

# Enseignement des études à l'émission réalisées par l'Ineris sur la combustion du bois en foyers domestiques



## Risques chroniques

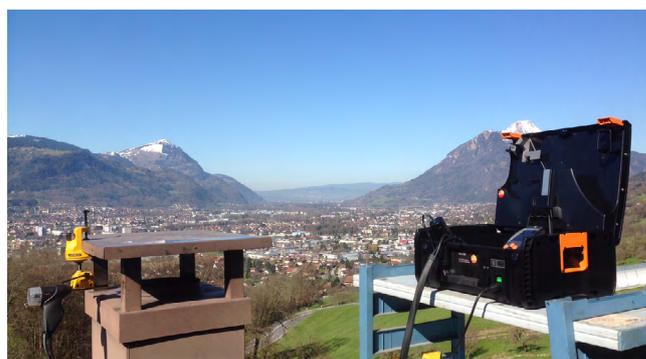
Septembre 2018

**L**e bois énergie est la première source d'énergie renouvelable utilisée en France. L'enjeu est que ce développement, utile à la lutte contre le changement climatique, ait le moins possible d'impact sur la qualité de l'air. La combustion du bois, en particulier dans le cas d'appareils domestiques, est en effet à l'origine d'émissions de polluants : particules fines dangereuses pour la santé mais aussi autres composés toxiques tels que le monoxyde de carbone, les composés organiques volatils et les oxydes d'azote. L'Ineris a réalisé une synthèse des enseignements tirés des principales études qu'il a menées sur la caractérisation des émissions depuis une dizaine d'années. Cette synthèse présente les principales connaissances acquises sur la nature des polluants émis, les méthodes pour les mesurer, les facteurs d'influence des émissions et les leviers pour les réduire.

Pour faire face aux enjeux climatiques, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte du 17 août 2015 prévoit de porter la part des énergies renouvelables à 23% de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32% en 2030. Le bois énergie est la première source d'énergie renouvelable (chaleur et électricité) utilisée en France. La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) prévoit une contribution croissante pour la production électrique puisqu'elle doit passer de moins de 300 MW à fin 2014 à plus de 800 MW en fin 2023 (c'est-à-dire l'équivalent d'une croissance en équivalent production annuelle de 230 kTEP à 620 kTEP) ; et une croissance en proportion plus faible pour la production de chaleur (de 10 600 kTEP en 2013 à environ 13 500 kTEP en 2023).

Tout l'enjeu est que ce développement utile à la lutte contre le changement climatique ait le moins possible d'impact sur la qualité de l'air et se fasse dans le respect des directives européennes de qualité de l'air qui fixent des seuils de concentrations maximales pour certains polluants. La combustion du bois est en effet à l'origine d'émissions de polluants ; particulièrement dans le cas d'appareils domestiques où la combustion peut s'avérer incomplète à certaines allures. Ces émissions ont un impact sur la qualité de l'air extérieur moyenne et la qualité de l'air intérieur. Elles peuvent par ailleurs, à certaines périodes de l'année et dans certaines zones, contribuer significativement aux épisodes de pollution atmosphérique. Actuellement, la France est en situation de contentieux avec la Commission européenne pour non-respect des niveaux de particules fines ( $PM_{10}$ )

dans l'air de nos grandes villes ou vallées alpines. Or, l'amélioration de la qualité de l'air est un enjeu majeur pour la santé humaine. Le décret du 10 mai 2017 et l'arrêté du 11 mai 2017 qui composent le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA) fixent ainsi des objectifs de réduction des émissions de  $PM_{2,5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $NH_3$  et COVNM à horizon 2020, 2025 et 2030, pour les quatre principaux secteurs émetteurs que sont les transports, le résidentiel-tertiaire, l'industrie et l'agriculture et détermine des actions de réduction à renforcer et mettre en œuvre.



Les données du Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA SECTEN 2015), indiquent que la combustion de bois dans les foyers domestiques (chaudières, inserts, foyers fermés et ouverts, cuisinières, etc) contribue pour une large part en France aux émissions annuelles nationales d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) à hauteur de 59%, de benzène pour 58% et de particules fines primaires ( $PM_{2,5}$ ) pour 44%.

Il est donc important pour l'avenir de la filière bois-énergie de limiter et réduire l'impact du parc domestique sur la qualité de l'air, notamment sur les niveaux de concentration en particules dans l'atmosphère.

