

QUALICOMB

REDUCTION A LA SOURCE DES EMISSIONS ISSUES DU CHAUFFAGE DOMESTIQUE AU BOIS PAR USAGE DE COMBUSTIBLES DE QUALITE

Avril 2016

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : *POUJOLAT (Laboratoire CERIC), Université de Lorraine-LERMAB, Cheminées SEGUIN DUTERIEZ et D2I-Groupe INVICTA*
N° de contrat : 1301C0049

Coordination technique : PROHARAM Florence – AIT MADEN Justine
Direction Productions et Energies Durables
Service Bioressources



SYNTHESE

REMERCIEMENTS

Benoit BRANDELET (Université de Lorraine – LERMAB), (Aymeric DE GALEMBERT (Cheminées SEGUIN DUTERIEZ), Lionel DRUETTE (POUJOULAT – Laboratoire CERIC), Julien LANDREAU (POUJOULAT – Laboratoire CERIC), Serge POSTEL (D2I – INVICTA), Caroline ROGAUME (Université de Lorraine – LERMAB).

CITATION DE CETTE SYNTHÈSE

Julien LANDREAU ; Caroline ROGAUME 2016.- QUALICOMB Réduction à la source des émissions issues du chauffage domestique au bois par usage de combustible de qualité - Synthèse. ADEME. 15 pages.

En français :

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.

En anglais :

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.

1. Table des matières

2.	Contexte et objectifs du projet	4
2.1.	Contexte	4
2.2.	Objectifs du projet.....	4
3.	Méthodologie	5
3.1.	Choix des paramètres étudiés et niveaux retenus	5
3.2.	Caractérisation des combustibles	5
3.3.	Mesure de l'influence de ces paramètres sur la qualité de la combustion	5
3.4.	Analyse du plan d'expériences	6
4.	Résultats obtenus	7
4.1.	Réponse TSP	7
4.2.	Réponse l'	9
4.3.	Synthèse des principaux résultats	10
5.	Conclusion et recommandations.....	11
	Sigles et acronymes	13

2. Contexte et objectifs du projet

2.1. Contexte

Le développement des énergies renouvelables a été largement encouragé afin de participer à l'atteinte des objectifs assignés par le protocole de Kyoto. Parmi ces énergies, la biomasse occupe une large part, surtout dans le secteur du chauffage domestique. Cependant, même si le bilan carbone est faible pour ces combustibles, d'autres composés polluants peuvent être rejetés lors de leur combustion et peuvent ainsi présenter des dangers connus pour l'environnement et la santé : particules fines, hydrocarbures aromatiques polycycliques, benzène, ... ; constat : 65 % des émissions de particules fines de type PM_{2,5} de la combustion proviennent de la combustion du bois majoritairement domestique selon le SECTEN (2012). Les émissions de monoxyde de carbone représentaient quant à elles 3 985 kt en France en 2010.

Si la réglementation relative aux rendements et contrôles périodiques des chaudières de fortes puissances est bien suivie, le réel défi aujourd'hui reste les installations domestiques de petites puissances, qui représentent 85 % du bois énergie utilisé. La mise en place de labels attestant des bonnes performances des appareils (label Flamme Verte), est une première étape mais doit être complétée pour réduire les émissions atmosphériques dues à la combustion domestique du bois tout en améliorant les rendements énergétiques.

Outre les performances intrinsèques de conception, de dimensionnement et de réglages de ces appareils, le type de combustible utilisé en conditions réelles chez les particuliers et la qualité du combustible sont des paramètres déterminants pour l'optimisation des facteurs d'émission du chauffage domestique au bois.

En effet, la qualité du combustible utilisé par les particuliers est très différente de celle utilisée par les industriels et les laboratoires lors de la qualification de performances des appareils. Malgré les préconisations des fabricants d'appareils sur la qualité des combustibles, l'utilisation de combustible bois certifié (NF 444 Bois de chauffage catégorie H1 G1) reste minoritaire. Sur 40 millions de mètres cubes de bois consommés annuellement en France, seulement 250 000 mètres cubes, soit moins de 1%, sont certifiés NF (dont la majorité de classe d'humidité H2). La qualité du combustible bois n'est donc pas actuellement un critère de choix premier pour les consommateurs.

