

Pour les émissions de particules liées aux granulés, un FE de 62 g/GJ provenant des lignes directrices EMEP/EEA est utilisé. Si la plupart de ces FE n'incluent pas les condensables, l'ordre de grandeur élevé des FE TSP pour les appareils anciens (poêles, cuisinières et foyers fermés/Inserts – 700 g/GJ) laisse supposer qu'ils partiellement inclus pour cette catégorie d'appareils.

La granulométrie appliquée pour les fractions de particules est la suivante :

PM<sub>10</sub> = 95 % TSP

PM<sub>2,5</sub> = 93 % TSP

PM<sub>1,0</sub> = 92 % TSP

## 2.3 Intérêts et limites associés aux méthodologies actuelles d'établissement des inventaires

### 2.3.1 Limites associées aux méthodes de prélèvement des émissions de particules et à l'absence de prise en compte de la fraction condensable

Le fait d'intégrer les émissions de condensables ou pas, qui est intimement lié à la méthode de prélèvement utilisée lors des mesures de concentrations de PM, n'est pas une information clairement identifiée dans les inventaires.

De manière générale, il existe 3 méthodes largement utilisées pour piéger les particules (voir Synthèse Ineris : DRC-17-164787-10342A).

- La première est la **méthode du filtre chauffé (EN16510 ou méthode EN\_PME\_TEST)** : l'échantillon prélevé dans le conduit de fumées est filtré à chaud. La masse de particules recueillie est déterminée par gravimétrie et ne représente que la fraction solide.

Contrairement à la méthode du filtre chauffé qui ne collecte que la fraction solide, les deux méthodes suivantes ont l'avantage de mesurer à la fois la fraction solide et condensable des particules.

---

<sup>5</sup> Autret et Rogaume, 2011 : Production de chaleur à partir de bois - Émissions atmosphériques. Notions de base. *Technique de l'ingénieur*

- **La méthode par filtration à chaud suivie d'un piégeage par barbotage** la fraction condensable basée sur la méthode US EPA 5H. Après évaporation de l'eau ou du solvant de barbotage (Méthode INERIS dans l'isopropanol), la masse de particules collectée est additionnée à celle mesurée sur le filtre. Elle permet d'avoir une distinction des 2 fractions : solide et condensable
- La méthode par filtration après passage des fumées dans un **tunnel de dilution (NS 3058)** : la totalité des fumées sortant du foyer est collectée et diluée avec de l'air ambiant via une hotte d'aspiration (tunnel de dilution), un échantillonnage sur filtre est ensuite effectué. Du fait de la dilution, la température décroît et les espèces condensables se transforment en aérosols. Un échantillon est prélevé dans le tunnel de dilution et filtré. Contrairement à la méthode précédente, celle-ci ne permet pas de distinguer la contribution des 2 fractions.

## 2.3.2 Intérêts et limites associés à la classification actuelle des appareils

### 2.3.2.1 Classification EMEP :

La méthodologie de classification des appareils des lignes directrices EMEP 2019 (Tableau 1) pourrait être utilisée comme modèle. En effet, les terminologies de classification utilisées dans les lignes directrices font référence au degré de technologie intrinsèque des appareils et la classification d'un appareil dans telle ou telle catégorie dépend principalement de trois paramètres :

1. l'efficacité ou rendement énergétique,
2. l'autonomie entre deux chargements en combustible,
3. le niveau d'émission induit par une combustion incomplète.

Ainsi, le terme « **Conventional** », fait référence aux poêles radiants classiques avec un rendement entre **40 et 50%**, une autonomie entre deux chargements allant de **3h à 8h** et avec un fort niveau d'émission en **CO, COVNM, TSP et HAP**.

Sous le terme « **High-efficiency** », figurent les poêles traditionnels avec une meilleure utilisation de l'air secondaire dans la chambre de combustion. Leur rendement est compris entre **55 % et 75 %** et les émissions de polluants sont plus faibles, leur autonomie varie de **6 à 12 heures**. Ces poêles ont l'avantage de pouvoir être équipés d'un convertisseur catalytique afin de réduire les émissions dues à une combustion incomplète.

Enfin le terme « **Advanced** », fait référence aux poêles caractérisés par des entrées d'air multiples et le préchauffage de l'air de combustion secondaire par échange de chaleur avec les gaz de combustion chauds. Ce niveau de conception se traduit par une efficacité accrue (**près de 70 % à pleine charge**) et une **réduction des émissions de CO, TSP et de COVNM** par rapport aux poêles traditionnels. Au sein des poêles associés au terme « **Advanced** », figurent aussi ceux commercialisés sous un système d'éco labellisation qui vise à définir une meilleure efficacité et limiter les émissions. Plusieurs systèmes sont en place, tels que le label Flamme verte (en France).

Une piste de révision de l'inventaire d'émission national pourrait donc être de confronter ces trois terminologies (Conventionnel, Performant et Avancé) aux avancées technologiques des appareils du parc français survenues depuis les années 1990 dans le but de redéfinir l'évolution des FE des TSP de manière plus précise que ce qui est fait actuellement. Ce travail est présenté dans les § 3.4 et 3.5 de cette note.

### 2.3.2.2 Classification Citepa

Les limites du classement Citepa est **1)** qu'il ne permet pas une réelle distinction (telle que présentée dans les lignes directrices EMEP 2019) entre les poêles à bois, **2)** que l'année charnière 1996 ne reflète pas l'évolution technologique des appareils en France, **3)** que la qualification « Performant » n'est pas assez précise pour identifier le type de poêles correspondant **4)** que l'allure de combustion n'est pas bien considérée, les FE utilisés ne reflètent pas l'usage réel des appareils et **5)** que les FE peuvent être sous-estimés selon la méthode de prélèvement des particules utilisées, ainsi, dans les études Ineris d'avant 2009 sur lesquelles sont basées certaines données du Citepa, les FE des particules calculés ne prenaient en compte que la fraction solide car la méthode de prélèvement utilisée était celle du filtre chauffé (voir §3.3 ci-dessus).

### 3 Proposition et impact sur l'inventaire d'une nouvelle méthodologie

#### 3.1 Bilan des données disponibles à l'Ineris en termes de facteurs d'émissions de TSP et de paramètres d'influence des émissions

##### 3.1.1 Evolution des FE des TSP dans les études INERIS depuis 2001

Depuis l'année 2001, plusieurs études réalisées par l'INERIS sur les émissions de particules des appareils résidentiels de chauffage au bois (Etude 2001<sup>6</sup>, Etude AFAC 2015<sup>7</sup>, Etude IDENTTECH 2016<sup>8</sup>, Etude ERFI 2016<sup>9</sup>, Etude CARVE 2019<sup>10</sup>) ont permis de calculer des FE. A partir de 2009, Ces FE des TSP ont évolué à la baisse avec le temps au gré des avancées technologiques des appareils résidentiels de chauffage au bois arrivant sur le marché national. La frise de la Figure 1 illustre l'évolution des FE des TSP incluant les condensables calculés dans les différentes études INERIS depuis 2001 au regard de ceux obtenus dans des conditions analogues dans des études US EPA et du SINTEF (Norvège).

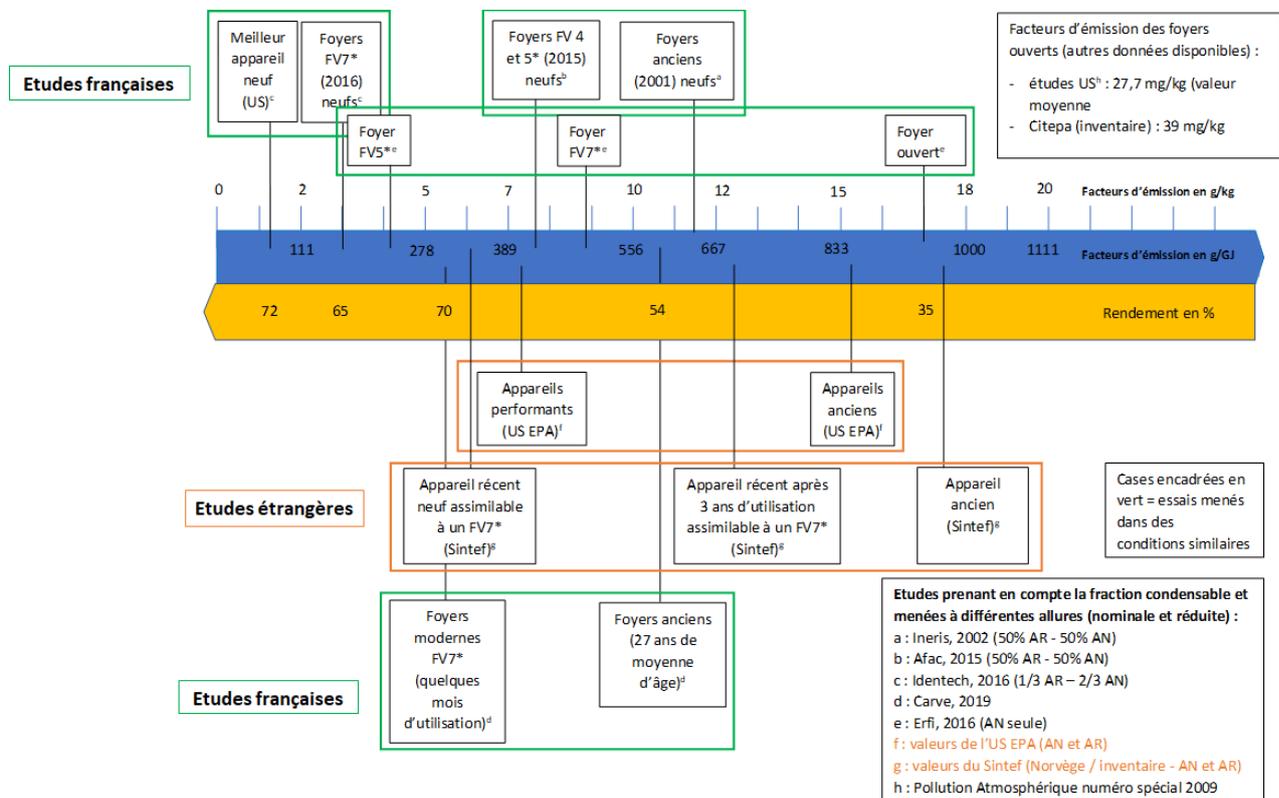


Figure 1 : Frise d'évolution des facteurs d'émission des TSP (solides + condensables) basée sur les études réalisées par l'INERIS de 2001 à 2019.