## Bilan des connaissances

### Formation des particules

Les particules issues, plus ou moins directement, des processus de combustion domestique de bois peuvent être divisées en deux catégories :

- / **les particules primaires** : elles présentent une fraction solide et par convention une fraction dite condensable ;
- / **les particules secondaires** : elles se forment dans l'atmosphère après émission par des phénomènes de photooxydation, principalement à partir des précurseurs gazeux (composés organiques semi-volatils et volatils) les plus réactifs.

Les particules présentes à l'état solide dans le conduit se forment principalement dans les zones les plus froides de la chambre de combustion et contiennent notamment du carbone organique (OC) et du carbone élémentaire (EC ou BC). La fraction condensable est constituée d'espèces semi-volatiles organiques (COSV) dont le poids moléculaire est élevé et qui, par refroidissement hors du conduit forment des particules par condensation. Cette condensation des composés organiques semi-volatils sur les particules préexistantes a lieu très rapidement, immédiatement après rejet dans l'air ambiant (projet Champrobois, 2014). La concentration de la fraction solide peut être quantifiée par simple collecte sur un filtre chauffé, alors que la quantification de la concentration de la fraction condensable requiert l'utilisation d'une méthode par piégeage dans un liquide approprié refroidi (méthode à barbotage) ou sur filtre après dilution des gaz (méthode du tunnel à dilution).

Dans le cas de la combustion du bois, l'aérosol secondaire est très majoritairement de nature organique (aérosol organique secondaire ou AOS). La formation et l'évolution dans l'atmosphère des composés secondaires issus des précurseurs organiques émis par la combustion du bois sont encore assez mal connues alors que cet AOS peut contribuer de façon importante à la pollution particulaire. Il n'existe à ce jour pas de méthode normalisée permettant de caractériser le potentiel de formation d'AOS d'une source.

Réduire la contribution de la filière combustion domestique de biomasse aux concentrations de particules dans l'air ambiant n'implique donc pas uniquement de réduire les émissions de particules solides, mais aussi et surtout celles de la fraction condensable ; et des COV incluant le benzène. La fraction condensable comprend

les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) dont le benzo(a)pyrène (BaP), alors que parmi les COV figure le benzène. Une telle réduction, permettra un co-bénéfice sur les niveaux d'émission de ces composés qui sont des polluants en tant que tel et qui font également l'objet à ce titre d'objectifs de réduction et d'une surveillance dans l'air ambiant conformément aux directives 2004/107/CE et 2000/69/CE.

### Amélioration des conditions de combustion

Sur un cycle complet, environ 80% des émissions polluantes ont lieu durant les 10 à 15 minutes après l'allumage à froid de la première charge bois ou à chaud des charges bois suivantes (rechargement). Réduire ce pic de pollution pourrait donc conduire à une réduction drastique des émissions polluantes.

L'amélioration des conditions de combustion intervient sur les émissions de la fraction solide mais surtout sur les émissions de la fraction organique condensable et des COV. Ceci explique la quasi-inexistence de ceux-ci sur des installations de plus fortes puissances où les temps de séjour des gaz et particules sont plus conséquents et les niveaux de température plus élevés.



L'influence des paramètres de fonctionnement sur la qualité de la combustion et les émissions polluantes des appareils a fait l'objet d'une étude bibliographique récente (rapport Ineris DRC-17-164787-08043A) basée sur l'analyse d'une quinzaine de travaux expérimentaux de l'Ineris et d'autres organismes. Elle a permis de dégager des tendances sur les facteurs d'influence des émissions et les écarts pouvant être observés sur les performances environnementales et énergétiques des appareils selon les conditions réalisation des tests :

- / **l'humidité du bois** : comprise entre 12 et 25% voire plus ; au-delà de 25%, une augmentation des

émissions et une diminution du rendement et de la puissance délivrée sont observés ;