2.2. Objectifs du projet

Le projet QUALICOMB a pour but d'évaluer l'impact de la qualité du combustible bois bûches sur la combustion.

Les objectifs de cette étude sont donc de :

- Mettre en évidence la prépondérance du choix et de la qualité du combustible sur les émissions des appareils de chauffage au bois en fonctionnement réel au travers d'essais réalisés dans des appareils indépendants représentatifs du marché ;
- Permettre d'apporter des pistes de progrès concrètes complémentaires aux améliorations techniques qu'apportent déjà les fabricants d'appareils de chauffage au bois en identifiant des combustibles permettant d'optimiser les performances environnementales et énergétiques des appareils. Ainsi, un argumentaire scientifique étayé permettrait de soutenir le développement des filières de ces combustibles sur le marché et auprès des utilisateurs d'appareils de chauffage au bois indépendants ;
- Quantifier l'écart obtenu entre des mesures effectuées en conditions normalisées et des utilisations faites par les utilisateurs avec différentes qualités de combustibles.

3. Méthodologie

3.1. Choix des paramètres étudiés et niveaux retenus

La première étape du projet consistait à effectuer une analyse du marché existant et des différentes qualités de bois bûches disponibles et utilisées par les consommateurs. Suite à cette analyse, différents paramètres liés aux combustibles (humidité, calibre, écorce, essence) ont été choisis pour être étudiés. Les niveaux de ces paramètres (combustibles) ont donc été définis conformément aux ressources locales et aux produits disponibles pour les usagers.

- L'essence : Les pays nordiques utilisent principalement des résineux au contraire de notre marché qui privilégie les feuillus. Il semblait donc intéressant de comparer les deux groupes d'essences dans cette étude.
- L'humidité : L'humidité des bûches utilisées par les consommateurs semble en partie supérieure à celle préconisée par les fabricants. Deux niveaux d'humidité ont donc été retenus.
- Le calibre : Les fabricants d'appareils préconisent des charges précises (en masse et en nombre de quartiers). Cependant, dans la pratique, un gros quartier est souvent privilégié à une charge fendue. Ces deux pratiques ont donc été évaluées.
- La quantité d'écorces : Certains producteurs de bois de chauffage proposent des bûches « sans écorce ». L'objectif était donc d'en mesurer l'intérêt.

A ces paramètres « combustibles », sont venus s'ajouter d'autres qui semblaient avoir un impact sur la combustion. Au global, les paramètres qui ont été étudiés, ainsi que les niveaux qui ont été retenus, sont les suivants :

Tableau 1 - Définition des niveaux associés aux paramètres

Niveau	Humidité	Essence	Calibre	Ecorce	Allumage/Tirage	Utilisation	Appareil
1	< 20 %	Feuillus	2 bûches	Sans	Chaud/régulé	Bonne	Poêle récent FV5*
2	< 30 %	Résineux	1 bûche	Avec	Froid/naturel	Dégradée	Insert ancien

3.2. Caractérisation des combustibles

La deuxième étape du projet consistait à analyser les bûches (pouvoir calorifique, humidité, composition...). Ceci, pour permettre de connaître les caractéristiques précises des combustibles retenus pour l'étude.

3.3. Mesure de l'influence de ces paramètres sur la qualité de la combustion

Enfin l'étape des essais de combustion a été effectuée, sur la base d'un plan d'expériences statistique. L'utilisation d'un plan d'expérience est une démarche scientifique ayant pour objectif de déterminer les facteurs d'influences d'un phénomène. Cette démarche rigoureuse présente l'avantage de prendre en compte simultanément 7 paramètres tout en limitant le nombre d'expériences à réaliser. Cependant, cette méthode a imposé de limiter l'impact de l'opérateur. Les résultats de chaque expérience ne sont donc pas représentatifs de scénarios typiques puisqu'aucune réaction n'a été permise (augmentation de l'air comburant, rechargement sur lit de braise plus important...) malgré des indicateurs visibles de la dégradation de la combustion.

Lors de ces essais, certaines mesures, représentatives de la qualité de combustion, ont été effectuées : Rendement, Puissance, Carbone Élémentaire / Organique, CO, CO₂, O₂, TSP.

