

DETERMINATION DE FACTEURS D'EMISSION DE POLLUANTS DES FOYERS DOMESTIQUES ALIMENTES AU BOIS

Mai 2016

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : INERIS
N° de contrat : 1362C0002

Appel à projet de recherche : CORTEA : « Connaissances, réduction à la source et traitement des émissions
de polluants dans l'air »

Coordination technique : MARZIN Azadeh - **Direction\Service** : Evaluation de la Qualité de l'Air



Synthèse

Copyright :

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Any representation or reproduction of the contents herein, in whole or in part, without the consent of the author(s) or their assignees or successors, is illicit under the French Intellectual Property Code (article L 122-4) and constitutes an infringement of copyright subject to penal sanctions. Authorised copying (article 122-5) is restricted to copies or reproductions for private use by the copier alone, excluding collective or group use, and to short citations and analyses integrated into works of a critical, pedagogical or informational nature, subject to compliance with the stipulations of articles L 122-10 – L 122-12 incl. of the Intellectual Property Code as regards reproduction by reprographic means.

PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.




	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	S. COLLET	J. POULLEAU	M. DURIF
Qualité	Ingénieur à l'unité « Sources et émissions » Direction des Risques Chroniques	Responsable de l'unité « Sources et émissions » Direction des Risques Chroniques	Responsable du Pôle « Caractérisation de l'environnement » Direction des Risques Chroniques
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

1. <i>Présentation</i>	5
2. <i>Banc et conditions d'essais</i>	5
3. <i>Choix des appareils</i>	6
4. <i>Choix des paramètres testés</i>	6
5. <i>Résultats</i>	7
6. <i>Influence des paramètres testés sur les émissions de polluants</i>	9
7. <i>Evolution des émissions de polluants entre 2001 et 2015</i>	10
8. <i>Composition en carbone suie et en lévulocosan des particules émises</i>	11

1. PRESENTATION

Un grand nombre d'études portant sur la caractérisation des émissions des foyers domestiques a déjà été réalisé. Les résultats de ces études mettent en évidence :

- une grande disparité des facteurs d'émission en particules en fonction des méthodes de test et de mesurage retenues,
- une grande dispersion des résultats (particules, COVT, HAP, etc.),
- une quasi-absence de valeurs obtenues en conditions réelles de fonctionnement des appareils.

Par ailleurs, compte tenu :

- des récentes évolutions techniques apportées ces dernières années aux appareils (entrées d'air secondaire, préchauffage de l'air, utilisation de réfractaires et d'isolant, etc.) qui conduisent à améliorer significativement leurs performances environnementales,
- des progrès effectués dans la connaissance des particules émises par la combustion,
- de la mise au point récente de méthodes de mesurage plus complètes des émissions de particules (avec prise en compte de la fraction condensable),

de nouvelles investigations méritaient d'être effectuées afin de compléter les facteurs d'émission de polluants utilisés dans le cadre de l'inventaire national des émissions, principalement issus de l'étude menée par l'INERIS en 2001/2002.

Ces nouvelles caractérisations ont porté sur les polluants suivants : particules (fraction solide et condensable), COVT, CH₄, HAP, carbone suie (EBC : équivalent Black Carbon), NO_x et CO, en prenant en compte différents types d'appareils (labellisés « Flamme verte 4 et 5* »), deux allures de fonctionnement, trois essences de bois, deux nombre de bûches et deux modes d'allumage, de façon à représenter au mieux les conditions réelles de fonctionnement des appareils.

2. BANC ET CONDITIONS D'ESSAIS

Les essais ont été menés sur le banc d'essais des foyers domestiques de l'INERIS. Ce banc dispose d'un système de ventilation contrôlée qui permet d'extraire et de diluer les gaz de combustion à des fins de mesurages. Il présente l'avantage de disposer d'une aéraulique connue (mesurage du débit d'air par sonde à prises de pression multiples) et relativement bien maîtrisée (taux de dilution et température), ce qui facilite la réalisation d'essais reproductibles et une exploitation aisée des données.