- / **l'essence de bois** : les émissions sont en général plus fortes lors de la combustion de chêne ou de résineux que de charme ou de hêtre ;
- / **l'allure de fonctionnement de l'appareil** : l'utilisateur est souvent amené à faire fonctionner son appareil à allure réduite (en limitant les entrées d'air comburant) car son besoin en chauffage ne correspond pas en continu à la puissance nominale délivrée par l'appareil, si celui-ci a été dimensionné pour subvenir à des épisodes de grand froid, pour compenser un tirage trop élevé de son installation, si l'utilisateur n'est pas physiquement présent pour recharger le foyer (cas des fonctionnements nocturnes par exemple) ;
- / **la charge, et la qualité de bois utilisée** qui peuvent être variables (dimension, diamètre, humidité des bûches, essences de bois, quantité d'écorce, etc.) ;
- / **le tirage** : il varie de façon importante d'un logement à l'autre en fonction de la hauteur du conduit et de l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. Un tirage important n'est pas particulièrement défavorable mais peut provoquer une combustion plus rapide avec des temps de séjour insuffisants pour assurer une combustion achevée qui peut amener l'utilisateur à faire fonctionner son appareil à allure réduite. Le tirage varie en fonction de l'avancement de la combustion ;
- / **le vieillissement des appareils** : au cours du temps, une usure des joints et des déformations du foyer peuvent avoir lieu, et engendrer des entrées d'air parasites.

À noter que l'action simultanée de plusieurs facteurs dégradant la qualité de la combustion donne lieu à des émissions de polluants supplémentaires par rapport à celles dues à l'impact additionné de ces facteurs pris séparément.

## Evaluation des performances environnementales

Les tests menés selon les normes en vigueur pour évaluer les performances énergétiques et environnementales des appareils sont effectués uniquement dans des conditions de référence bien particulières. Ces conditions nominales sont souvent relativement éloignées des conditions réelles de fonctionnement décrites ci-dessus. La réalisation de tests dans ces conditions de fonctionnement conduirait, d'après les études AFAC, 2015 et Bereal, 2017 :

- / à sous-estimer fortement les émissions réelles de polluants qui sont principalement émis lors de phases exclues de ces tests (CO et COV émis en grande quantité lors de l'allumage et lors du régime de braises, et de PM émises essentiellement lors de l'allumage). L'application d'un protocole

plus réaliste (prise en compte de l'intégralité de la combustion, allumage à froid et régime de braises compris) conduirait par exemple à une augmentation de 260% à 370% des émissions de CO, de 410% des émissions de COV et de 300% à 500% des émissions de la fraction solide des particules par rapport à l'application du protocole normalisé ;

- / à surestimer le rendement énergétique, de 5 à 16 points.

Aucune méthode normalisée de mesurage des émissions de particules ne bénéficie d'un consensus au niveau européen. La Directive Ecoconception fait référence à quatre méthodes de mesurage : la méthode du filtre chauffé (SP), deux variantes de la méthode du tunnel à dilution (DT), et une méthode basée sur l'utilisation d'un électrofiltre ; avec des valeurs limites distinctes selon les méthodes utilisées.

Toutes ces méthodes permettent de mesurer la fraction solide de l'aérosol, mais seules les méthodes du tunnel à dilution (DT) et à barbotage (SPC) permettent de prendre en compte la fraction condensable de l'aérosol, de manière analogue. La méthode du prélèvement sur filtre chauffé (SP) et celle du prélèvement dans un tunnel à dilution (DT) sont les plus majoritairement utilisées par les laboratoires notifiés pour la réalisation des essais de conformité des appareils dans le cadre de l'obligation du marquage CE, et ont été sélectionnées dans le projet de norme Pr EN 16510 en cours de publication. Enfin, une méthode a été proposée suite aux travaux du projet EN\_PME\_TEST, basée sur la méthode du filtre chauffé (SP), combinée au mesurage des COVT avec un détecteur à ionisation de flamme (FID), qui donne un bon indicateur de la fraction condensable. Cette méthode combinée pourrait, sous deux à trois ans se substituer aux deux méthodes présentées dans la PrEN 16510.

Quatre voies sont possibles pour réduire les émissions de polluants :

- / **l'amélioration de l'efficacité énergétique**. Elle permet de diminuer les consommations de bois de façon significative ; les émissions pour un même besoin en chauffage sont donc moins importantes ;
- / **la réduction des émissions à la source** ou réduction primaire : elles consistent à améliorer les performances environnementales (qualité de la combustion) des appareils ;
- / **l'installation de dispositifs sur les appareils existant**, permettant de réduire les émissions de polluants ;
- / **l'installation, l'entretien et l'utilisation de l'appareil**.

Un certain nombre de technologies permettent d'obtenir des performances énergétiques élevées tout en minimisant les émissions polluantes :

- / les appareils à combustion catalytique (peu utilisés en Europe) : ils permettent une oxydation catalytique d'un certain nombre de composés dont le monoxyde de carbone et les composés organiques constituant la fraction condensable des particules ;
- / les appareils à combustion avancée (non catalytique) : appareils conçus de manière empirique à partir de l'expérience de chaque constructeur. En France, la répartition des débits d'air primaire, secondaire et air de vitre, ainsi que le positionnement de ces entrées d'air sont définis moyennant la réalisation d'essais permettant d'orienter les choix et de positionner les performances du nouvel appareil par rapport aux exigences du label Flamme Verte ;
- / les poêles de masse, ces poêles sont conçus pour emmagasiner l'énergie produite lors de la combustion et pour restituer lentement la chaleur dans la pièce à chauffer, jusqu'à 24 h après la fin de la combustion. Bien conçus et du fait de leur grande capacité à restituer la chaleur, ces poêles fonctionnent en général peu de temps par jour, essentiellement à allure nominale ;
- / les poêles à granulés, ces équipements sont parmi les plus performants du marché, tant sur le plan énergétique qu'environnemental. Ces appareils permettent d'obtenir des rendements élevés (environ 90%) grâce à un bon mélange et un ratio air comburant et combustible, la faible taille des granulés favorisant le passage de l'air, et une alimentation automatique en combustible. Les performances des poêles à granulés constatées sont en général élevées mais restent très disparates d'un appareil à l'autre en fonction de leur conception, et surtout à faible allure (BeReal, 2016) ;
- / les chaudières domestiques : quelles que soient les chaudières (à granulés, à bûches ou à plaquettes), ces installations se caractérisent par de meilleures performances énergétiques et environnementales que les appareils précédents. Lorsqu'elles sont associées à un ballon d'eau chaude tampon, les chaudières fonctionnent essentiellement à allure nominale, La fraction condensable des particules à l'émission des chaudières est en général très faible (de l'ordre de quelques mg/m<sup>3</sup>).

En France, mais également à l'étranger comme par exemple en Norvège, l'amélioration des performances des appareils neufs s'avère lente (réduction des émissions de particules de l'ordre de 2,5% par an lors des quinze dernières années). Le bénéfice de l'amélioration des performances des appareils neufs sur la qualité de l'air pourrait par ailleurs être amoindri, du moins en partie, par la dégradation dans le temps des performances de ces appareils, du fait de leur vieillissement et de leur longévité.

Or, des performances plus élevées pourraient être atteintes rapidement :

- / en restreignant le domaine d'utilisation des appareils de façon à éviter des allures très réduites (combustion en défaut d'air conduisant à des phases très émissives) ;
- / en améliorant la conception des appareils, l'objectif étant d'obtenir dans la phase de démarrage une combustion progressive en amenant l'excès d'air juste nécessaire pour assurer l'oxydation complète sans pour autant refroidir les gaz. La gestion des entrées d'air est donc primordiale afin d'éviter le pic d'émission de polluants lors de l'allumage, les particules totales étant essentiellement émises lors de cette phase. Pour cela, un minimum de régulation des entrées d'air, notamment en tout début de combustion est probablement nécessaire ;
- / enfin, même sur des appareils performants, de forts niveaux d'émission peuvent être observés si ceux-ci sont utilisés dans de mauvaises conditions. Une autre voie possible pour réduire les émissions polluantes serait donc de favoriser l'utilisation d'appareils qui nécessitent le moins possible l'intervention d'un opérateur, via une régulation simple des entrées d'air par exemple en fonction de l'avancement de la combustion. Ce type de technologie a été testé dans le projet européen Ultra Low Dust.

Les techniques de réduction (techniques primaires ou secondaires : électrofiltres, filtres catalytiques etc.) à installer sur les appareils existants, agissent pendant (dans la chambre de combustion) ou après (dans le conduit) la combustion pour réduire les émissions de polluants. Elles sont prometteuses en termes d'efficacité de réduction (Peren2Bois 2012, [ERFI 2017](#)) et évoluent rapidement mais présentent encore des contraintes importantes d'intégration dans l'habitat. Par ailleurs, des interrogations demeurent concernant l'efficacité et le coût à long terme, l'entretien de ces systèmes et leurs effets induits. Il semble nécessaire d'avoir des réponses à ces questionnements avant toute mise en œuvre à grande échelle.

Une information des utilisateurs et des différents acteurs (la formation des installateurs, l'information des fournisseurs de bois de chauffage), concernant les enjeux d'utilisation aussi bien énergétiques qu'environnementaux de ce mode de chauffage est également nécessaire à la réduction des émissions de la filière.

## Voies d'amélioration

### Harmoniser les méthodes, améliorer les pratiques

La caractérisation à l'émission des deux fractions, solide et condensable, est indispensable dans l'objectif d'établir des facteurs d'émission pertinents pour alimenter

les inventaires d'émission. Pour ce faire, les méthodes SPC ou DT, qui permettent une détermination de la fraction condensable, en plus de la fraction solide habituellement déterminée (méthode SP), doivent être préconisées.

S'agissant de la directive Ecoconception, l'établissement de valeurs limites contraignantes sur la fraction solide et les COVT devrait permettre d'améliorer les performances environnementales des appareils. Il existe par ailleurs un enjeu fort d'harmonisation des méthodes. À terme, il serait souhaitable que la méthode de mesure proposée par le consortium EN\_PME\_TEST se substitue aux deux méthodes décrites dans la PrEN16510 afin de disposer d'une méthode et de valeurs limites communes à travers l'Europe.

L'amélioration et l'homogénéisation des pratiques de prélèvements est également essentielle pour garantir la génération de données d'émission fiables et comparables. Pour ce faire, il apparaît nécessaire que les organismes réalisant les tests d'aptitude des foyers montrent leur capacité technique à réaliser ces essais à travers une accréditation selon le référentiel EN ISO 17025 pas uniquement sur les performances énergétiques (calcul du rendement), comme c'est le cas actuellement, mais également sur les mesures de polluants. L'équivalence des résultats produits par ces organismes pourrait par ailleurs être démontrée à travers la participation obligatoire à des exercices interlaboratoires organisés sur une matrice de gaz réelle par un organisme accrédité selon le référentiel EN ISO 17043.



### Déterminer des conditions de tests proches des usages réels

La réalisation d'essais de performances et de détermination des facteurs d'émission plus représentatifs, avec notamment la prise en compte de l'ensemble de la période de combustion et des conditions tests proches des usages réels des appareils, est indispensable.

Ceci permettra d'éviter de mettre sur le marché des appareils uniquement optimisés pour fonctionner dans des conditions opératoires particulières non représen-

tatives et permettre des progrès suffisants des rendements et des niveaux d'émission des appareils utilisés en conditions réelles.

### Perspectives

De nouvelles études portant sur la photo-réactivité des effluents de combustion du bois mais également d'autres sources (combustion fossile, émissions industrielles, etc.), seront nécessaires dans le futur afin d'évaluer le potentiel global de formation d'aérosols secondaires et de mieux cerner la contribution des différentes sources à la pollution de l'air.

Des actions d'amélioration des connaissances sur les autres sources biomasse (brûlages « sauvages », PME du bois...) seront également nécessaires pour mieux cerner la part des différentes contributions.

Une prise en compte du vieillissement des appareils en comparant par exemple les performances d'appareils neufs à celles d'appareils utilisés depuis plusieurs années, est nécessaire.

L'information de l'utilisateur notamment par la promotion de bonnes pratiques d'utilisation est indispensable. En effet, certaines pratiques mériteraient d'être supprimées de certaines notices telles que l'augmentation de la charge à faible allure si les performances de l'appareil ne sont pas connues à cette allure. D'autres pratiques telles que le mode d'allumage par le haut qui permettrait (ERFI, 2017) de réduire lors des allumages à froid de 30 à 50% des émissions polluantes sur un cycle complet de combustion, sont quant à elles à promouvoir auprès des utilisateurs. Cette information doit être réalisée avec la participation de tous les acteurs concernés par cette problématique en France, afin de rendre cohérent et homogène le discours à faire passer auprès de la population.



Enfin, un suivi de l'efficacité sur le long terme des actions engagées (renouvellement des appareils, information des utilisateurs, etc.) pour une évaluation de l'évolution de la contribution de la biomasse et d'autres sources de particules et de précurseurs de secondaires, aux concentrations mesurées dans l'air ambiant (dispositif CARA), mais aussi dans l'air intérieur sera enfin nécessaire.