3.4. Analyse du plan d'expériences

Les mesures effectuées dans le cadre du plan d'expériences ont permis d'évaluer deux types d'influence :

- L'influence des paramètres seuls : C'est l'influence isolée des paramètres, sans prendre en compte les interactions qu'ils pourraient avoir avec d'autres paramètres ;
- L'influence des interactions : Ces interactions entre plusieurs paramètres peuvent avoir un effet supplémentaire positif ou négatif.

Ces deux types d'influence ont été représentés par des graphiques tels que celui-ci :

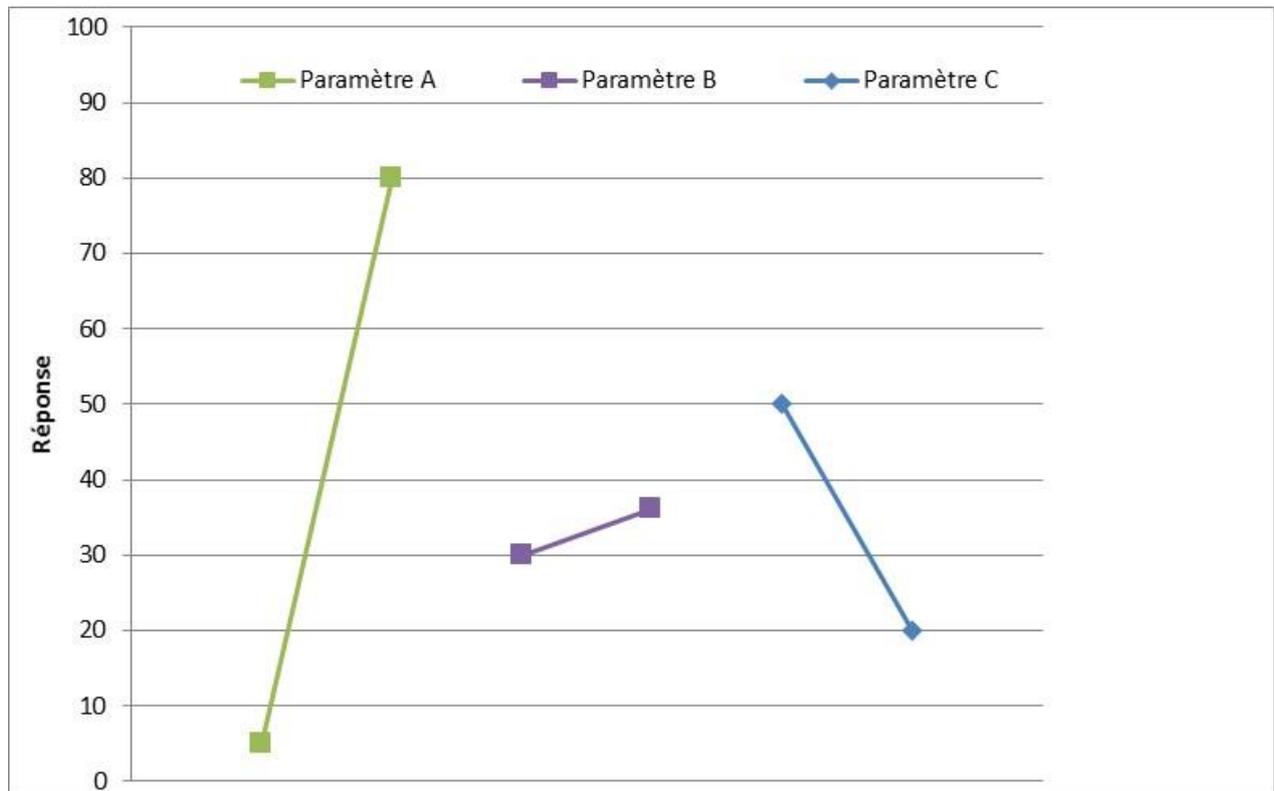


Figure 1 - Exemple d'analyse graphique de plan d'expériences

Sur ce graphique, le niveau 1 de chaque paramètre est à gauche, le niveau 2 est à droite (voir Tableau 1).