Encadrés verts : études françaises. Encadrés oranges : études étrangères

<sup>6</sup> Ineris : DRC-02-25420-AIRE-n°271-SCo

<sup>7</sup> Ineris : DRC-15-135959-11296A

<sup>8</sup> Ineris : DRC-16-135957-02814A

<sup>9</sup> Ineris DC-16-155779-09860A

<sup>10</sup> Ineris : DRC-19-146451-03830A

Sur cette frise, l'étude CARVE qui consistait à évaluer l'impact sur les émissions du renouvellement des anciens appareils de 35 particuliers dans la vallée de l'Arve, montre des résultats avant et après renouvellement qui témoignent d'une baisse significative depuis 2001 des FE des TSP allant d'environ 600 g/GJ pour les appareils anciens (< avant 2005) à 280 g/GJ pour les appareils les plus récents (après 2015 et labellisés FV 7\*). Cette étude indique aussi que les foyers remplacés étaient caractérisés par une durée d'utilisation de 27 ans en moyenne.

De la même manière, l'étude réalisée de 2001 et l'étude AFAC de 2015 sur un échantillon de plusieurs appareils à bois de technologies de 2001 et 2015, respectivement montre également une évolution à la baisse des FE des TSP de 640 g/GJ à environ 400 g/GJ.

### 3.1.2 Principaux paramètres d'influence du FE des TSP

Parmi les paramètres pouvant influencer le FE des TSP issues des appareils résidentiels de combustion au bois (voir Synthèse INERIS sur les études à l'émission sur la combustion du bois en foyers domestiques<sup>11</sup>), trois principaux peuvent être distingués comme impactant fortement la quantité des émissions de particules :

- L'humidité du bois,
- L'allure de la combustion : nominale ou réduite,
- La maintenance de l'appareil.

Les études réalisées sur l'influence de l'humidité signalent toutes que les émissions de polluants augmentent lorsque le taux d'humidité du bois dépasse environ 22 % (% H sur masse brute). L'influence de l'humidité du bois, entre 22 % et 30 %, sur les TSP est comparable à celle du type d'appareil (ancienne/nouvelle génération)<sup>12</sup>. L'utilisation d'un combustible sec (taux d'humidité inférieur à 22% sur masse brute) est donc préconisée<sup>13</sup>.

**Les pratiques des usagers** et notamment **l'allure de combustion** (réduction des entrées d'air pour limiter la puissance délivrée par l'appareil) ne sont pas identifiées dans les inventaires alors qu'il s'agit du principal facteur d'influence. Les études montrent qu'une allure **réduite** peut augmenter d'un facteur 3 les FE (Etude 2001<sup>14</sup>, AFAC 2015<sup>15</sup> et CARVE 2019<sup>16</sup>). Le rapport Ademe sur les connaissances des usages liés au chauffage domestique au bois en France (ADEME 2018)<sup>17</sup> montre qu'une part significative des usagers (25%) manipulent leurs appareils afin d'obtenir un feu au ralenti dit en « mode nuit » ou diminuent l'arrivée d'air (24%) pour limiter l'apport de chaleur. Ces deux pratiques peuvent s'apparenter à une allure réduite. **Aussi, nous proposons dans un premier temps, que dans les inventaires d'émission, les FE des TSP soient calculés selon 50% d'allure nominale et 50% d'allure réduite.**

Le troisième paramètre qui influence significativement les émissions est **l'entretien des appareils** dans le temps. Ainsi dans l'inventaire du SINTEF, encadré orange Figure 1 (Seljeskog *et al.*, 2017<sup>18</sup>; Seljeskog, *et al.*, 2017<sup>19</sup>), il est montré que l'absence de maintenance d'un l'appareil pendant 3 ans peut faire augmenter le FE des TSP d'environ 45%. Alors qu'en France, le ramonage des conduits, l'enlèvement et l'évacuation des cendres sont relativement bien respectés par la majorité des usagers, **le changement du joint d'étanchéité de la porte** l'est beaucoup moins (ADEME *et al.*, 2018)<sup>15</sup>.

---

<sup>11</sup> Synthèse Ineris : DRC-17-164787-10342A

<sup>12</sup> Rapport Ademe : Qualicomb 2016

<sup>13</sup> Rapport Ademe : Bois énergie et qualité de l'air – Les avis de l'Ademe 2015.

<sup>14</sup> Ineris : DRC-02-25420-AIRE-n°271-SCo

<sup>15</sup> Ineris: DRC-15-135959-11296A

<sup>16</sup> Ineris: DRC-15-135959-11296A

<sup>17</sup> Rapport Ademe *et al.* (2018) 'CONNAISSANCE DES USAGES LIÉS AU CHAUFFAGE DOMESTIQUE AU BOIS EN FRANCE - Enquête sur les pratiques d'utilisation des équipements domestiques de chauffage au bois', p. 53.

<sup>18</sup> Seljeskog, M. *et al.* (2017) 'Variables Affecting Emission Measurements from Domestic Wood Combustion', *Energy Procedia*. The Author(s), 105(1876), pp. 596–603. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.361.

<sup>19</sup> Seljeskog, M., Goile, F. and Skreiberg, O. (2017) 'Recommended Revisions of Norwegian Emission Factors for Wood Stoves', *Energy Procedia*. The Author(s), 105(1876), pp. 1022–1028. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.447.

Or, l'usage répété des appareils engendre des déformations et un vieillissement des joints d'étanchéité qu'il est important de remplacer afin d'éviter des entrées d'air non maîtrisées dégradant la qualité de la combustion et entraînant alors l'augmentation des émissions. L'étude CARVE<sup>14</sup> montre que 30% des appareils anciens présentaient des excès d'air importants ce qui représentaient 80% des émissions.

## 3.2 Proposition d'une nouvelle classification par l'Ineris

### 3.2.1 Par type, par avancée technologique et par allure de combustion

En se basant sur l'historique de l'évolution technologique des appareils de combustion résidentiels au bois du parc français depuis 1990 à nos jours, il est possible d'identifier les catégories suivantes :

- **les appareils avant 2005** peuvent être considérés comme **conventionnel/ancien**. Il y a en effet eu très peu d'évolution technologique en France des appareils de combustion domestique avant cette année,
- **A partir de 2005**, la technologie des appareils commence à évoluer de façon notable. Entre 2005 et 2010 l'arrivée sur le marché français d'appareils plus **performants**, équipés d'une introduction d'air secondaire dans la chambre de combustion (type FV 5\*) mène à un saut technologique qui permet de réduire les émissions de particules lors de certaines phases de combustion,
- **A partir de 2015**, la vente des appareils FV4\* et des appareils plus anciens est interdite, tous les appareils vendus (ou quasi) sont alors équipés d'un système de post-combustion (air secondaire - appareils **performants**)
- **Entre 2015 et 2021**, évolution constante des appareils (préchauffage de l'air secondaire, meilleure répartition des entrées d'air, meilleure étanchéité de la chambre notamment), sans changement technologique majeur (FV 7\* : amélioration des appareils **performants** FV5\*),
- **2022** : tous les appareils commercialisés respectent les critères Eco-design (au plus 5 g/kg soit 278 g/GJ). Pour les **appareils à combustion avancée**, la barre est à mettre à ce niveau. Il existe des appareils de ce type (notamment étrangers) depuis les années 2005 environ.

Selon cette nouvelle classification qui prend en compte les évolutions technologiques (label Flamme Verte, air secondaire,...), il est possible de redéfinir le classement des appareils de chauffage résidentiel au bois (poêles et inserts) en incluant également les allures de combustion et en considérant la fraction condensable des particules.

Quand cela ne s'avère pas possible de définir les FE des TSP en fonction de l'allure de combustion, il est possible d'estimer dans un premier temps une utilisation avec 50% d'allure nominale (AN) et 50% d'allure réduite (AR).

A partir de ces hypothèses, il est possible de proposer un nouveau classement présenté dans le tableau 4 associé à des facteurs d'émissions de particules incluant les condensables.

Tableau 4 : Valeurs des FE des TSP (solides + condensables) et des particules solides exprimées en g/GJ avant 2005 à nos jours définies par allure de combustion : nominale (AN), réduite (AR) ou non définies (AN et AR).

