



HAL
open science

Granulométrie des particules émises par différentes activités domestiques

Xiaolin Ji, Olivier Le Bihan, Olivier Ramalho, Rémy Aujay, Julien Garrigue, Corinne Mandin, Laurent Martinon, Denis Bard, Jean-Claude Pairon

► **To cite this version:**

Xiaolin Ji, Olivier Le Bihan, Olivier Ramalho, Rémy Aujay, Julien Garrigue, et al.. Granulométrie des particules émises par différentes activités domestiques. 23ème Congrès Français sur les Aérosols, Jan 2008, Paris, France. 6 p. hal-00688553v1

HAL Id: hal-00688553

<https://hal.science/hal-00688553v1>

Submitted on 17 Apr 2012 (v1), last revised 18 Apr 2012 (v2)

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.

Granulométrie des particules émises par différentes activités domestiques

Evelyne Géhin (a), Olivier Ramalho (b), Severine Kirchner (b)

a) Centre d'Etude et de Recherche en Thermique Environnement et Systèmes, Université Paris 12,
Avenue du Général de Gaulle, 94010 Créteil, France

b) Laboratoire de Microbiologie des Environnements Intérieurs, Centre Scientifique et Technique du
Bâtiment, Champs sur Marne, France

1. Introduction

Il est maintenant communément admis que certaines activités ont un impact très important sur la concentration en particules à l'intérieur des habitations. Les sources les plus couramment citées et étudiées sont la fumée de cigarette, la cuisson des aliments, le chauffage au fuel, les cheminées, les bougies, l'encens, l'utilisation d'aspirateur, de bombes aérosols (He et al., 2004 ; Hussein et al., 2005, Afshari et al., 2005). Quelques autres sources sont également citées, comme l'utilisation d'imprimantes laser, les radiateurs ou convecteurs et l'utilisation de sauna (en Finlande). La majorité de ces études sont réalisées dans des habitations et les auteurs relient l'impact des différentes activités sur la concentration massique (PM10 ou PM2,5) ou en nombre dans les différentes pièces de la maison. D'autres études ont été réalisées en chambre d'essais avec différents moyens de mesure (ELPI, CNC, ...) permettant d'obtenir une information sur la granulométrie des émissions. Néanmoins l'ensemble de ces études est très disparate et il reste difficile de comparer réellement les différents taux d'émission des sources potentielles. Dans le cadre du PRIMEQUAL2, une étude sur la caractérisation des particules émises par différentes activités domestiques (cuissons sur plaque électrique ou au four, bougies, encens, utilisation de spray, utilisation d'imprimante, chauffage) a été entreprise. La présente communication est axée sur les données granulométriques observées.

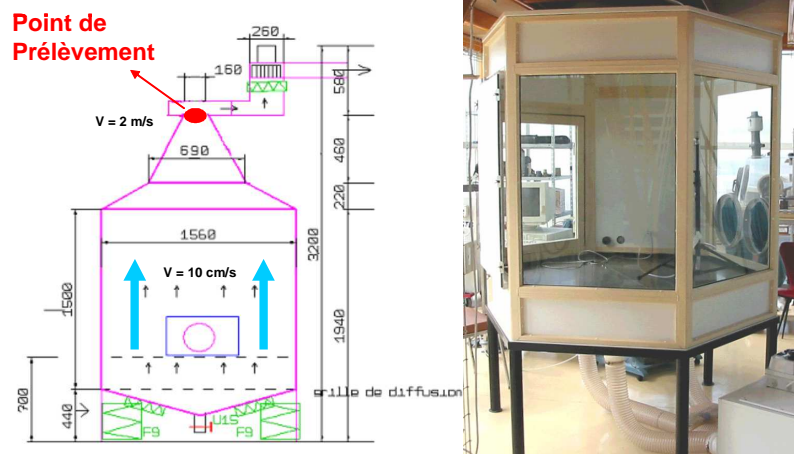


Fig. 1 : Enceinte expérimentale utilisée pour la simulation des activités domestiques et la mesure en nombre des particules émises.