De manière générale, plus la différence entre ces deux niveaux (différence d'ordonnée) est importante, plus ce paramètre est impactant. Dans l'exemple ci-dessus (Figure 1) :

- Le paramètre A est très impactant sur la réponse ;
- Le paramètre B est peu impactant ;
- Le paramètre C est moyennement impactant (avec cette fois-ci, un niveau 2 inférieur au niveau 1).

4. Résultats obtenus

4.1. Réponse TSP

Les Particules Totales en Suspension (appelées TSP pour *Total Suspended Particulates*) regroupent l'ensemble des particules, quelle que soit leur taille. Parmi celles-ci, les particules fines, de diamètre inférieur à 2,5 micromètres (PM_{2,5}), sont principalement émises par le secteur domestique (48%) au travers du chauffage au bois. Ces particules fines ont un impact sur la santé considéré comme important puisqu'elles ont la faculté de pénétrer profondément dans l'organisme.

L'analyse du plan d'expérience a permis de mettre en évidence l'impact fort de certains paramètres liés au combustible sur les émissions de particules.

- **Influence des paramètres seuls (paramètre appareil inclus) :**

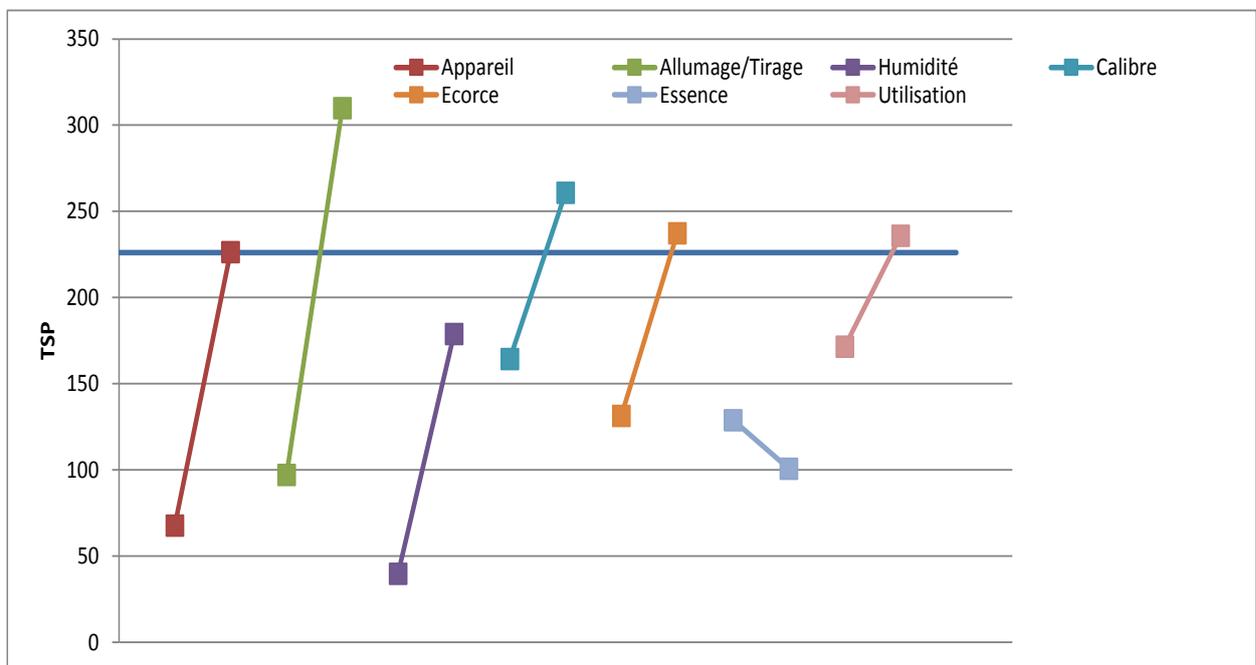


Figure 2 - Influence des paramètres sur les TSP

D'une manière générale, l'influence du couple allumage/tirage ou de l'humidité sur les TSP est comparable à celle du type d'appareil (Figure 2). Certains des paramètres liés au combustible sont donc tout aussi importants sur les émissions de TSP que l'appareil utilisé.

