



**HAL**  
open science

## Etude de la destruction par oxydation des imbrûlés solides des appareils de chauffage indépendants au bois

Marie-Laure Rabot-Querci, Yann Rogaume, Caroline Rogaume, Georges Roussy, André Zoulalian

### ► To cite this version:

Marie-Laure Rabot-Querci, Yann Rogaume, Caroline Rogaume, Georges Roussy, André Zoulalian. Etude de la destruction par oxydation des imbrûlés solides des appareils de chauffage indépendants au bois. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00167528

**HAL Id: hal-00167528**

**<https://hal.science/hal-00167528v1>**

Submitted on 29 Aug 2007

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# ETUDE DE LA DESTRUCTION PAR OXYDATION DES IMBRULES SOLIDES DES APPAREILS DE CHAUFFAGE INDEPENDANTS AU BOIS

Marie-Laure RABOT-QUERCI<sup>1</sup>, Yann ROGAUME<sup>1</sup>, Caroline ROGAUME<sup>1</sup>, Georges ROUSSY<sup>2</sup>, André ZOULALIAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>LERMAB, ENSTIB, 27, rue du Merle Blanc, BP 1041, Epinal cedex 9

<sup>2</sup>PROMITHE, 14, rue de Maréville, 54520 Laxou

<sup>3</sup>LERMAB, Faculté des Sciences et Techniques, Université Henri Poincaré Nancy 1, BP 239, 54506 Vandoeuvre les Nancy cédex  
*yann.rogaume@enstib.uhp-nancy.fr*

## Résumé :

Dans le cadre du développement des énergies renouvelables, le chauffage au bois au niveau des habitations individuelles va conserver sa primauté. Toutefois, malgré l'optimisation de la combustion au niveau de foyers, les rejets d'imbrûlés solides demeurent encore élevés pour un emploi intensif en zones fortement urbanisées. Ces imbrûlés, principalement composés de carbone, peuvent encore être oxydés. Nous avons comparé la destruction des imbrûlés sous l'effet de la chaleur uniquement, et sous rayonnement micro-ondes. Il apparaît qu'en présence de micro-ondes, un apport d'énergie de 200 kJ permet de détruire complètement les imbrûlés pour une température inférieure à 400°C, alors qu'une température de 600°C ne permet de détruire que 75 % des imbrûlés sans les micro-ondes.

**Mots clés :** combustion, imbrûlés solides, régénération, micro-ondes

## 1. INTRODUCTION

En France, plus de six millions de foyers utilisent le bois comme source principale de chaleur, notamment dans des appareils de types foyers, inserts ou poêles. Cela représente 5 % de l'énergie totale consommée et plus de 50 % des énergies renouvelables utilisées [1]. Suite aux accords internationaux sur la réduction des émissions de polluants dans l'atmosphère, à la hausse du prix des énergies fossiles et aux diverses mesures nationales et européennes (campagnes d'information, incitations fiscales, ...), les ventes d'appareils de chauffage individuel au bois croissent chaque année de plus de 5 %. Il est donc primordial d'avoir une combustion la meilleure possible dans ces appareils.

Dans les appareils de conception récente, la qualité de la combustion permet de respecter les normes et charte de qualité en vigueur (émissions de CO inférieures à 0,6 %). Cependant, les émissions d'imbrûlés solides restent élevées avec des émissions de l'ordre de 500 mg/Nm<sup>3</sup>. Ces particules, principalement composées de carbone (environ 64 %), peuvent encore être oxydées [2, 3]. Pour cela, nous comparons une dégradation uniquement sous l'effet de la chaleur dans un four à moufles et une dégradation sous rayonnement micro-ondes.

## 2. DESTRUCTION DES IMBRULES DANS UN FOUR A MOUFLES

Pour piéger les imbrûlés, un lit filtrant composé de billes de ciment réfractaire de 1 cm de diamètre et d'une hauteur de 5 cm est placé directement à l'intérieur de la cheminée à la sortie d'un foyer fermé. Après 3 cycles de combustion, les billes chargées sont placées dans un four à mouffles balayé par un courant d'air. Les paramètres étudiés sont la température du four et le temps de séjour des billes dans le four.

Pour un temps de séjour fixé à 90 min, le taux de régénération augmente avec la température (figure 1.a), et il est de l'ordre de 75 % à 600°C. Cette température étant déjà très élevée par rapport à la température des fumées de combustion, nous avons cherché à préciser la durée minimale de régénération à 600°C nécessaire pour atteindre la valeur obtenue précédemment. Les résultats sont résumés sur la figure 1.b. Une durée de 5 minutes semble suffisante. Ainsi, avec un chauffage classique à 600°C, le maintien de cette température pendant 5 minutes permet de dégrader les imbrûlés solides issus de la combustion du bois à  $77 \pm 3$  % (3 ou 4 essais pour chaque température et chaque durée).

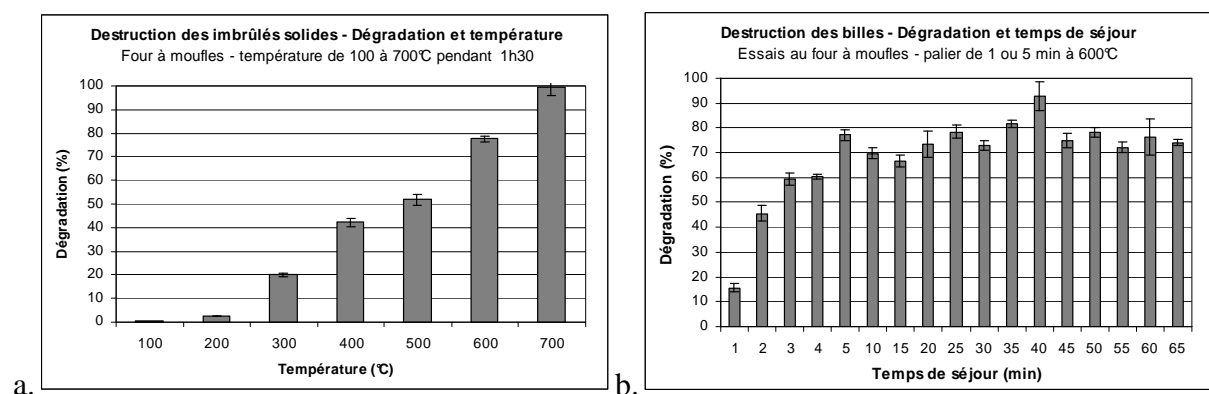


Figure 1 : Oxydation des imbrûlés dans le four à mouffles : a- en fonction de la température, b- en fonction du temps de séjour pour  $T=600^{\circ}\text{C}$

Ainsi, en exposant les imbrûlés uniquement à de la chaleur, il est nécessaire de les maintenir 5 min à 600°C pour détruire 75 % des particules.

### 3. DESTRUCTION DES IMBRULES PAR MICRO-ONDES

La deuxième voie de destruction des imbrûlés est de les exposer à un rayonnement micro-ondes pour atteindre les températures nécessaires. Les imbrûlés ayant une faible permittivité, nous avons choisi de chauffer à la fois les particules et les billes du lit filtrant sur lesquelles elles sont déposées.

#### 3.1. Dispositif expérimental – Grandeurs mesurées

Pour étudier le chauffage et la régénération du lit filtrant, nous avons conçu le dispositif représenté sur la figure 2. A la sortie de l'appareil de chauffage, un changement de section (A) permet de passer de la cheminée (de diamètre 180 mm) au guide d'onde rectangulaire (50 x 100 mm). Une grille en céramique (B) repose sur ce guide et sur laquelle s'appuie le guide contenant le produit à chauffer (C). A l'intérieur de ce guide (C), se trouve le lit filtrant de 5 cm de hauteur composé de 5 rangées de billes réfractaires placées à l'intérieur d'un tube en pyrex (D). Au dessus du guide (C), un guide d'ondes en té (E) permet l'introduction des micro-ondes dans l'applicateur. A la sortie de l'applicateur, un deuxième changement de section (F) permet de passer d'une section rectangulaire à la conduite de cheminée de 180 mm de diamètre.

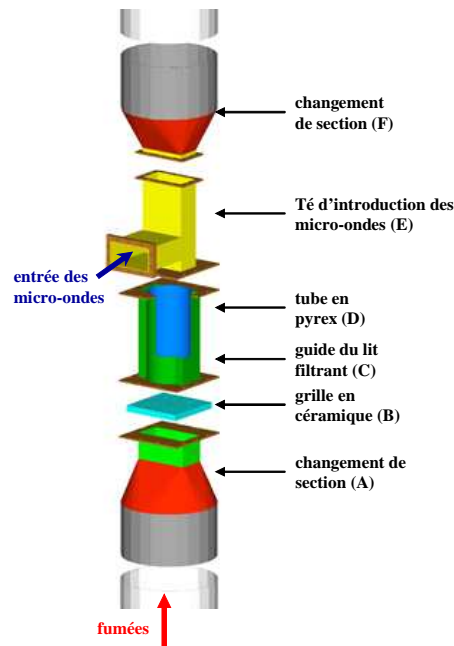


Figure 2 : Dispositif de régénération sous irradiation micro-onde

Un magnétron fournit une puissance électromagnétique réglable pouvant aller jusqu'à 1,5 kW avec une fréquence de 2,45 GHz. Il est protégé par un accordeur d'impédance permettant de limiter l'énergie réfléchiée par l'applicateur, et par un circulateur à charge d'eau dissipant l'énergie réfléchiée.

Pour simuler le fonctionnement d'un appareil de chauffage, le dispositif est alimenté par un débit d'air chaud dont la température et le débit sont contrôlés et correspondent aux valeurs observées lors des essais de combustion.

Pour le rayonnement micro-onde, les mesures de la puissance du générateur et de celle réfléchiée permettent d'estimer la puissance absorbée par l'applicateur (billes, grille, guide, ...) après étalonnage. Deux thermocouples placés correctement dans l'applicateur permettent de suivre en continu la température de la phase gazeuse en amont et en aval du lit de billes. Enfin, la température moyenne de la face supérieure du lit de billes est mesurée par thermographie infrarouge et des billes peintes avec une peinture thermique placées dans la hauteur du lit permettent de confirmer les niveaux de température atteints dans le lit.

## 3.2. Résultats et discussions

### 3.2.1. Chauffage du lit sous rayonnement micro-onde

Le lit de billes est traversé par un courant d'air chaud dont la température et le débit sont fixés. Après atteinte d'un équilibre thermique au niveau du lit filtrant, le magnétron est mis en route avec une puissance fixée, et les températures de la phase gazeuse en amont et en aval du lit et des billes à la face supérieure du lit sont mesurées en fonction du temps d'exposition aux micro-ondes. Des courbes typiques de variation des températures sont reportées sur la figure 3. Au bout de 10 à 15 minutes, un nouvel état d'équilibre thermique est atteint. La coupure du rayonnement micro-onde conduit à une diminution exponentielle des températures permettant d'estimer les échanges thermiques globaux du lit avec le milieu extérieur.

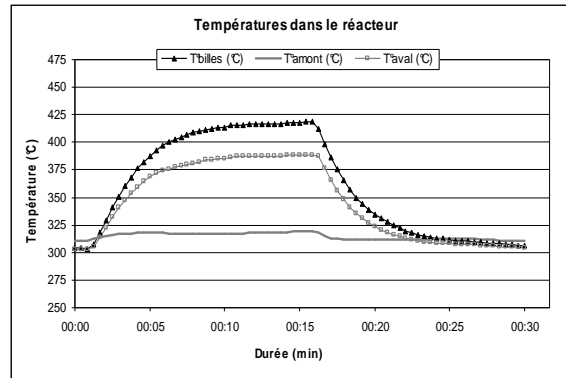


Figure 3 : Chauffage du lit filtrant sous rayonnement micro-onde

L'écart maximal de température atteint lors de l'irradiation micro-onde dépend de la puissance absorbée par l'applicateur mais dépend peu du niveau de température du gaz à l'entrée du lit, du moins dans le domaine de température étudié (250-300°C).

### 3.2.2. Régénération du lit filtrant

Les billes chargées de particules sont pesées puis placées dans le dispositif de régénération. Après une mise en température de 1h30, le lit filtrant est exposé aux micro-ondes avec les paramètres opératoires choisis (puissance absorbée, durée d'irradiation). A la fin de l'exposition, de l'air froid est injecté pour refroidir le système. Les billes régénérées sont à nouveau pesées puis nettoyées complètement dans le four à moufle à 900°C durant 12h. Le taux de régénération  $R$  est calculé par la relation suivante :

$$R(\%) = 100 \cdot \frac{\text{Masse du filtre chargé} - \text{Masse du filtre régénéré}}{\text{Masse du filtre chargé} - \text{Masse du filtre régénéré à } 900^{\circ}\text{C}} \quad (1)$$

Pour chaque essai de régénération, nous avons évalué l'énergie fournie par micro-onde durant la régénération :

$$E_b = (P_g - P_r) \cdot \alpha \cdot D \cdot 100 \quad (2)$$

avec  $E_b$  l'énergie absorbée par les billes,  $P_g$  la puissance fournie par le générateur micro-onde,  $P_r$  la puissance réfléchiée par l'applicateur,  $\alpha$  le rendement du dispositif (0,75 dans notre cas) et  $D$  la durée d'exposition.

Les figures 4.a et 4.b représentent les températures de la face supérieure du lit et du taux de régénération en fonction de l'énergie absorbée par les billes  $E_b$ .

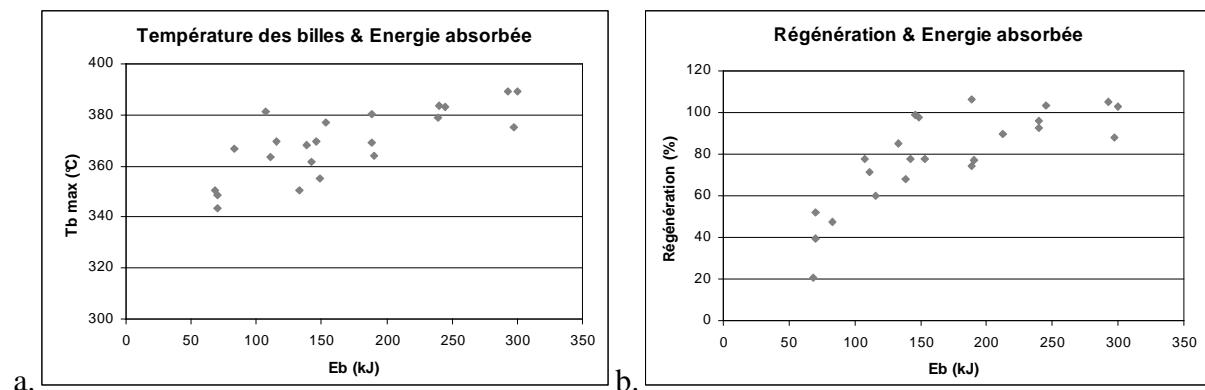


Figure 4 : Régénération du lit filtrant sous irradiation micro-onde : a- Température des billes à la face supérieure du lit, b- Taux de régénération du lit filtrant

On constate que les billes peuvent être totalement régénérées pour des temps de régénération de 10 minutes et pour une consommation d'énergie de l'ordre de 200 kJ. De plus la régénération est obtenue pour des températures comprises entre 380 et 390°C, donc très inférieures à celles nécessitées pour une régénération en four à moufles. Pour conforter ces résultats, nous avons procédé aux vérifications expérimentales suivantes :

- En l'absence du rayonnement micro-onde, la régénération des billes par de l'air chaud dont la température est inférieure à 300°C est faible (< 20 % - § 2).
- L'envolement des particules déposées sur les billes par l'écoulement d'air durant la durée des essais (chauffage + refroidissement) est de l'ordre de 13 %.
- La température du lit de billes est homogène. En effet, on aurait pu penser à une variation de température entre la 1<sup>ière</sup> et la 5<sup>ième</sup> rangée de billes. Les billes peintes placées dans les différentes rangées présentent peu de différences entre elles. De plus, la peinture thermique utilisée change de couleur à partir de 490°C. Nous n'avons pas noté de changement significatif de couleur, ce qui permet de dire que les températures des billes n'ont jamais dépassé 490°C.

Suite à ces observations et dans la mesure où la permittivité des imbrûlés est faible, nous pensons à ce jour que les imbrûlés engendrent des variations locales du champ électromagnétique dans les zones intergrains provoquant l'apparition de températures locales plus élevées et donc suffisantes pour favoriser l'oxydation des imbrûlés sans que l'ensemble des particules du lit atteigne une température d'au moins 600°C. Durant certains essais, les billes peintes placées au contact des billes chargées présentent des gradients de couleur, ce qui tend à conforter cette hypothèse.

## CONCLUSION

Les chauffages domestiques au bois se développant de plus en plus en France et en Europe, les performances environnementales des appareils doivent être améliorées. Si l'optimisation de la combustion permet de réduire les émissions d'imbrûlés solides, l'ajout d'un dispositif de traitement des fumées reste nécessaire pour le développement de ce moyen de chauffage en zone urbaine.

Nous avons dans ce but utilisé un lit filtrant placé en aval du foyer dans le conduit de cheminée constitué par 5 rangées de billes réfractaires de 1 cm de diamètre. 75 % des particules ainsi piégées sont dégradées en four à moufles en les maintenant à 600°C pendant 5 min. En utilisant un champ micro-ondes pour les détruire, nous avons montré qu'un apport d'énergie de 200 kJ est suffisant pour oxyder 100 % des particules avec des températures inférieures à 400°C.

## Références

[1] ADEME, Enquête annuelle des ventes d'appareils domestiques de chauffage au bois et de cheminées ouvertes, pour 2003 et 2004 – *Synthèse, Rapport ADEME*, 18 pp, avril 2005.

[2] T. NUSSBAUMER, Relevance of aerosols for the air quality in Switzerland, *Aerosols from Biomass Combustion*, International Seminar IEA Bioenergy Task 32, Zürich, Switzerland, pp 1-9, 2001.

[3] C. HUEGLIN, C. GAEGAUF, S. KÜNEZL, H. BURTSCHER, Characterization of wood combustion particles: Morphology, mobility and photoelectric activity, *Environmental Science & Technology*, 31, pp 3439-3447, 1997.