2. Matériels et méthode

Le choix des sources s'appuie sur une analyse bibliographique des sources potentielles et des aspects concrets concernant leur probabilité de présence dans les habitations. Globalement, il est possible de les classer en 5 catégories : combustion (bougies, encens, chauffage au fuel), cuisson (au four ou sur plaque électrique) ou nettoyage d'un four par pyrolyse, utilisation de bombe aérosol, imprimante ou aspirateur. La description détaillée des différentes sources testées ainsi que du protocole expérimentale pour chaque test est donné dans le tableau 1.

Les sources sont placées au centre d'une chambre d'essais hexagonale de volume intérieur V de $(2,36 \pm 0,05) \text{ m}^3$ et une surface au sol de $1,9 \text{ m}^2$ (figure 1). Les parois sont constituées de 4 panneaux de verre et de deux panneaux de PVC ($800 \times 583,1 \text{ mm}$) fixés sur des montants en aluminium. La partie supérieure de l'enceinte est constituée d'un convergent en acier. Les parties internes de l'enceinte ont été traitées avec un revêtement antistatique. Un flux d'air ascendant est créé par un système de soufflage et d'aspiration permettant de régler la dépression et la vitesse de l'air dans l'enceinte. L'air ambiant est aspiré au travers d'un double système de filtration (filtre gravimétrique F9 + filtre HEPA CAMFIL-MEGALAM MDA 3P3 H14) et distribué dans l'enceinte au travers d'une cascade de grilles de diffusion. Une ventilation est installée dans l'enceinte afin d'homogénéiser la

concentration. La vitesse verticale moyenne de l'air dans l'enceinte est d'environ 10 cm.s^{-1} . Le prélèvement des particules est réalisé à l'aide de sondes verticales (Bev-A-line XX, Hytel de diamètre interne 0,95 mm et de longueur 1,042 m) placées en partie haute de l'enceinte dans le convergent permettant ainsi le réglage de l'isocinétisme. Les données sont corrigées pour tenir compte des pertes par diffusion dans les lignes de prélèvement. Le taux de renouvellement d'air dans l'enceinte est de $(0,013 \pm 0,003) \text{ s}^{-1}$ pour l'ensemble des tests réalisés (mesure de débit d'extraction, SWEMA, SwemaFlow 233). Le granulomètre utilisé dans cette étude est le DMS500 (Cambustion) qui mesure la concentration en particule en fonction du diamètre de mobilité électrique équivalent (16 plages par décade) de 5 nm à 1000 nm toutes les secondes (débit de prélèvement = 8 L.mn^{-1}).

3. Mesure du taux d'émission équivalent

Soit $N_{d,t}$ la concentration en aérosol dans l'enceinte (concentration homogène). La variation de $N_{d,t}$ au cours du temps est donnée par :

$$\frac{\partial N_{d,t}}{\partial t} = -\frac{Q}{V} \times N_{d,t} - k_d^{dep} \times N_{d,t} + \frac{\partial q_{d,t}^{emi}}{\partial \log(d)} + \frac{\partial J_{d,t}^{coag}}{\partial \log(d)} + \frac{\partial J_{d,t}^{cond}}{\partial \log(d)} \quad (1)$$

$$N_{d,t} = \frac{\partial n_{d,t}}{\partial \log(d)} \quad (2)$$

Où Q est le débit de ventilation dans l'enceinte. $\partial n_{d,t}$ est la concentration en nombre (cm^{-3}) de particules de diamètre compris entre d et $(d+dd)$, $\partial q_{d,t}^{emi}$ est le taux d'émission global (s^{-1}) pour des particules avec un diamètre compris entre d et $(d+dd)$ incluant le taux d'émission de la source, la nucléation et la re-suspension. k_d^{dep} est le taux de déposition des particules sur les surfaces de l'enceinte. $\partial j_{d,t}^{coag}$ et $\partial j_{d,t}^{cond}$ sont des termes permettant de prendre en compte l'évolution de l'aérosol du fait de la coagulation et de l'évaporation/condensation.

Le taux d'émission équivalent (TEE) est alors défini par :

$$\frac{\partial q_{d,t}^{equ}}{\partial \log(d)} = \frac{\partial q_{d,t}^{emi}}{\partial \log(d)} + \frac{\partial J_{d,t}^{coag}}{\partial \log(d)} + \frac{\partial J_{d,t}^{cond}}{\partial \log(d)} = V \times \left(\frac{\partial N_{d,t}}{\partial t} + k_d \times N_{d,t} \right) \quad (3)$$

$$k_d = \frac{Q}{V} + k_d^{dep} \quad (4)$$

Le taux d'émission équivalent moyen (TEEM) pour une source est donné par :

$$\overline{\frac{dq_d^{equ}}{d \log(d)}} = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \times \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial q_{d,t}^{equ}}{\partial \log(d)} dt \quad (5)$$

Avec t_1 et t_2 respectivement les temps au début et à la fin de l'activité :

Le taux d'émission équivalent moyen total (TEEMT) est donné par :

$$\overline{q^{equ}} = \int_{d_1}^{d_{ns}} \left(\overline{\frac{dq_d^{equ}}{d \log(d)}} \right) d \log(d) \quad (6)$$

Où d_1 et d_{ns} sont respectivement les diamètres du premier et dernier canal du DMS500. ns est le nombre de canaux du DMS500 (ie $ns = 38$).

4. Résultats et discussion

4.1 Mesure de taux d'épuration

En absence d'émission particulaire, de condensation ou de coagulation/évaporation et en supposant que la concentration particulaire est homogène au sein de l'enceinte, la concentration décroît exponentiellement au cours du temps suivant :

$$\frac{N_{d,t}}{N_{d,t_0}} = \exp(-k_d \cdot (t - t_0)) \quad (9)$$

Les sources ponctuelles d'émission d'aérosol (les sprays) ont été utilisées pour vérifier l'hypothèse d'homogénéité de la concentration dans l'enceinte et pour mesurer le taux d'épuration en fonction du diamètre. Le taux d'épuration mesuré est compris entre $0,0153 \text{ s}^{-1}$ and $0,0184 \text{ s}^{-1}$ avec un minimum pour les particules de diamètre 350 nm. Les valeurs de k_d sont obtenues par fittage de la courbe expérimentale :

$$k_d = (a_4 x^4 + a_3 x^3 + a_2 x^2 - a_1 x + a_0) \times \sigma_k + \bar{k} \quad (10)$$

Où $x = \frac{(d - \bar{d})}{\sigma_d}$ et $\bar{d} = 167,42 \text{ nm}$, $\sigma_d = 233,90 \text{ nm}$, $a_0 = 0,1255$, $a_1 = -1,4446$, $a_2 = -0,8157$, $a_3 = 0,8807$,

$a_4 = -0,1634$, $\sigma_k = 0,00081815 \text{ s}^{-1}$, $\bar{k} = 0,0166647 \text{ s}^{-1}$

4.2 Mesure des taux d'émission

a. Activités de cuisine

Le TEEM de chaque activité est représenté en figure 2. Le mode des distributions mesurées est compris entre 20 et 40 nm. La cuisson à la poêle ou au four de la viande ou du poisson donne respectivement un TEEMT de $(9 \pm 6) \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ et de $(9 \pm 4) \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$. La cuisson des pattes et le chauffage de la plaque de cuisson donnent un TEEMT de $(7 \pm 5) \times 10^9 \text{ s}^{-1}$. Ces taux d'émission sont légèrement supérieurs à ceux mesurés par Afshari et al. (2005) qui donnent des taux d'émission (pour des diamètres compris entre 20 nm et 1 μm) de $1,38 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ pour la cuisson de la viande sur une plaque électrique et $1,13 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ pour la plaque seule.

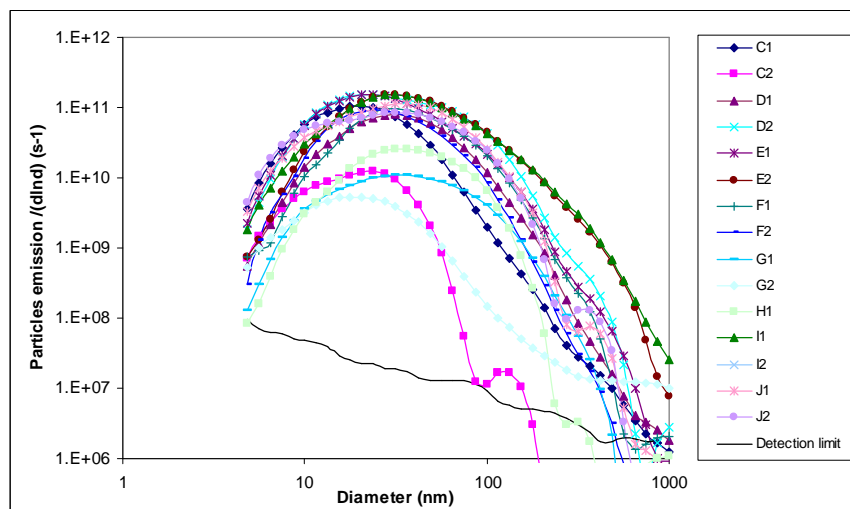


Fig. 2: Taux d'émission équivalents moyens (TEEM) mesurés durant les activités de cuisson.

b. Combustion

Les sources testées sont deux types de bougies et deux types d'encens (sources A, B, L, M; tableau 1). Le TEEM est mesuré durant la combustion de la bougie (sans la phase d'allumage et d'extinction) et est représenté figures 3 et 4. Il est très différent pour les deux bougies ce qui confirme les remarques sur la variabilité des taux d'émission lors de l'utilisation de bougies faites par Wasson et al. (2001) et Afshari et al. (2005). Le mode d'émission pour la bougie blanche est autour de 170 nm (A) et 6 nm pour la bougie parfumée (B). Le TEEMT est respectivement de $0,12 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ ce qui est comparable aux résultats de Afshari et al. ($1,47 \times 10^9$ et $6,08 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$) et $1,1 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$. Le mode du taux d'émission lors de l'utilisation d'encens est compris entre 100 nm et 180 nm et le TEEMT est de 10^{10} s^{-1} .

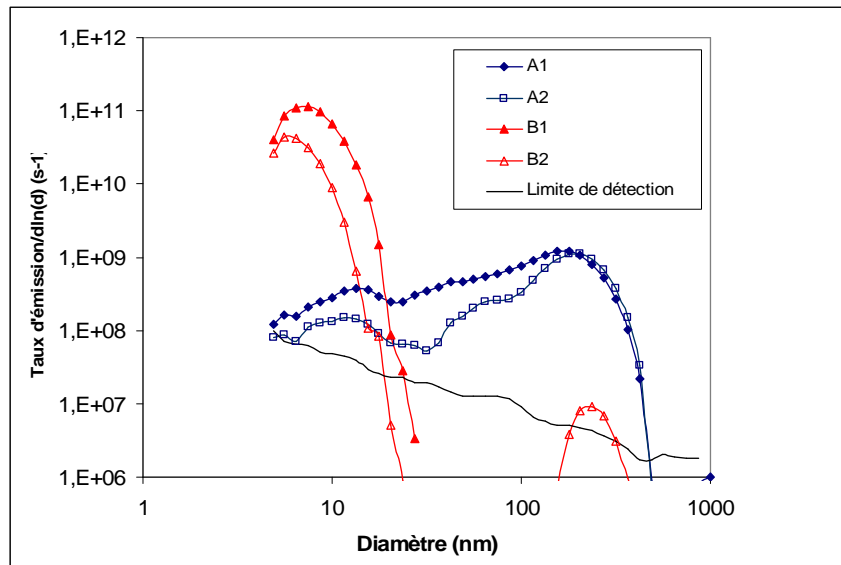


Fig. 3: Taux d'émission mesurés durant la combustion des bougies.

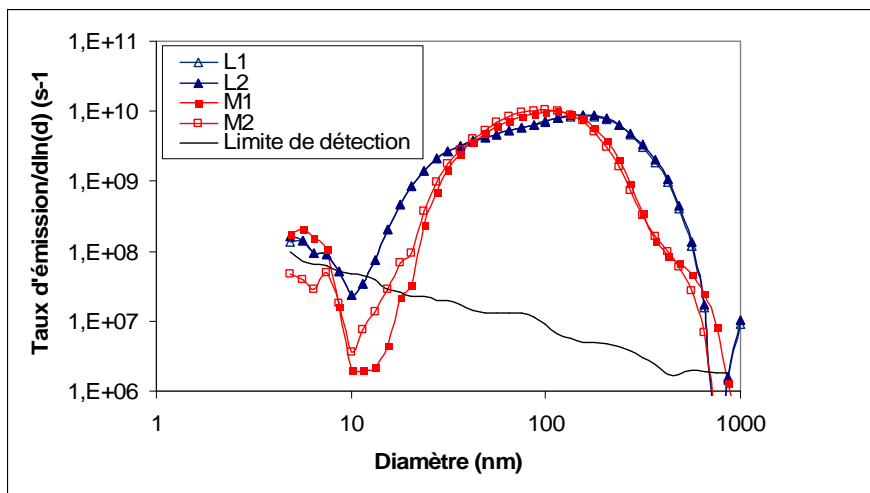


Fig. 4: Taux d'émission mesurés durant la combustion d'encens.

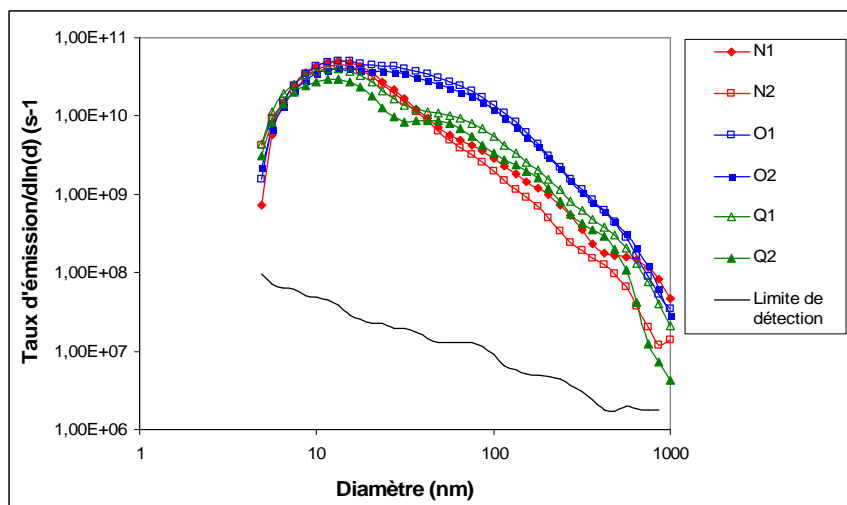


Fig. 5: Taux d'émission équivalents moyens mesurés durant l'utilisation de sprays.

c. Utilisation de sprays

Trois types de sprays ont été testés (références N, O, P, Q; tableau 1). Le taux d'émission est calculé pour une période de 11 s (ie: 3 s d'émission + 8 s) et est représenté sur la figure 5. Le taux d'émission présente un mode compris entre 10 nm et 20 nm et le TEEMT est de $(3\pm 2)\times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ pour les sources N, O et Q et sous le seuil de détection pour la source P. Les résultats obtenus sont en bon accord avec les résultats obtenus par Afshari et al. sur un désodorisant d'ambiance ($3,9\times 10^{10} \text{ s}^{-1}$).

d. Nettoyage

Le nettoyage par pyrolyse d'un four électrique et l'utilisation d'un aspirateur a été testé (références K et T). La concentration mesurée dans l'enceinte au cours du nettoyage par pyrolyse atteint une valeur très élevée ($7,8\times 10^6 \text{ cm}^{-3}$), le taux d'émission est calculé pendant toute la durée du programme de nettoyage ($\approx 7000 \text{ s}$). Le taux d'émission moyen présente un mode compris entre 20 nm et 40 nm et le TEEMT est de $13\times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ et $8\times 10^{10} \text{ s}^{-1}$. Lors de l'utilisation de l'aspirateur il a pu être observé qu'il n'y a aucune différence entre l'aspiration de l'air ambiant ou l'aspiration de poussière de maison. Les particules émises lors de l'activité pourraient être émises par le moteur de l'aspirateur (Afshari et al., 2005; Willeke et al., 2001). Le taux d'émission moyen présente un mode autour de 10 nm et le TEEMT est de $2,02\times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ et $1,82\times 10^{10} \text{ s}^{-1}$. Ce taux est plus élevé que celui obtenu par Afshari et al. ($5,8\times 10^8 \text{ s}^{-1}$) pour des particules comprises entre 20 nm et $1\mu\text{m}$, ce qui peut s'expliquer par le fait que la plupart des particules mesurées dans la présente étude ont un diamètre inférieur à 20 nm.

e. Utilisation d'imprimantes laser

Deux imprimantes laser ont été testées (références R et S, tableau 1). Pour R1, R2 et S2 les concentrations mesurées dans l'enceinte sont inférieures à la limite de détection. Pour l'essai S1 la concentration a pu être mesurée et il a été observé une augmentation significative de la concentration durant la phase de chauffage de l'imprimante. Le taux d'émission a été calculé pour la source S1 pendant la phase de chauffage (31 s). Le diamètre modale est de 21 nm et le TEEMT est de $2,30\times 10^{10} \text{ s}^{-1}$.

5. Conclusion

Cette étude, réalisée dans le cadre de PRIMEQUAL2, a permis de déterminer le taux d'émission moyen pour des activités courantes dans un cadre domestique. La plage de diamètre étudiée allant de 5 nm à $1\mu\text{m}$ a permis l'obtention des informations sur l'émission en nombre des particules les plus fines ce qui n'était pas disponible jusqu'à présent dans la littérature. Les taux d'émissions totaux calculés sont compris entre $0,06\times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ et $13,10\times 10^{10} \text{ s}^{-1}$. Certaines sources testées ont un facteur d'émission inférieur à notre limite de détection (certains sprays par exemple). Les mesures de taux d'émission totaux ont pu être comparés avec des valeurs présentes dans la littérature et réalisées dans des conditions expérimentales très différentes. Le relatif bon accord de nos données avec les éléments disponibles de la littérature permet d'espérer une bonne représentativité des résultats obtenus. Les granulométries des taux d'émission mesurées ont été analysées d'un point de vue théorique et représentées par une somme de n lois lognormales de manière à fournir une base de données exploitable des taux d'émission. Cette base de donnée sera publiée prochainement.

6. Références bibliographiques

Afshari, A., Matson, U., Ekberg, L.E., 2005. Characterization of indoor sources of fine and ultrafine particles: a study conducted in a full-scale chamber, *Indoor Air*, 15, 141-150.

He, C., Morawska, L., Hitchins, J., Gilbert, D., 2004. Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses, *Atmospheric Environment*, 38, 3405-3415.

Hussein, T., Korhonen, H., Herrmann, E., Hämeri, K., Lehtinen, K.E.J., Kulmala, M., 2005. Emission rates due to indoor activities: indoor aerosol model development, evaluation, and applications, *Aerosol Science and Technology*, 39, 1111-1127.

Wasson, S. J., Guo Z., McBrien, J.A., Beach, L.O., 2002. Lead in candle emissions, *The science of the total environment*, 296, 159-174.

Willeke, K., Trakumas, S., Grinshpun, S.A., Reponen, T., Trunov, M., Friedman, W., 2001. Test methods for evaluating the filtration and particulate emission characteristics of vacuum cleaners, *AIHAJ*, 62, 313-321.

Ref.	Source	Procédure du test
A1, A2	Bougie blanche	Allumage (briquet). Combustion (15 mn).
B1,B2	Bougie parfumée	Allumage (briquet). Combustion (15 mn).
C1, C2	Four électrique (1000 W)	Le four vide est allumé (20 mn) à puissance maximum
D1 D2	Cuisson à l'huile d'arachide (3,1 g d'huile + 0.9 g de sel) de steak haché (100,4 g) dans une poêle (Teflon, 24 cm) sur une plaque électrique (C)	t = 0 la plaque électrique « ON » puissance maximum (la poêle contenant l'huile est sur la plaque). t = 10 mn le steak haché est placé dans la poêle. t = 13 mn : La viande est retournée. t = 16 mn la plaque est éteinte (la poêle est placée près de la plaque)
E1 E2	Cuisson au beurre (11,1 g de beurre + 0,3 g de sel) de steak haché (101,0 g) dans une poêle (Teflon, 24 cm) sur une plaque électrique (C)	t = 0 la plaque électrique « ON » à puissance maximum (la poêle contenant le beurre est sur la plaque). t = 10 mn le steak haché est placé dans la poêle. t = 13 mn : La viande est retournée. t = 16 mn la plaque est éteinte (la poêle est placée près de la plaque).
F1 F2	Cuisson de poisson pané congelé (51 g) dans une poêle (Téflon, 24 cm) sur une plaque électrique (C)	t = 0 la plaque électrique « ON » à puissance maximum (la poêle contenant le beurre est sur la plaque). t = 10 mn le poisson est placé dans la poêle. t = 13 mn le poisson est retourné. t = 16 mn la plaque est éteinte (la poêle est placée près de la plaque).
G1 G2	Cuisson de Spaghetti (109±5) g sur une plaque électrique (995,3 g d'eau, 12,0 g d'huile d'arachide, 6,8 g de sel)	t = 0 la plaque électrique « ON » à puissance maximum (la casserole est sur la plaque). Quant l'eau bout les pattes sont placées dans la casserole. 8 minutes après la plaque est éteinte (la casserole est placée près de la plaque)
H1	Four électrique (3300 W)	Le four électrique est allumé (thermostat 200°C) et éteint 19 mn plus tard.
I1 I2	Cuisson d'un rôti de porc (719,8 g (I1) et 674 g (I2) + 10 g d'huile + 15 g d'eau + plat en céramique) dans un four électrique (H1)	t = 0 le four électrique est allumé (thermostat 240°C). t=15 mn le plat contenant le rôti de porc est placé dans le four. t = 45 mn le four est ouvert et la viande est retournée. t = 60 mn le four est éteint et la porte est ouverte.
J1 J2	Cuisson d'un morceau de saumon ((279± 7) g + (8±2) g d'huile + plat en céramique) dans un four électrique (H1)	t = 0 le four électrique est allumé (thermostat 200°C). t=15 mn le plat contenant le saumon est placé dans le four. t = 25 mn le four est ouvert et la viande est retournée. t = 40 mn le four est éteint et la porte est ouverte.
K1 K2	Nettoyage par pyrolyse du four électrique (H1) utilisé pour les essais I1, I2, J1 et J2.	Programme automatique de pyrolyse (2 h)
L1, L2	Encens (1)	Allumage par briquet et extinction naturelle de l'encens (56 mn)
M1, M2	Encens (2)	Allumage par briquet et extinction naturelle de l'encens (56 mn)
N1, N2	Utilisation d'un spray désodorisant d'ambiance (1)	Pression maximum pendant 3 s.
O1, O2	Utilisation d'un spray désodorisant d'ambiance (2)	Pression maximum pendant 3 s.
P1, P2	Utilisation d'un spray nettoyant.	Pression maximum pendant 3 s
Q1, Q2	Utilisation d'un spray insecticide	Pression maximum pendant 3 s.
R1, R2	Utilisation d'une imprimante laser (1)	Impression de 100 p., 10 par 10 (R1). Impression de 100 p. (R2)
S1, S2	Utilisation d'une imprimante laser (2)	Impression de 100 p., 10 par 10 (R1). Impression de 100 p. (R2)
T1, T2	Utilisation d'un aspirateur (2000 W, 40 L/s, dépression = 32 kpa)	Aspiration à l'air ambiant durant 5 mn. Aspiration de poussière de maison (4.1 g pour T1 et 6.4 g pour T2) puis aspiration à l'air ambiant durant 4 mn.

Tableau 1: Procédure de test et description des sources