• **Comparaison des influences des paramètres seuls entre les appareils ancien et récent :**

En isolant les réponses obtenues en fonction du type de foyer utilisé (Figure 3), nous observons que les deux appareils présentent les mêmes tendances en ce qui concerne l'influence des critères sur la réponse TSP, avec des grandeurs d'influence quasi similaires. Le seul critère variant est l'essence : l'appareil ancienne génération émettrait moins de particules avec du résineux, contrairement à l'appareil nouvelle génération.

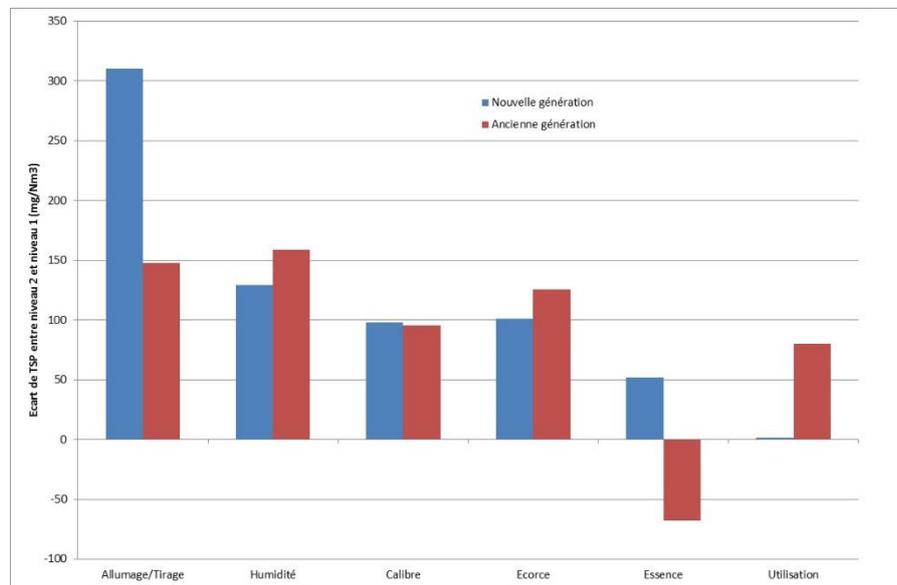


Figure 3 - Ecart de TSP entre niveau 2 et niveau 1

Tableau 2 - Classification des influences

	Appareil récent	Appareil ancienne génération
Très influente	1 Allumage/tirage 2 Humidité	1 Humidité 2 Allumage/tirage
Certaine influence	3 Calibre 4 Ecorce	3 Ecorce 4 Calibre
Peu/pas influente	5 Essence 6 Utilisation	5 Utilisation 6 Essence (en positif)

• **Influence des interactions :**

De plus, des interactions existent aussi entre les paramètres. Ces interactions viennent s'ajouter ou se déduire aux influences des paramètres seuls. C'est ainsi que :

- La combinaison d'un allumage à froid sans tirage avec du bois humide conduit à une émission supplémentaire (en plus des émissions supplémentaires déjà dues à chacun des critères) de 200 mg/Nm³ (nouvelle génération) à 500 mg/Nm³ (ancienne génération) ;
- La combinaison d'un calibre niveau 2 et d'une mauvaise utilisation conduit à une émission supplémentaire (en plus des émissions supplémentaires déjà dues à chacun des critères) d'environ 200 mg/Nm³ (nouvelle et ancienne génération) ;
- La combinaison d'un calibre niveau 2 et d'un passage à l'appareil ancienne génération conduit à une émission plus faible (en moins des émissions dues à chacun des critères) d'environ 200 mg/Nm³.

4.2. Réponse I'

De manière à prendre en considération le plus d'indicateurs possibles et en complément de l'étude réalisée sur la réponse TSP seule, il a été choisi d'étudier une réponse I' telle qu'elle est définie par l'indice Flamme Verte (Figure 4). Ce choix semble le plus opportun puisqu'il intègre les émissions de particules, les émissions de monoxyde de carbone et le rendement de l'appareil. La réponse étudiée permet ainsi de visualiser les facteurs d'influence sur la « qualité de combustion » plutôt que sur des indicateurs isolés (non pertinents puisque réducteurs). **Cette réponse I' est représentative de l'indice de performance environnementale de l'appareil.**

$$I' = 101532,2 * \log(1+E') / \mu^2$$
$$E' = (CO + CO_{\text{éqPM}}) / 2$$
$$CO_{\text{éqPM}} = 0,002 * PM$$