Les instruments de mesurage ont été implantés en deux points distincts :

- à l'émission sur le conduit d'évacuation des fumées, directement en sortie du foyer. Le conduit d'évacuation calorifugé utilisé est conforme à

celui décrit dans la norme NF EN 13229¹ à l'exception de sa hauteur (4 m environ),

- dans le tunnel à dilution après dilution d'un facteur 10 à 20 et refroidissement de l'effluent gazeux (température atteinte < 40°C).

Les essais ont été menés à des tirages correspondant à des niveaux de tirage naturel observés sur des conduits de hauteur 4 m.

Les appareils ont été placés sur une balance permettant de déterminer les facteurs d'émission connaissant les flux de polluants émis et la masse de bois brûlée durant la période d'essais.

La charge de bois pour essai a été déterminée en fonction de la puissance de l'appareil et de sa notice d'utilisation.

3. CHOIX DES APPAREILS

Plusieurs constructeurs nous ont proposé des appareils représentant une part significative de leur vente.

A partir des performances environnementales connues de ces appareils (procès verbaux d'essais menés selon les normes en vigueur) et de leurs caractéristiques (matériaux du corps de chauffe, présence d'entrées d'air secondaire par exemple), une sélection finale de 4 appareils représentatifs des principales catégories vendues en France : 2 foyers fermés/inserts (FV4* et FV 5*) et 2 poêles (FV 4* et FV5*).

4. CHOIX DES PARAMETRES TESTES

L'étude visant à simuler les conditions réelles de fonctionnement des appareils, divers paramètres pouvant influencer de façon significative les émissions de polluants, notamment l'allure de fonctionnement du foyer, le nombre de bûches introduites, l'essence du bois, le démarrage des essais à chaud ou à froid, ont été étudiés.

Deux allures ont donc été testées lors des essais : nominale (entrées d'air ouvertes) et réduite (entrées d'air fermées), conformément aux spécifications figurant dans la notice d'utilisation de chaque appareil.

En fonction de la puissance nominale des appareils, les tests ont été menés avec 1 et 2 bûches ou avec 2 et 4 bûches. En conséquence, pour chaque appareil, la charge de bois introduite a été légèrement modifiée entre les essais menés avec 1 et 2 bûches ou 2 et 4 bûches.

Trois essences, d'humidité 15 %, ont été testées : hêtre, chêne et sapin, de façon à reproduire les essais menées en 2001/2002.

L'influence du type de démarrage : à froid ou à chaud sur les émissions de polluants a également été testée lors de nos essais.

¹ NF EN 13229 : Foyers ouverts et inserts à combustibles solides - Exigences et méthodes d'essai

Afin d'étudier les paramètres retenus, un plan d'expérience a été établi et un test basé sur l'analyse des variances (test statistique de Fisher-Snedecor) utilisé pour exploiter les résultats obtenus. La méthode d'analyse de la variance s'utilise à la suite d'un plan d'expériences destiné à identifier les facteurs influant sur une réponse.

5. RESULTATS

Le fait de tester différents paramètres, parmi les plus influents sur les émissions, tels que l'allure et l'essence de bois, dans le cadre d'un plan d'expériences permet d'obtenir des facteurs d'émission relativement représentatifs.

Polluants		CO	CO ₂	NO _x	COVT	CH ₄	Particules fr. solide	Particules fr. solide et condensable	HAP (8 éléments)	Benzo (a) pyrène	EBC
Unités		g/GJ	kg/GJ	g éq. NO ₂ /GJ	g éq.C/GJ	g/GJ	g/GJ	g/GJ	mg/GJ	mg/GJ	g/GJ
Appareils	A1 foyer	3575	93	56	638	194	102	282	440	42	13
	A2 foyer	3384	92	55	711	249	161	484	463	35	12
	A3 poêle	3374	91	53	821	185	139	426	341	29	18
	A4 poêle	4067	91	54	926	266	166	476	880	96	12
Nombre de bûches	1 ou 2	3679	91	56	794	222	154	440	457	40	15
	2 ou 4	3521	92	53	754	225	130	394	605	61	13
Allure	nominale	2944	93	60	547	192	101	271	685	64	17
	réduite	4256	90	49	1002	255	183	563	377	37	10
Essence	hêtre	2856	91	59	576	190	80	226	795	78	12
	chêne	5016	91	57	1136	335	216	671	306	29	8
	sapin	2928	92	48	610	145	130	353	492	44	21
Allumage	à froid	4078	91	55	944	247	164	473	577	57	17
	à chaud	3122	92	54	604	199	121	361	485	44	10
Valeur moyenne		3600	92	54	774	223	142	417	531	51	14
Fourchette		1448 - 8183	85 - 95	33 - 69	151 - 2287	51 - 598	13 - 500	94 - 1355	116 - 2845	8 - 313	1 - 43