TSP (solide + condensable) (g/GJ)	Poêles à bois/Inserts				Foyers Ouverts
	Conventionnels (avant 2005)	Performants 1 (2005 – 2015, FV4* et FV5*)	Performants 2 (2015 – 2021, FV5*en FV7*)	Avancés (2022, Eco design = FV7*)	
<b>AN et AR</b>	639* 590 <sup>b</sup>	417 <sup>a</sup>	282 <sup>b</sup>	128 <sup>c</sup>	932 <sup>d</sup>
<b>AN</b>	582*	271 <sup>a</sup>	141 <sup>e</sup>	114 <sup>c</sup>	-
<b>AR</b>	700*	563 <sup>a</sup>	423 <sup>e</sup>	148 <sup>c</sup>	-

Particules solides (g/GJ)	Poêles à bois/Inserts				Foyers Ouverts
	Conventionnels (avant 2005)	Performants 1 (2005 – 2015, FV4* et FV5*)	Performants 2 (2015 – 2021, FV5*en FV7*)	Avancés (2022, Eco design = FV7*)	
<b>AN et AR</b>	100 331 <sup>b</sup>	142 <sup>a</sup>	144 <sup>b</sup>	76 <sup>c</sup>	253 <sup>d</sup>
<b>AN</b>	43*	101 <sup>a</sup>	72 <sup>e</sup>	85 <sup>c</sup>	-
<b>AR</b>	161*	183 <sup>a</sup>	216 <sup>e</sup>	80 <sup>c</sup>	-

\*, Estimations à partir de corrélations basées sur les résultats de l'étude Ineris 2001<sup>20</sup> (fraction solide)

a, Etude Ineris : AFAC 2015<sup>21</sup>

b, Etude Ineris : CARVE 2019<sup>22</sup>, estimations à partir de corrélations

c, Etude Ineris : IDENTECH 2016<sup>23</sup>

d, Etude Ineris : ERFI 2016<sup>24</sup>

e, estimation selon 50% allure nominale et 50% allure réduite.

Les valeurs des FE de la première ligne du Tableau 4 (AN et AR) pour les différentes classes d'appareils et selon les années, indiquent qu'avec l'apparition des nouveaux appareils, une diminution d'environ 2,5% des par an est observée depuis les années 1990 (voir Figure 2).

<sup>20</sup> Ineris: DRC-02-25420-AIRE-n°271-SCo

<sup>21</sup> Ineris: DRC-15-135959-11296A

<sup>22</sup> Ineris: DRC-19-146451-03830A

<sup>23</sup> Ineris: DRC-16-135957-02814A

<sup>24</sup> Rapport Ineris : Etude ERFI, DRC-16-155779-09860A

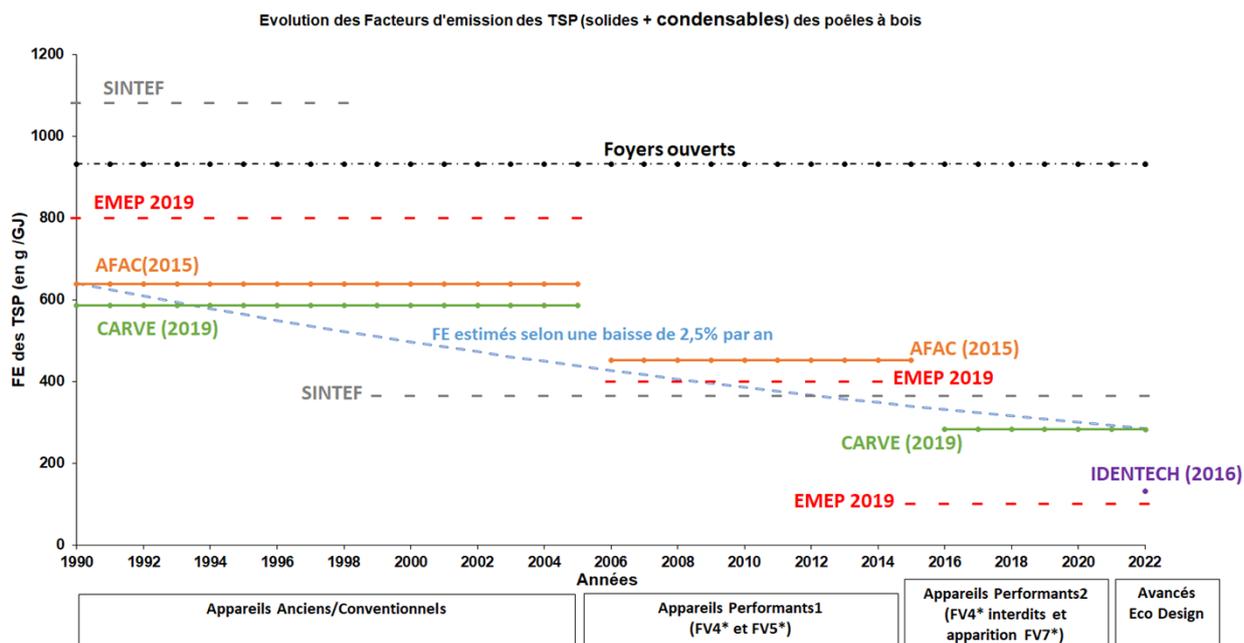


Figure 2 : Evolution des FE des TSP exprimés en g/GJ selon les études Ineris, les inventaires du SINTEF et des lignes directrices EMEP 2019

Cette diminution du FE des TSP de 2,5% par an correspond à une tendance qui a été obtenue à partir des FE calculés dans les études Ineris produites depuis les années 2001. Cette tendance de diminution observée semble tendre vers un FE des TSP de 280 g/GJ qui est compris entre celui de l'inventaire SINTEF (364 g/GJ) et celui de l'inventaire des lignes directrices EMEP 2019 (100 g/GJ).

**Un exercice identique pour les poêles et chaudières à granulés pourra également être entrepris fin 2022 lors de la publication du rapport du projet ADEME EPOCHAG<sup>25</sup> qui traite notamment des émissions des particules issues des poêles et chaudières à granulés.**

Enfin, l'étude IDENTTECH montre des FE parmi les plus faibles (environ 130 g/GJ) qui sont proches des valeurs des lignes directrices EMEP 2019 et du Citepa pour les appareils performants. Toutefois, cette valeur est à considérer avec précaution car les 4 appareils testés étaient parmi les appareils les plus performants du marché au moment de l'étude. Ces appareils n'étaient donc pas forcément représentatifs de l'ensemble du parc français de l'époque.

Le rendement des appareils est aussi une donnée nécessaire pour l'inventaire. Or, les progrès technologiques des appareils ont également conduit à une amélioration des rendements des appareils au cours du temps.

Lors de l'étude CARVE menée chez 35 particuliers de la vallée de l'Arve entre 2015 et 2019, les rendements des appareils ont été estimés à partir de la formule de calcul de la norme NF EN 16510, en prenant en compte les résultats des mesures suivantes : humidité du bois, température des fumées, température ambiante, teneurs en CO et CO<sub>2</sub> des fumées, ainsi que les caractéristiques connues des essences de bois brûlés (hêtre essentiellement, pouvoir calorifique inférieur (PCI) : 18380 kJ/kg sec). Pour les granulés, les caractéristiques n'étant pas connues précisément, une humidité de 7 % et un pouvoir calorifique inférieur de 17 774 kJ/kg sec ont été pris en compte.

A partir des résultats des rendements obtenus dans cette étude (54% pour les appareils anciens, 70% pour les appareils récents à bûche et 88% pour les appareils récents à granulés), il est possible d'estimer un gain d'environ + 1,2% par an pour les rendements des appareils à granulés (dans le cas du remplacement d'un appareil ancien à bûches par un appareil à granulés) et d'environ +0,7% par an pour les rendements des appareils à bûche depuis les années 1990 à nos jours (voir Figure 3).

<sup>25</sup> Rapport Ineris en préparation : Devenir atmosphérique des émissions des poêles et chaudières à granulés (EPOCHAG)

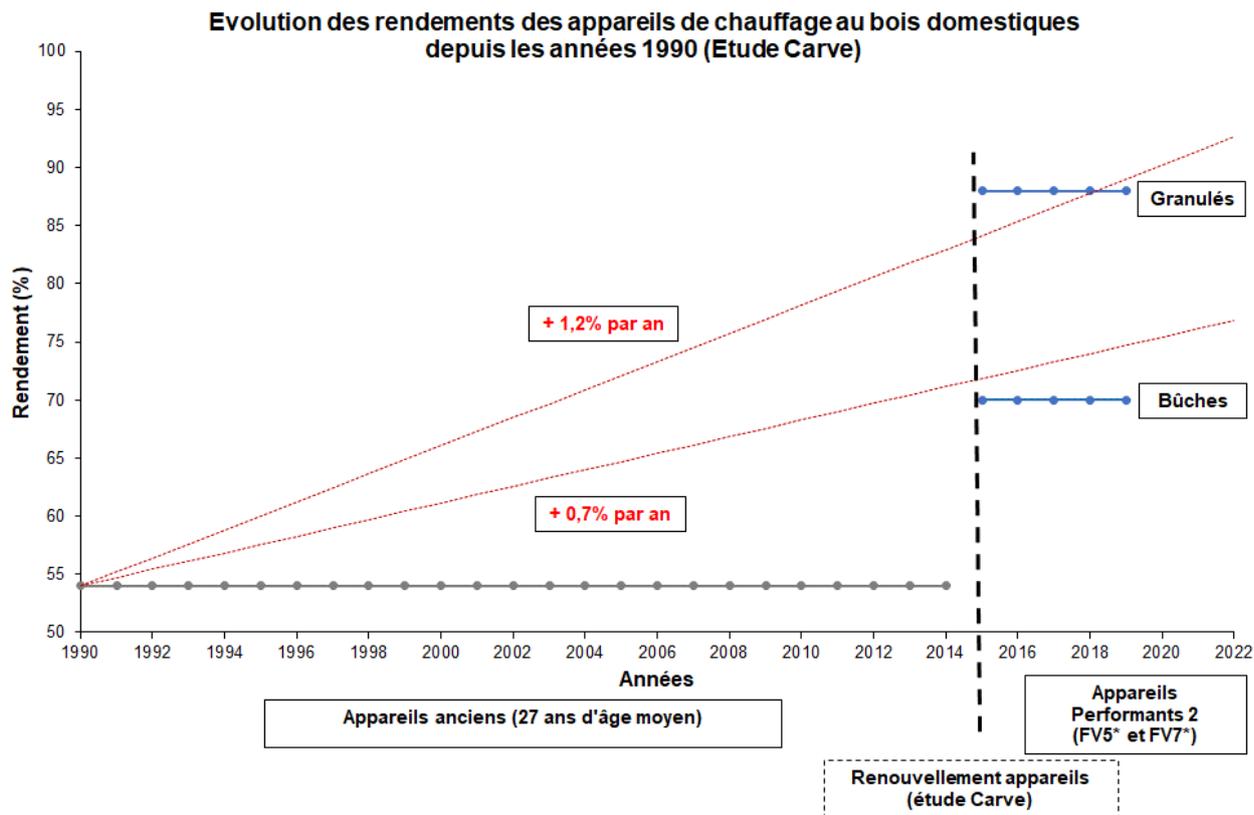


Figure 3 : Evolution des rendements des appareils à partir des valeurs calculées avant et après renouvellement des appareils à bois chez les particuliers entre 2015 et 2019 (étude CARVE).

Ainsi, avec les gains au niveau des rendements apportés par les nouveaux appareils mis sur le marché, la charge de bois nécessaire pour atteindre les puissances nominales des poêles annoncés par les constructeurs se voit réduite progressivement, favorisant ainsi une baisse de la consommation énergétique de la ressource bois et donc des émissions.

### 3.2.2 Synthèse des propositions de l’Ineris en termes de FE des TSP (solide + condensable) et de catégories d’appareils

En se basant sur les études citées dans cette partie 3, l’Ineris propose une nouvelle classification des appareils avec les FE des TSP (solide + condensable) associés. Cette proposition de classification et les FE correspondants sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5 : Correspondance entre la proposition de la nouvelle classification nationale et les différentes classifications des poêles à bois utilisées dans les inventaires du TNO, des lignes directrices EMEP 2019 et du Citepa illustrée selon la catégorie d'appareil (Tableau 5. A), les FE des TSP (Tableau 5. B).

A.

Catégories	TNO (Klimont et al. 2002)	Guidebook EMEP 2019	Citepa (classification nationale actuelle)	Proposition de la nouvelle classification nationale
No Control	Traditional	Conventional	Anciens (< 1996)	Conventionnels (<2005)
Improved	Improved	High-Efficiency	Nouveaux (> 1996)	Performants 1 - FV4* à FV5* (2005 – 2015)
			Performants (après 2001)	Performants 2 – FV5* à FV7* (2015 – 2021)
New	New	Advanced		Avancés, Eco-Design - FV7* (à partir de 2022)

B.

FE TSP	TNO (Klimont et al. 2002)	Guidebook EMEP 2019	Citepa (classification nationale actuelle)	Proposition de la nouvelle classification nationale
				<b>solide+condensable</b>
No Control	519	800	651	590 AN: 295 – AR:885
Improved	192	400	242	417 AN: 271 – AR:563
			130	282 AN: 141 – AR: 423
New	103	100		128 AN : 114 – AR : 148

AN – AR : 50% Allure Nominale – 50% Allure Réduite.

**Traditional stoves =** Ce sont les poêles de chauffage traditionnels utilisant le bois ou le charbon comme combustible. Ils ont une conception de foyer simple à base de grille avec généralement une seule alimentation en air primaire et aucun élément de stockage de la chaleur (**TNO**).

**Conventional stoves =** Ce sont des poêles avec un faible rendement (40 à 50%) et des émissions importantes émises lors d'une combustion incomplète de polluants tels que les TSP, le CO, les COVN et les HAP (**EMEP 2019**).

**High efficiency stoves =** Ce sont des poêles traditionnels améliorés avec l'utilisation d'air secondaire dans la chambre de combustion. Cette catégorie renferme aussi les poêles anciens munit d'un convertisseur catalytique pour limiter les émissions lors d'une combustion dégradée (**EMEP 2019**).

**Improved stoves =** Ce sont des poêles améliorés disposant d'une alimentation en air secondaire et d'éléments de stockage de la chaleur dans la construction du foyer qui améliorent les performances de combustion et réduisent les émissions de particules par rapport aux poêles traditionnels (**TNO**).

**Advanced stoves =** Ce sont des poêles caractérisés par des entrées d'air multiples et le préchauffage de l'air de combustion secondaire par échange de chaleur avec les gaz de combustion chauds. Cette conception se traduit par une

efficacité accrue (près de 70 % à pleine charge) et une réduction des émissions de CO, de COVNM et de TSP par rapport aux poêles conventionnels. (EMEP 2019).

**New stoves =**

Ce sont les poêles les plus les plus avancés du marché avec des caractéristiques de foyer, de construction et de circulation d'air et qui optimisent l'efficacité de la combustion (**TNO**).

### 3.3 Impacts sur l'inventaire national

Le Citepa a évalué les impacts des changements méthodologiques proposés. Ceux-ci sont de deux natures bien distinctes :

- d'une part le décalage dans le temps des appareils moins émissifs tel que présenté dans le paragraphe 3.2.1 ;
- d'autre part, la modification des facteurs d'émissions actuels (**Error! Reference source not found.**) : l'impact de quatre ensembles de facteurs d'émissions a été évalué :
  - a) Les facteurs d'émissions de particules solides et condensables provenant de la méthode Tier 2 du guide EMEP/EEA 2019.

TSP (solide+ condensable)	Appareils à bûches					Appareil à granulés
	Chaudières	Poêles	Cuisinières	Inserts	Foyers ouverts	
	g/GJ					
appareil ancien (<2005)	500	800	800	800	880	
appareil récent (≥2005)	300	400	400	400		
appareil performant (2015-2021)	100	100	100	100		62

Aucun facteur d'émission n'étant disponible dans le guide EMEP/EEA 2019 pour des chaudières aux performances intermédiaires, le facteur d'émission TSP des chaudières dites « récentes » a été défini à partir de la moyenne des chaudières dites « anciennes » et « performantes ».

- b) Les facteurs d'émissions de particules solides issues des études de l'Ineris.

TSP solides	Appareils à bûches					Appareil à granulés
	Chaudières	Poêles	Cuisinières	Inserts	Foyers ouverts	
	g/GJ					
appareil ancien (<2005)	170	331	331	331	253	
appareil récent (≥2005)	112	144	144	144		
appareil performant (2015-2021)	54	144	144	144		32

Pour les chaudières et les appareils à granulés, les FE des particules solides proviennent de la version mise à jour en juillet 2017 du guide EMEP/EEA 2016 (le guide 2019 le plus récent ne présente pas le détail entre particules totales et particules solides).

Aucun facteur d'émission n'étant disponible dans le guide EMEP/EEA 2019 pour des chaudières aux performances intermédiaires, le facteur d'émission TSP des chaudières dites « récentes » a été défini à partir de la moyenne des autres types de chaudières.

- c) Les facteurs d'émissions de particules totales issues des études de l'Ineris

TSP (solide+condensable)	Appareils à bûches					Appareil à granulés
	Chaudières	Poêles	Cuisinières	Inserts	Foyers ouverts	
	g/GJ					
appareil ancien (<2005)	500	590	590	590	932	
appareil récent (≥2005)	300	417	417	417		
appareil performant (2015-2021))	100	282	282	282		62

Aucun facteur d'émission n'étant disponible dans le guide EMEP/EEA 2019 pour des chaudières aux performances intermédiaires, le facteur d'émission TSP des chaudières dites « récentes » a été définie à partir de la moyenne des autres types de chaudières.

- d) Les facteurs d'émissions de particules solides et condensables issues des études de l'Ineris à l'exception des poêles et inserts anciens pour lesquels on utilise un FE issu du Guide EMEP/EEA 2019 (cela permet d'éviter un écart important aux lignes directrices sur ce type d'appareils).

TSP (solide+ et condensable)	Appareils à bûches					Appareil à granulés
	Chaudières	Poêles	Cuisinières	Inserts	Foyers ouverts	
	g/GJ					
appareil ancien (<2005)	500	800	800	800	932	
appareil récent (≥2005)	300	417	417	417		
appareil performant (2015-2021))	100	282	282	282		62

Aucun facteur d'émission n'étant disponible dans le guide EMEP/EEA 2019 pour des chaudières aux performances intermédiaires, le facteur d'émission TSP des chaudières dites « récentes » a été définie à partir de la moyenne des autres types de chaudières.

Cet ensemble de FE sera proposé par le Citepa au GCIE (Groupe de Concertation et d'Information sur les Inventaires d'Emissions) en octobre 2022.

Les hypothèses de granulométrie sont restées inchangées, à savoir 95 % de PM<sub>10</sub> au sein des TSP et 93 % de PM<sub>2,5</sub> au sein des TSP.

Des évolutions méthodologiques ultérieures pourront tenter de prendre mieux en compte l'impact de l'évolution de l'usage des appareils sur les émissions (allure, allumage, humidité du bois, etc...) en faisant l'hypothèse qu'une meilleure information du public permettra une amélioration des usages (éviter les allures réduites) mais aussi la mise sur le marché d'appareils ne permettant plus les réglages inadaptés. Cela pourrait avoir un impact important sur l'évolution des émissions.

### 3.3.1 Impacts de la mise à jour des catégories d'appareils

Hypothèses adaptées pour l'inventaire national :

- La dernière catégorie d'appareils liées à la réglementation Eco-conception n'a pas encore été implémentée dans les calculs car elle apparaîtra dans le parc en 2022 seulement. Elle pourra l'être lorsque le Citepa sera amené à travailler sur des projections ou dès l'année prochaine dans les inventaires historiques.
- Les appareils dit « récents » dans les inventaires nationaux, désormais assimilés aux FV 4 et 5\*, apparaissent donc à partir de 2005 dans les ventes annuelles. Leur taux de pénétration annuel augmente linéairement entre 2005 (20 % des ventes) jusqu'en 2010 (100 % des ventes). Dans le même temps, les taux de pénétration dans les ventes annuelles des appareils dit « ancien » diminuent linéairement en proportion inverse pour atteindre 0 % en 2010. Ces taux pourront être affinés par la suite si des données complémentaires le permettent. Des données

existent bien concernant les ventes sur les FV 4\* ou 5\* mais ces proportions sur les labels ne signifient pas pour autant que les autres appareils vendus ne sont pas tout aussi performants (des appareils importés ou non labellisés peuvent être tout aussi performants).

- Les appareils dit « performants » dans les inventaires nationaux, désormais assimilés aux FV 7\*, apparaissent à partir de 2015 dans les ventes annuelles. Leur taux de pénétration annuel augmente linéairement entre 2015 (14 % des ventes) jusqu'en 2021 (100 % des ventes). Dans le même temps, les taux de pénétration dans les ventes annuelles des appareils dit « récents » diminuent linéairement en proportion inverse pour atteindre 0 % en 2021. Ces taux pourront être affinés par la suite si des données le permettent comme explicité plus haut.
- Pour les chaudières et les cuisinières, on suppose que les années charnières et que les taux de pénétration dans les ventes annuelles sont les mêmes que pour les poêles/inserts.

Les différents types d'appareil se répartissent dans le temps de la façon suivante :

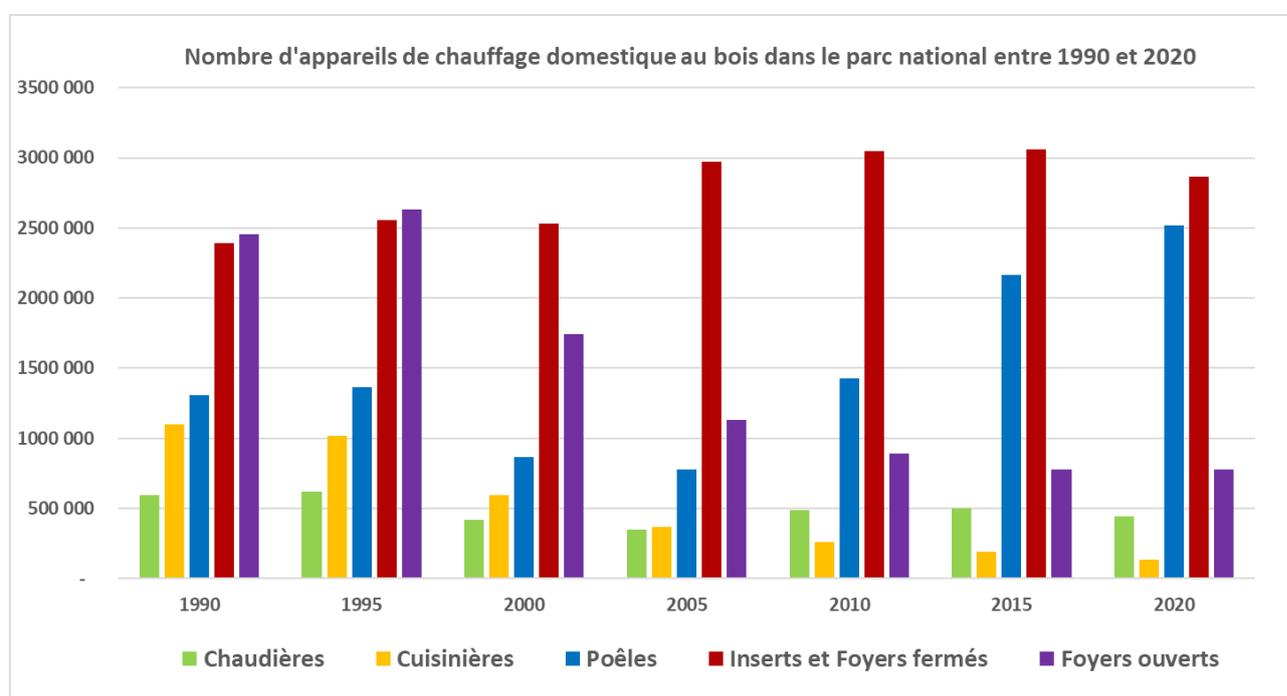


Figure 4 : Evolution du nombre total d'appareils {bûches et granulés} de chauffage domestique au bois dans le parc français utilisé dans l'inventaire national entre 1990 et 2020

En considérant ces hypothèses de taux de pénétration de chaque catégorie d'appareil, on obtient les évolutions de la proportion des catégories par type d'appareils illustrées ci-dessous (Figures 5, 6 et 7). Elle a été comparée à celle existante dans la dernière version des inventaires nationaux d'émissions.

Il est à noter qu'en combinant les chiffres de vente aux recensements du parc effectués lors des enquêtes de terrain, un important taux de renouvellement est constaté en France pour les poêles, de telle sorte qu'en 2020, plus aucun appareil pré-2005 n'apparaît. Dans la méthodologie du TNO, une fraction de 20% des « heating stoves » correspondant à la catégories « no control » avait été retenue.

L'étude de l'ADEME « Chauffage au bois domestique – Marchés et approvisionnement » portant sur l'année 2017 semble confirmer cette méthodologie en plaçant autour de 17% la part des poêles à bûche antérieurs à 2004 pour cette année. Des investigations complémentaires (non menées ici faute de temps) devront tout de même être menées pour éventuellement ralentir le remplacement des poêles dits « anciens » en lien avec les observations effectuées.

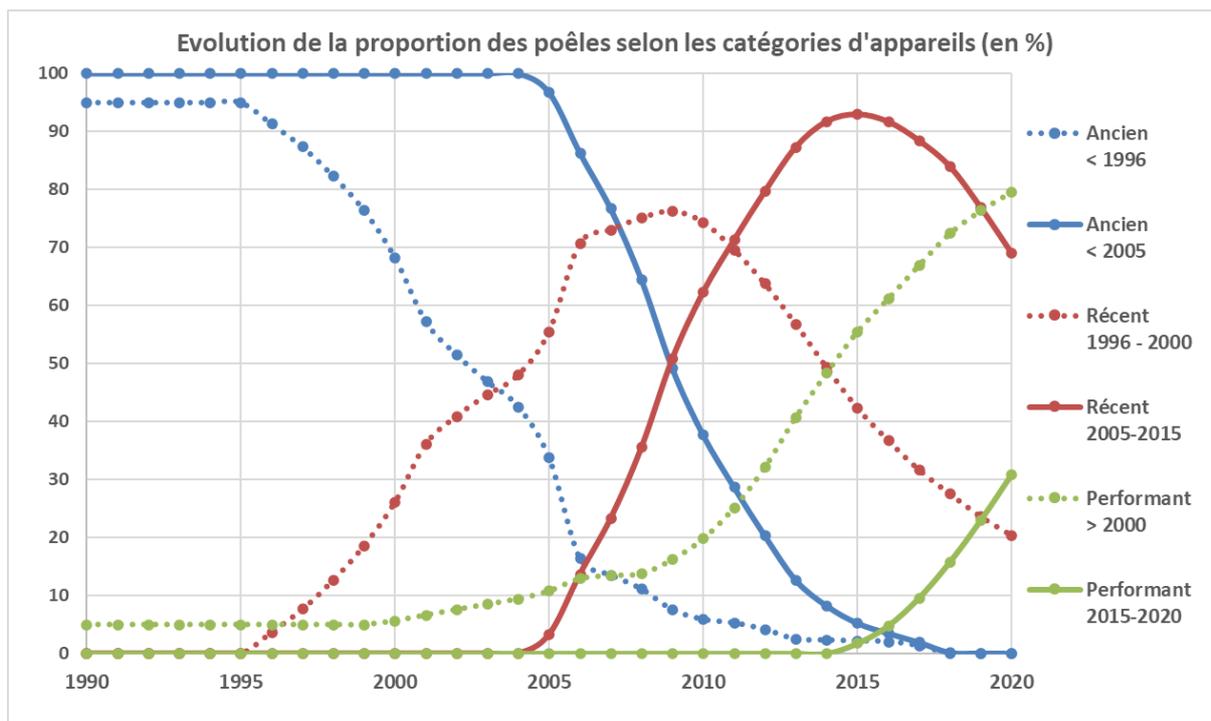


Figure 5 : Evolution de la proportion des poêles selon les catégories d'appareils en %.

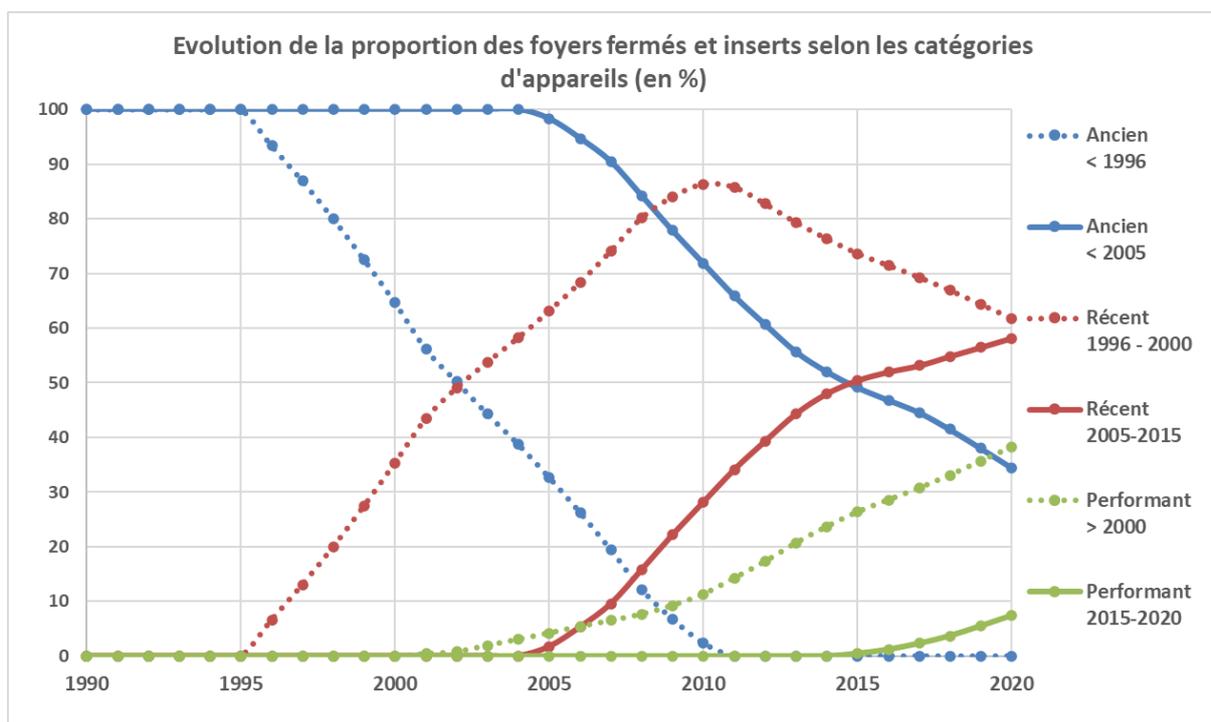


Figure 6 : Evolution de la proportion des foyers fermés et inserts selon les catégories d'appareils en %

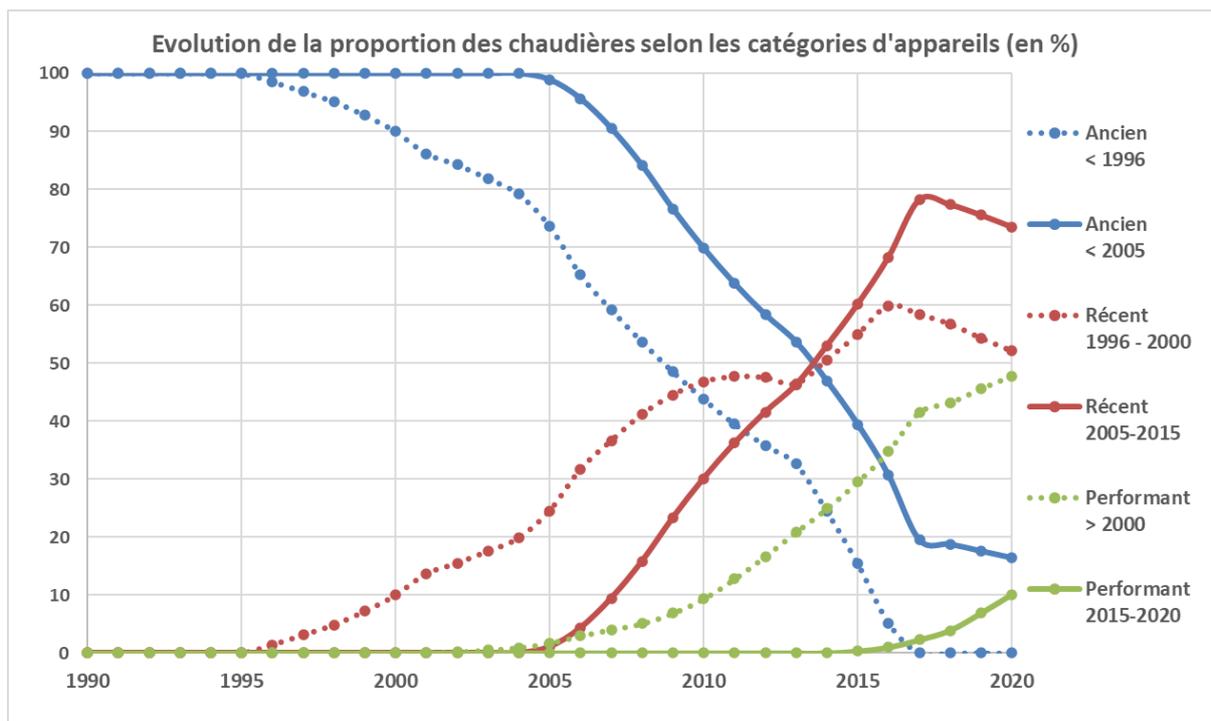


Figure 7 : Evolution de la proportion des chaudières selon les catégories d'appareils en %.

Ces nouvelles catégorisations des appareils décalent d'une dizaine d'année l'arrivée des catégories moins émissives.

Evolution des nouvelles consommations énergétiques par type d'appareils :

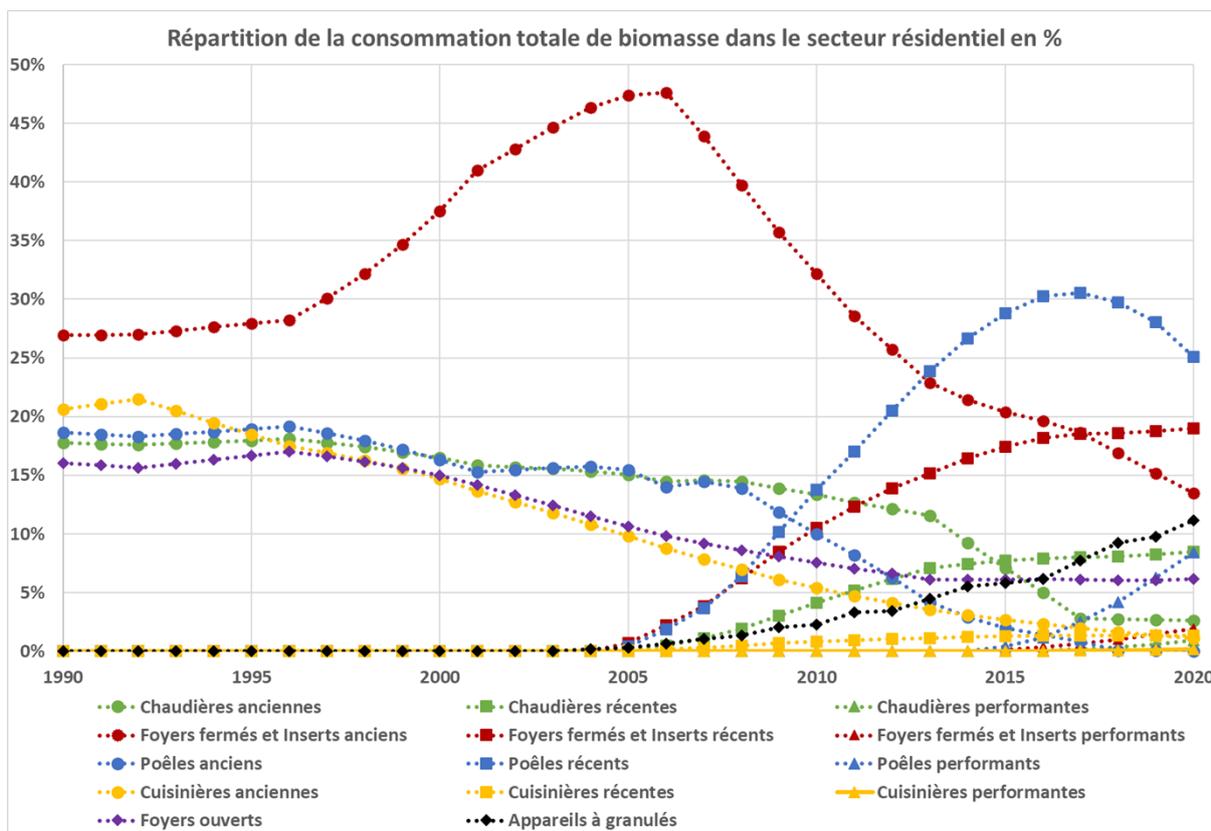


Figure 8 : Répartition de la consommation totale de biomasse dans le secteur résidentiel en %.

### 3.3.2 Impacts sur les facteurs d'émission résultants

Les facteurs d'émissions utilisés par le Citepa dans la dernière édition des inventaires nationaux semblaient être largement sous-estimés pour les appareils les plus récents et n'inclure les particules condensables (au moins partiellement) que pour les appareils anciens. La réévaluation des catégories d'appareil décale d'une dizaine d'années (de 1995 à 2005) le début de la réduction des émissions liées à l'utilisation d'appareils plus performants. Celle-ci est plus cohérente car fondée sur les évolutions technologiques associées à la mise en place progressive des différentes catégories du label Flamme Verte.