CO : Emission en monoxyde de carbone (CO) en % et corrigé à 13% de dioxygène
PM : Emission de particules totales en mg/Nm3 et corrigé à 13% de dioxygène
 μ : Rendement de l'appareil en %

Figure 4 - Réponse I'

Globalement, **les tendances** observées sont exactement les mêmes que dans le cas d'étude basé sur les TSP. Dans le cas de l'appareil ancienne génération, l'essence aurait un léger effet positif sur la valeur de I'. Autrement dit, l'essence de type résineux augmenterait globalement la teneur en particules, mais émettrait moins de CO.

Les interactions ont un effet certain uniquement dans trois cas :

- 1) La combinaison d'un allumage à froid et d'une bûche humide augmente drastiquement le I' ;
- 2) Le passage de l'appareil récent et un calibre de niveau 1 à l'appareil ancienne génération et un calibre de niveau 2 diminuerait le I'. La signification de ce point est clair : l'appareil ancienne génération, bien que globalement plus émetteur de polluants, resterait plus stable dans ses émissions, même lorsqu'un critère passe en niveau dégradé ;
- 3) Le passage de l'appareil récent et d'une utilisation de niveau 1 à l'appareil ancienne génération et une utilisation de niveau 2 diminuerait le I'. La signification est similaire au point précédent, l'appareil ancienne génération supporterait beaucoup mieux les variations d'arrivée d'air que l'appareil nouvelle génération. Ceci vient en partie du fait que l'appareil récent « étanche » réagit de manière marquée aux réglages d'air utilisés. L'appareil ancien utilise les fuites présentes au niveau de la porte pour apporter de l'air secondaire à la combustion, de façon indépendante des réglages utilisés.

4.3. Synthèse des principaux résultats

D'une manière générale il a été observé que certains paramètres liés au combustible ont tout autant d'impact sur les émissions de TSP que le type d'appareil de chauffage au bois utilisé.

Quel que soit le type d'appareil utilisé, les paramètres impactant la qualité de combustion sont, dans l'ordre d'importance :

- Impact fort : le couple allumage/tirage et l'humidité du combustible ;
- Impact moyen : le calibre et la présence d'écorce ;
- Impact faible : Le facteur utilisation et l'essence.

Il est intéressant de noter que malgré des réglages utilisés pour dégrader la combustion (réduction du réglage d'air comburant), le facteur utilisation reste peu impactant au regard des autres paramètres.

Par ailleurs, l'analyse des interactions a montré que lors de la dégradation simultanée de deux paramètres liés au combustible et à la combustion, il pouvait y avoir un effet supplémentaire négatif sur les émissions de polluants par rapport aux influences isolées des deux paramètres. Ces résultats ont été observés en particulier pour les interactions suivantes : allumage&tirage/humidité, appareil/calibre et appareil/utilisation.

5. Conclusion et recommandations

Au travers de cette étude, il a été montré que, pour améliorer la qualité de l'air, les paramètres liés au combustible sont tout aussi importants que ceux liés à l'appareil. L'utilisation d'un combustible de qualité a aussi l'intérêt d'optimiser l'efficacité énergétique des installations (réduction des consommations) et d'augmenter la durabilité des installations (notamment des conduits de fumée). Enfin, il permet d'agir sur tous les générateurs, que ce soit sur le parc existant ou sur les appareils récents.

Les actions engagées pour améliorer la qualité de l'air doivent donc, pour optimiser leur effet, intégrer la qualité du combustible utilisé. A ce titre, il est primordial de mobiliser l'ensemble des acteurs (industriels, ramoneurs, revendeurs, ADEME, collectivités, particuliers, etc.) autour de ces enjeux, et de cibler en priorité les actions suivantes :

- **Soutenir la filière des ramoneurs, en pleine restructuration**

Dans certains pays comme l'Allemagne, avec l'Ordonnance fédérale sur le contrôle des émissions BImSchV, ou dans certains cantons en Suisse avec l'Ordonnance sur la protection de l'air, des actions ont été mises en place pour que le ramoneur soit en mesure de contrôler la qualité du combustible utilisé. Dans ces localités, ces actions ont été rendues possibles du fait des pouvoirs étendus des ramoneurs par rapport à leurs homologues français. Ils sont par exemple missionnés par les communes pour réaliser les opérations de contrôle et de ramonage obligatoires. Ils interviennent, sur avis de passage, pour ces opérations d'après une liste des installations soumises à ces contrôles. Cette action est donc peu transposable en France puisque le rôle du ramoneur dans ces pays est différent de celui des ramoneurs en France, mais ceci renforce l'idée que, dans le cadre de sa restructuration, la filière des ramoneurs doit être soutenue en raison de leur lien privilégié auprès des utilisateurs d'appareils de chauffage au bois domestique.

- **Utiliser des techniques adaptées pour l'obtention d'un combustible de qualité**

Les possibilités techniques pour obtenir un combustible adapté sont multiples et diffèrent en fonction du volume produit et du circuit d'approvisionnement. Elles passent par exemple par un séchage naturel (traditionnel) suffisamment long ou un séchage en cellules (industriel).

- Le séchage naturel présente l'avantage d'être peu coûteux en énergie mais reste relativement long (2 ans). La capacité de stockage est donc une contrainte importante pour les revendeurs qui livrent souvent du bois ayant séché moins d'un an sur parc ou sans garantie d'humidité. Dans ce cadre, il est important de veiller aux bonnes pratiques des utilisateurs quant au stockage et au séchage de leur combustible.
- Les techniques de séchage artificiel permettent d'avoir un combustible standardisé plus rapidement (quelques semaines), mais elles sont plus coûteuses et énergivores. On estime que la zone de compétitivité de ces procédés débute à partir de 4 000 m³ par an.

Pour ce qui concerne le calibre des bûches, les techniques de fendage sont adaptées à la fois à des pratiques artisanales et industrielles. La préconisation de calibres standardisés, qui limiteraient les sections trop importantes, pourrait être une piste intéressante à développer, par exemple dans le cadre de certifications des produits ; mais ceci resterait limité aux seules bûches commercialisées officiellement.

Quant aux moyens de contrôle, pour les revendeurs professionnels, des outils de mesure des caractéristiques des combustibles sont peu coûteux et faciles d'utilisation. Les humidimètres (ex. à pointes résistives) permettent une estimation immédiate de l'humidité d'une bûche (en prenant soin d'effectuer cette mesure à l'endroit approprié).

- **Communiquer les bonnes pratiques auprès des particuliers**

Le développement conjoint des techniques de production de ces bûches et la certification de celles-ci devrait permettre de standardiser les combustibles vendus sur le marché et d'élever leur qualité. Mais il serait important de pouvoir valoriser ces produits auprès des utilisateurs qui ne perçoivent pas toujours l'intérêt de l'utilisation de bois de chauffage adapté à leur installation.

Il pourrait par exemple être créé un label promouvant le bois de qualité (sur le même modèle que Flamme Verte pour les appareils). La certification NF des bûches pourrait aussi s'orienter vers ces produits performants tout en les valorisant auprès des consommateurs.

Le lancement par l'ADEME des Fonds Air, des opérations de renouvellement du parc ancien des appareils de chauffage domestique au bois, menées par les collectivités, doit également permettre de renforcer l'animation territoriale autour des enjeux liés à la qualité du combustible bois.

Sigles et acronymes

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
CERIC	Centre d'Essais et de Recherche des Industries de la Cheminée
CITEPA	Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique
D2I	Dupire Invicta Industrie
FV 5*	Flamme Verte 5 étoiles
LERMAB	Laboratoire d'Étude et de Recherche sur le Matériau Bois
NOx	Oxydes d'Azote
PM (X)	Matières Particulaires (de diamètre inférieur à X micromètres)
TSP	Total Suspended Particles

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

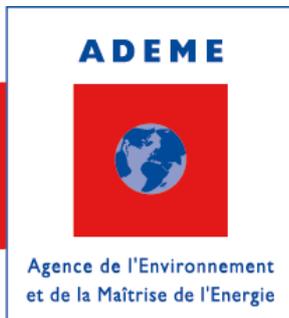
www.ademe.fr

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