Tableau 1 : Facteurs d'émission moyen (résultats exprimés en mg, g ou kg/GJ d'énergie entrante).

6. INFLUENCE DES PARAMETRES TESTES SUR LES EMISSIONS DE POLLUANTS

Les émissions de polluants évoluent souvent de façon statistiquement significative en fonction de **l'essence de bois** utilisée. Elles sont particulièrement élevées lors de la combustion de chêne. La combustion est plus lente avec une consommation horaire de bois plus faible que pour les autres essences. Cela traduit probablement un manque d'oxygène (air primaire) lors de la combustion de cette essence. En 2001, le phénomène était sûrement moins probant du fait des entrées d'air parasites présentes sur les foyers plus anciens. Les foyers les plus récents étant relativement étanches, ils ont été les plus pénalisés. Il est à noter que certaines notices d'appareils étrangers mentionnent d'ouvrir davantage l'air primaire lors du brûlage d'essences dures.

Il conviendrait donc *a minima* de revoir les notices des constructeurs en préconisant d'introduire un minimum d'air primaire, dans le cas de brûlage d'essences dures telles que le chêne.

La génération des HAP varie de façon inverse à celle des autres polluants, avec de plus faibles émissions lors de la combustion de chêne. Le sapin est à l'origine de plus fortes émissions de carbone suie (EBC).

Comme celle de l'essence de bois, l'influence de **l'allure** sur les émissions de polluants est forte. Son importance est toutefois liée à la méthodologie employée et notamment à la charge de bois introduite lors de la réalisation des essais à allure réduite. Rappelons que lors de nos essais une charge identique a été utilisée à allure nominale et réduite. L'influence de ce paramètre aurait très probablement été plus important si les recommandations figurant dans certaines notices avaient été suivies, à savoir doubler voire tripler la charge de bois à allure réduite.

Afin de réduire la formation de polluants lors de cette allure, il conviendrait de conseiller :

- **d'adapter au mieux la puissance de l'appareil au besoin de chauffage,**
- **de restreindre la gamme d'utilisation des appareils en termes de puissance (pour éviter des fonctionnements à allure trop réduite),**
- **l'introduction fréquente de faibles charges plutôt que l'utilisation d'une forte charge.**

Comme attendu, **l'allumage** à froid génère davantage de polluants (CO et COVT notamment) qu'un rechargement d'un foyer à chaud. Son influence est toutefois plus modeste que celles d'autres paramètres testés (allure et essence de bois). L'importance de cette influence est très probablement liée à la méthodologie employée et notamment à la masse de petits bois utilisée pour allumer le foyer en supplément de la charge.

Afin de réduire la formation de polluants lors de cette phase, il conviendrait de conseiller, en premier lieu, un allumage par le haut, reconnu comme étant

moins émissif. A défaut, un allumage par le bas avec une quantité de petits bois importante permet de minimiser la formation de polluants.

Le **nombre de bûches** introduites est un paramètre **peu influent** pour l'ensemble des polluants mesurés à l'exception de certains COV qui sont émis en plus fortes teneurs lorsque la dimension des bûches chargées dans le foyer augmente (sans modification notable de la charge).

Une surface à brûler plus importante par l'augmentation du nombre de bûches permet d'améliorer la qualité de la combustion. Le brûlage de bûches de grande dimension est donc à proscrire.

7. EVOLUTION DES EMISSIONS DE POLLUANTS ENTRE 2001 ET 2015

En 2001, nous avons mené une étude similaire mettant en jeu le même nombre d'appareils testés et le même plan d'expérience. Ces essais avaient mis en évidence une influence statistiquement significative de l'allure et de l'essence de bois.