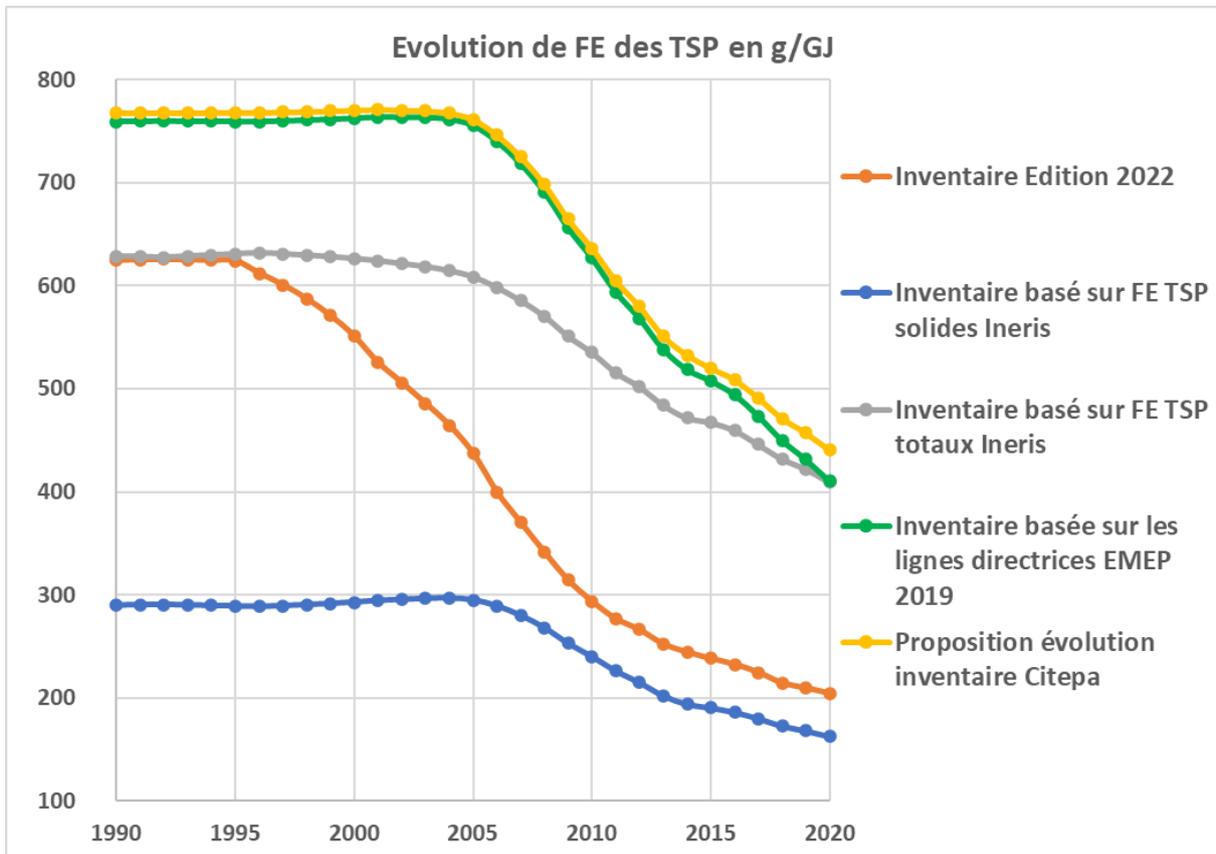


Figure 9 : Evolution des facteurs d'émissions résultants (i.e. estimé à partir des consommations totales nationales) des particules (TSP) en g/GJ.

### 3.3.3 Impacts sur les émissions de PM<sub>2,5</sub>

Ces changements méthodologiques impliqueraient une forte hausse du niveau d'émissions totales de particules plus particulièrement dans les années les plus récentes où les facteurs d'émission utilisés n'impliquaient vraisemblablement pas les particules condensables. Ils sont illustrés sur la figure ci-dessous :

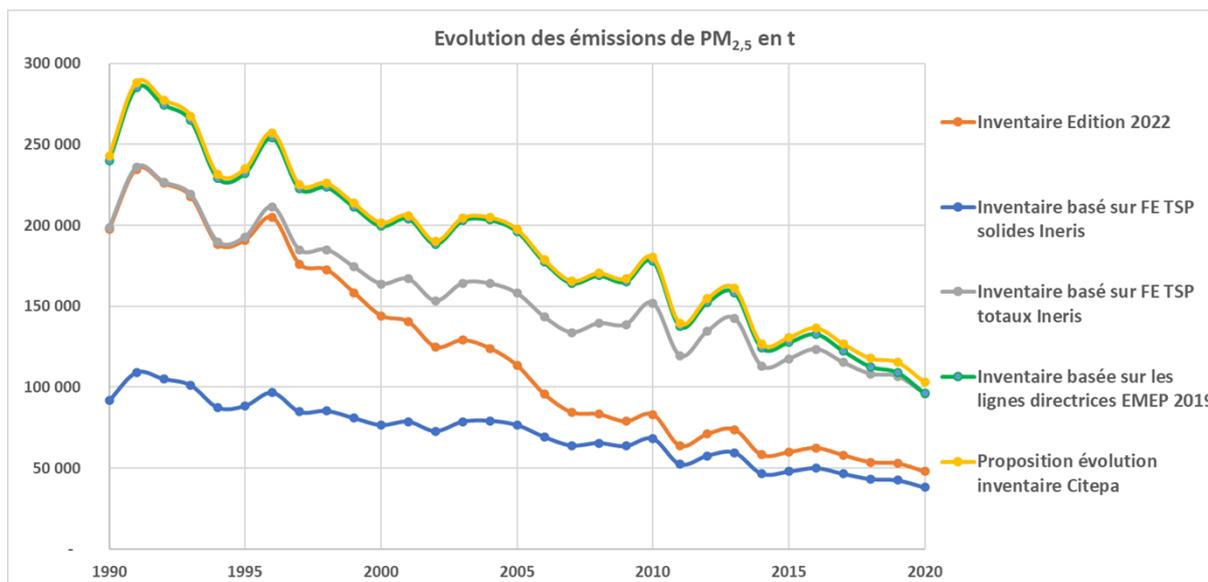


Figure 10 : Evolution des émissions nationales de  $PM_{2,5}$  liée à la combustion de bois dans le secteur résidentiel selon plusieurs méthodologies de calculs

Les objectifs de réduction du PREPA concernant les  $PM_{2,5}$  seraient affectés de la façon suivante :

$PM_{2,5}$	Réduction des émissions calculées entre 2005 et 2020
Inventaire Edition 2022	-58 %
Inventaire FE Ineris solides	-50 %
Inventaire FE Ineris totaux	-39 %
Inventaire FE EMEP/EEA totaux	-51 %
Proposition évolution inventaire CITEPA	-48 %
Objectif du PREPA 2020	-27 %

Dans la note d'impact qui sera transmise au GCIIE en octobre 2022, l'objectif  $PM_{2,5}$  du PREPA serait toujours respecté même si ce sera dans une moindre mesure. La pertinence de la comparaison à cet objectif peut être discutée puisqu'il ne mentionne pas spécifiquement les particules uniquement solides ou les particules totales, mais les travaux de l'IIASA sur lesquels ont été définis les engagements de réduction ne prenaient pas en compte les condensables ou très mal. Le recours aux procédures d'ajustement en cas de non-respect des engagements devrait être possible, compte tenu des changements méthodologiques.

Toutes choses étant égales par ailleurs, la proportion de la contribution du bois domestique aux émissions de  $PM_{2,5}$  totales nationales serait affectée de la façon suivante :

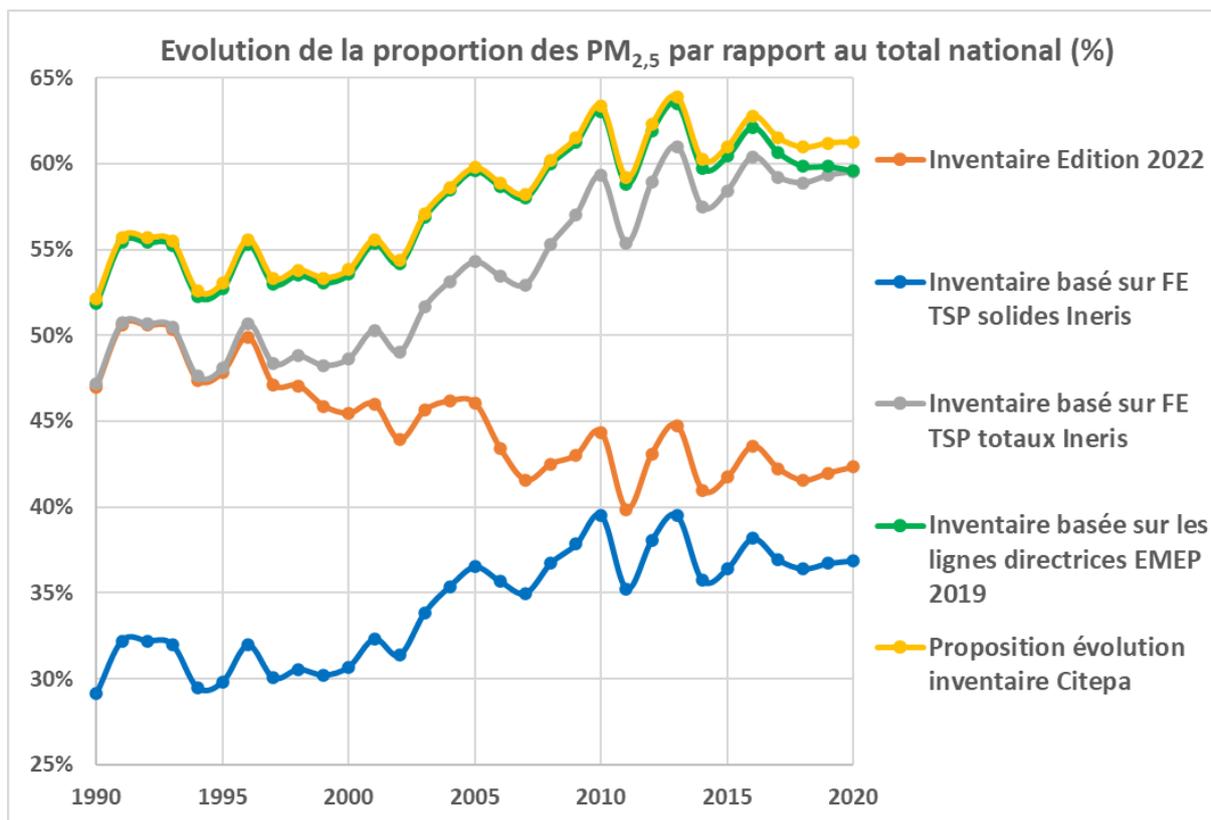


Figure 11 : Evolution de la proportion des PM<sub>2,5</sub> liée à la combustion du bois dans le secteur résidentiel par rapport au total national selon plusieurs méthodologies de calculs

Ces évolutions méthodologiques amèneraient à augmenter la part des émissions en PM<sub>2,5</sub> du bois domestique par rapport au total national de la façon suivante : En 2020, elles passeraient dans la proposition GCIIE de 42 % à 61 %.

De plus, la tendance de cette proportion sur la période 1990-2020 devient croissante alors qu'elle était décroissante dans la dernière édition de l'inventaire. Elle se stabilise sur la période 2010-2020.

## 4 Conclusion

Cette note a permis d'effectuer un travail approfondi sur l'état des connaissances en matière d'émissions de particules incluant les condensables issues des équipements domestiques de chauffage au bois. Ainsi, l'Ineris, a proposé une nouvelle classification des appareils, et des niveaux d'émission associés, pouvant être intégrée dans l'inventaire national des émissions géré par le Citepa. Cette proposition est basée sur les facteurs d'émission (FE) de particules incluant les condensables, qu'il a déterminés ces quinze dernières années, en conditions proches des usages réels, sur différentes générations d'appareils utilisés en France. La nouvelle classification, présentée ci-après repose à la fois sur la prise en compte de la fraction condensable dans les facteurs d'émissions et sur la description de quatre catégories d'appareils jugées plus représentatives du parc actuel que la classification Citepa :

- Appareils conventionnels (<2005),
- Appareils performants 1 - FV4\* à FV5\* (2005 – 2015),
- Appareils performants 2 – FV5\* à FV7\* (2015 – 2021),
- Appareils avancés, Eco-Design - FV7\* (à partir de 2022).

<b>Catégories</b> FE TSP (g/GJ)	<b>TNO</b> (Klimont et al. 2002)	<b>Guidebook</b> <b>EMEP 2019</b>	<b>Citepa</b> (classification nationale actuelle)	<b>Proposition de la nouvelle</b> <b>classification nationale</b>  <i>solide+condensable</i>
<b>No Control</b>	Traditional 519	Conventional 800	Anciens (< 1996) 651	Conventionnels (<2005) 590
		High-Efficiency 400	Nouveaux (> 1996) 242	
<b>Improved</b>	Improved 192		Performants 1 - FV4* à FV5* (2005 – 2015) 417	
			Performants 2 – FV5* à FV7* (2015 – 2021) 282	
<b>New</b>	New 103	Advanced 100	Avancés, Eco-Design - FV7* (à partir de 2022) 128	

Cette proposition pourra être complétée par la catégorie des poêles à granulés, dès que les données issues des projets en cours sur le sujet (le projet EPOCHAG notamment) seront disponibles.

Les différentes évolutions méthodologiques proposées par l'Ineris et les travaux du Citepa pour mieux les prendre en compte et donc améliorer l'inventaire des émissions, permettent à la fois :

- De mieux catégoriser les différents appareils de chauffage domestique au bois et leurs performances, en liant leurs performances de façon plus adaptée aux évolutions techniques liées notamment à la mise en place du label Flamme Verte qui caractérise en France l'amélioration technologique des appareils depuis de nombreuses années et ceux, jusqu'en 2022 au moins (à partir de 2022, les valeurs limites du règlement 1185/2015 deviennent le minimum à respecter dans le label). En effet, les catégories utilisées jusqu'à présent dans l'inventaire ne correspondaient qu'imparfaitement aux améliorations techniques apportées au fil de l'évolution du label et des techniques de combustion associées.
- D'améliorer la connaissance des émissions de particules de ces appareils (en lien avec la labellisation Flamme verte) à partir de plusieurs études réalisées par l'Ineris sur des appareils présents en France et caractéristiques de ce parc français et prenant en compte les émissions des condensables.  
Le travail a permis d'homogénéiser la prise en compte des condensables dans les émissions particulières pour l'ensemble des types d'appareils et au fur et à mesure de leurs améliorations techniques.

L'impact de cette mise à jour méthodologique qui est de deux natures différentes, évolution du parc et choix des facteurs d'émission a été évalué par le Citepa. Pour le choix des FE, quatre ensembles ont été testés :

- 1) FE de particules solides et condensables provenant de la méthode Tier 2 du guide EMEP/EEA 2019,
- 2) FE de particules solides issues des études de l'Ineris,
- 3) FE de particules solides et condensables issues des études de l'Ineris,
- 4) FE de particules solides et condensables issues des études de l'Ineris à l'exception des poêles et inserts anciens pour lesquels on utilise un FE issu du Guide EMEP/EEA 2019.

Cette étude d'impact a montré que la mise à jour méthodologique ne remet pas en cause l'atteinte des objectifs du PREPA pour les  $PM_{2,5}$  en 2020 par rapport à 2005, quel que soit l'ensemble de FE choisi. Le Citepa propose de présenter les choix méthodologiques basé sur l'ensemble de FE 4) au GCIIIE (Groupe de Concertation et d'Information sur les Inventaires d'Emissions) en octobre 2022 pour validation.

Les suites et perspectives de ce travail concernent :

- un exercice d'estimation en cours pour une projection à 2030 afin d'éclairer la question de l'atteinte des engagements du PREPA mais aussi des objectifs du plan bois.
- l'intégration des FE et catégories des appareils commercialisés à partir de 2022 et des poêles à granulés.
- une réflexion sur la transposition de ce travail à d'autres polluants émis par les appareils de chauffage résidentiel au bois tels que CO, NOx, COVT, CH<sub>4</sub>, HAP (dont B(a)P) et Black Carbon.
- d'autres pistes d'améliorations méthodologiques restant encore à explorer, notamment les évolutions depuis 1990 des pratiques d'usages de ces appareils et leurs impacts sur les émissions de particules (allure réduite, allure nominale notamment). Des modifications des hypothèses d'allures prises dans cette note pourraient permettre une première approche de leur prise en compte dans les futures éditions des inventaires et notamment être en mesure de mieux estimer l'impact que pourraient avoir les campagnes d'information sur la pratique d'une combustion mieux maîtrisée.

## 5 Annexes

### Facteurs d'émissions d'autres polluants issus du chauffage domestique au bois.

Polluants	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	COVT	CH <sub>4</sub>	HAP (8 éléments)	Benzo (a) pyrène	BC
Unités	g/GJ	kg/GJ	g eq. NO <sub>2</sub> /GJ	g éq. C/GJ	g/GJ	mg/GJ	mg/GJ	g/GJ
<b>CHAMPROBOIS 2013<sup>a</sup> (FV4* et FV5*) = Appareils performants1</b>								
AN	2832	-	62	-	-	1400	-	-
AR	3800	-	39	-	-	486	-	-
<b>AFAC 2015<sup>b</sup> (FV4* et FV5*) = Appareils performants2</b>								
AN	2944	93	60	547	192	685	64	17
AR	4256	90	49	1002	255	377	37	10
<b>IDENTECH 2016<sup>c</sup> (FV5* à FV7*) = Appareils Avancés</b>								
AN	2099	95	69	389	145	-	-	37
AR	2023	93	55	426	157	-	-	28
<b>ERFI 2016<sup>d</sup> (Foyer ouvert)</b>								
AN (Pleine charge)	4704	93	93	1618	-	-	-	-
AR (Charge partielle)	5074	92	99	1584	-	-	-	-
<b>ERFI 2016<sup>d</sup> (Poêle ancien) = Appareils Anciens/Conventionnels</b>								
AN	2652	93	74	233	-	-	-	-
AR	3514	92	68	553	-	-	-	-
<b>CARVE 2019<sup>e</sup> (poêles anciens &lt; 2005 renouvelés par FV7*) = Appareils Anciens renouvelés en Avancés (Eco-Design FV7*)</b>								
AN+AR (avant renouvellement)	3635	-	-	-	-	-	-	-
AN+AR (après renouvellement)	2188	-	-	-	-	-	-	-

a : FE moyens calculés à partir des 2 appareils testés (1 appareil FV4\* et 1 appareil FV5\*).

b : FE moyens calculés à partir des 4 appareils testés (4 appareils : 2 FV4\* et 2 FV5\*).

c : FE moyens calculés à partir des 4 appareils testés (Scan, Supra, Chazelles et Quadra-Fire).

d : FE moyens calculés à partir des émissions d'un foyer ouvert et d'un poêle ancien en amont des systèmes de filtration testés

e : Valeurs moyens des FE du CO sans différenciation des allures avant et après renouvellement des appareils anciens.



Institut national de l'environnement industriel et des risques  
Parc technologique Alata • BP 2 • F-60550 Verneuil-en-Halatte  
03 44 55 66 77 • [ineris@ineris.fr](mailto:ineris@ineris.fr) • [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr)