Il est donc intéressant de comparer les facteurs d'émission déterminés sur les appareils vendus en 2015 à ceux de 2001.

Certaines méthodes de mesurage ont toutefois évolué entre 2001 et 2015 rendant parfois difficile la comparaison des résultats entre ces deux séries d'essais, notamment pour les polluants suivants : NO_x (seul le NO avait été mesuré en 2001), particules (seule la fraction solide avait été mesurée en 2001 dans un tronçon de mesurage positionné horizontalement ce qui a probablement favorisé la sédimentation des particules les plus grosses), les COVT (prise en compte de la fraction condensable des particules en 2001), CH₄ (méthode d'étalonnage de l'analyseur différent).

Polluants	Ecart 2015/2001
CO ₂	+ 4,2 %
CO	- 44 %
NO _x	+ 36 % (e)
COVT	- 47 % (e)
CH ₄	- 63 % (e)
Particules totales	- 33 % (e)
HAP (16 composés)	- 14 %
HAP (8 composés)	+ 78 %
Benzo (a) pyrène	+ 85 %

(e) estimation/extrapolation car méthodes de mesurage différentes en 2001

Tableau 2 : Evolution des émissions de polluants entre 2001 et 2015.

L'augmentation du facteur d'émission en CO₂ et la diminution des facteurs d'émission en CO, COVT et particules mettent en évidence **l'amélioration de la qualité de la combustion** des appareils testés entre 2001 et 2015. La combustion devient plus complète, ce qui se traduit par une augmentation des émissions de NO_x du fait d'une augmentation des températures de combustion (oxydation de l'azote de l'air).

Ces résultats montrent une réduction cohérente et significative des émissions de CO, COVT et particules totales (fractions solide et condensable) depuis 2001 de respectivement 44, 47 et 33 %.

De façon globale, les émissions de HAP ont diminué entre 2001 et 2015, mais une augmentation des composés les plus lourds présents en faible proportion, tels que le benzo (a) pyrène, est constaté.

8. COMPOSITION EN CARBONE SUIE ET EN LEVOLUCOSAN DES PARTICULES EMISES

La part de carbone suie (EBC) dans les particules émises (PM) mesurée dans le tunnel à dilution est de $7,2 \pm 2,4$ % en moyenne. Cette valeur évolue significativement en fonction de l'allure et de l'essence de bois.

En effet, la part d'EBC représente 11,6 % des PM à allure nominale et seulement 2,8 % à allure réduite.

La part d'EBC dans les PM est bien plus faible lors de la combustion de chêne (1,6 %) que lors de la combustion de hêtre (10,4 %) ou de sapin (9,5 %).

La part de lévoglucosan dans les PM, déterminée dans le tunnel à dilution, est de 9 % en moyenne. Cette valeur **évolue significativement en fonction de l'essence de bois**.

La part de lévoglucosan dans les PM lors de la combustion de chêne (16,6 %) est bien plus élevée que lors de la combustion de sapin (6,4 %) ou de hêtre (3,2 %).

Les autres paramètres testés ne font quasiment pas évoluer la part de lévoglucosan dans les particules.

La part de la fraction solide dans les PM est de 36 ± 4 % (la part de la fraction condensable est donc de 64 %). **Cette valeur évolue significativement en fonction de l'allure**.

La fraction solide représente 41 % des PM à allure nominale et 31 % à allure réduite. Cette plus faible part de fraction solide dans les PM à allure réduite est liée à la diminution de l'EBC.

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr

ABOUT ADEME

The French Environment and Energy Management Agency (ADEME) is a public agency under the joint authority of the Ministry of Ecology, Sustainable Development and Energy, and the Ministry for Higher Education and Research. The agency is active in the implementation of public policy in the areas of the environment, energy and sustainable development.

ADEME provides expertise and advisory services to businesses, local authorities and communities, government bodies and the public at large, to enable them to establish and consolidate their environmental action. As part of this work the agency helps finance projects, from research to implementation, in the areas of waste management, soil conservation, energy efficiency and renewable energy, air quality and noise abatement.

www.ademe.fr.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr