RAPPORT DE RECHERCHE

Programme de subventions de recherche

Enquête de terrain sur la performance des filtres électroniques résidentiels

Canada

SCHL CMHC
AU CŒUR DE L'HABITATION

LA SCHL : AU CŒUR DE L'HABITATION

La Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) est l'organisme national responsable de l'habitation au Canada, et ce depuis plus de 60 ans.

En collaboration avec d'autres intervenants du secteur de l'habitation, elle contribue à faire en sorte que le Canada continue de posséder l'un des meilleurs systèmes de logement du monde. La SCHL veille à ce que les Canadiens aient accès à un large éventail de logements de qualité, à coût abordable, et elle favorise la création de collectivités et de villes dynamiques et saines partout au pays.

Pour obtenir des renseignements supplémentaires, veuillez consulter le site Web de la SCHL à l'adresse suivante : **www.schl.ca**

Vous pouvez aussi communiquer avec nous par téléphone : 1-800-668-2642 ou par télécopieur : 1-800-245-9274.

De l'extérieur du Canada : 613-748-2003; télécopieur : 613-748-2016.

La Société canadienne d'hypothèques et de logement souscrit à la politique du gouvernement fédéral sur l'accès des personnes handicapées à l'information. Si vous désirez obtenir la présente publication sur des supports de substitution, composez le 1-800-668-2642.

TN conseil

Conseillers en technologie de l'environnement inc.

Projet de recherche de la SCHL

Enquête de terrain sur la performance des filtres électroniques résidentiels :

- Recherche de recommandations sur la fréquence de nettoyage et d'un test diagnostic simple accessible aux propriétaires

- Recherche d'un lien entre taux de particules et cycles cardiaques

Dossier CR : **6585-H088-5**

Préparé pour **:** Division des politiques et de la recherche
Société canadienne d'hypothèques et de logement
700, chemin de Montréal
Ottawa, Ontario
K1A 0P7

Responsable à la SCHL : Don Fugler dfugler@cmhc-schl.gc.ca
Tel. : (613) 748-2658

Préparé par : **TN conseil**, *Conseillers en technologie de l'environnement inc*.
1471, boul. Lionel Boulet, bureau 26
Varennes, Qc
J3X 1P7
Tel : (450) 652-0444
Courriel: tn.conseil@qc.aira.com

Chercheur principal : Pierre Hosatte, M.Ing.

Mars 2007

Ce projet a été realisé grâce à une contribution financière de la Société canadienne d'hypothèques et de logement, dans le cadre du Programme de subventions de recherche. Les idées exprimées sont celles de l'auteur et ne représentent pas le point de vue officiel de la SCHL.

Table des matières

Sommaire/Project Summary

Équipe de réalisation / Remerciements

Introduction – Objectifs du projet

Méthodologie

- Mesure des taux de particules aéroportées
- Présentation et interprétation des résultats
- Analyse des performances des filtres électroniques
- Calcul de la masse de particules aéroportées
- Validité et limite des mesures
- Choix et caractérisation des maisons
- Étude de la variabilité du rythme cardiaque (VRC) des occupants

Résultats (Faits saillants)

Corrélation entre VRC et niveaux de particules

Discussion - Conclusion

Annexes (CD-ROM)

- Rapport (Word)
- Résultats comparatif (Excel)
- Résultats détaillés et graphiques de chaque période de mesure (Excel)

Sommaire

Objectif du projet :

L'objectif principal du projet était de chercher des moyens permettant aux occupants d'une maison équipée d'un filtre électronique de pouvoir facilement être renseignés sur le bon fonctionnement de leur appareil (par ex. encrassement d'une surface blanche) ou de leur donner des instructions quant à la fréquence de nettoyage des plaques collectrices et des fils d'ionisation (combien de fois par année). Un deuxième objectif était de vérifier si la variabilité du rythme cardiaque, un indicateur de la bonne santé cardio-respiratoire d'un individu lorsqu'elle est élevée, peut être un moyen de prouver qu'une bonne filtration de l'air intérieur d'une maison contribue à améliorer l'état de santé de ses occupants.

Méthodologie :

Le projet a débuté en septembre 2005 avec une recherche bibliographique, la planification des mesures en collaboration avec l'UQAM, et le recrutement de maisons participantes. Une période intensive de mesures s'est déroulée en décembre 2005, incluant la période des fêtes de fin d'année. Au total, les taux de particules de cinq (5) maisons, toutes avec un système de ventilation équipé d'un filtre électronique de type précipitateur électrostatique, ont été mesurés à plusieurs reprises, par périodes typiques d'évaluation de 24 heures (mesures aux 15 minutes). 23 périodes de mesures ont été colligées entre le 3 décembre 2005 et 4 janvier 2006. Les mesures comprenaient le taux de particules non seulement en amont et en aval du filtre mais également à l'extérieur et au moins en un point de la maison (chambre à coucher si possible). Dans chaque maison, ces mesures ont été prises, en arrivant le premier jour « filtre tel quel » puis après nettoyage de celui-ci, tel que prévu au plan de travail initial. Ce qui est défini comme « Performance du filtre » est le pourcentage du nombre de particules entre 0,5 et 5 microns qui sont bloquées par le filtre par rapport au nombre total qui est compté en amont du filtre. Dans plusieurs cas, des réparations, une réinstallation du filtre ou une amélioration du système de ventilation (étanchéité des gaines en amont du ventilateur) ont été effectuées pour tenter d'améliorer les performances du filtre après nettoyage. La première série de mesures dans une maison représentait donc typiquement un minimum de 3 jours de mesures. On a ensuite observé la dégradation des performances des filtres dans les jours subséquents, soit dans les jours suivants immédiatement, soit lors d'une deuxième série de mesures (réinstallation du banc de mesures).

Parallèlement à ces mesures, la fréquence cardiaque d'un des occupants de la maison était mesurée pendant plusieurs heures au repos (les 4 à 5 heures suivant le coucher) et durant la journée lorsque l'occupant était dans la maison.

Résultats concernant les filtres électroniques :

Le comportement des propriétaires est très varié allant de ceux qui nettoient scrupuleusement avec des détergents doux leur cartouches filtrantes aux 30 jours, 12 mois sur 12, jusqu'à ceux qui ne savaient pas qu'il fallait le faire et se contentaient de nettoyer le pré-filtre depuis plus d'une dizaine d'années, en passant par ceux qui les nettoient 1 ou 2 fois par année seulement.

Les performances des filtres électroniques d'une maison à l'autre, avant comme après nettoyage, sont dans un large éventail allant de – 400 % (cas d'une maison pourtant très bien entretenue mais dans laquelle il y avait des fuites entre le garage et la chaufferie et entre le filtre et l'aspiration du ventilateur de fournaise) et 100% (rendement vérifié avec essai de l'instrumentation de mesure (retirer la sonde d'en aval du filtre pour vérifier qu'elle lisait bien des particules))

Des fuites d'air par les joints des conduits dans la zone de pression négative entre le filtre et l'aspiration du ventilateur de fournaise peuvent complètement annihiler les bénéfices de la filtration. En fait, ces fuites peuvent même devenir la zone principale d'introduction de particules et de polluants dans la zone habitée de la maison, que le filtre ait des performances nulles ou très bonnes, quand on considère qu'une chaufferie peut alors se retrouver en pression négative et être très souvent :

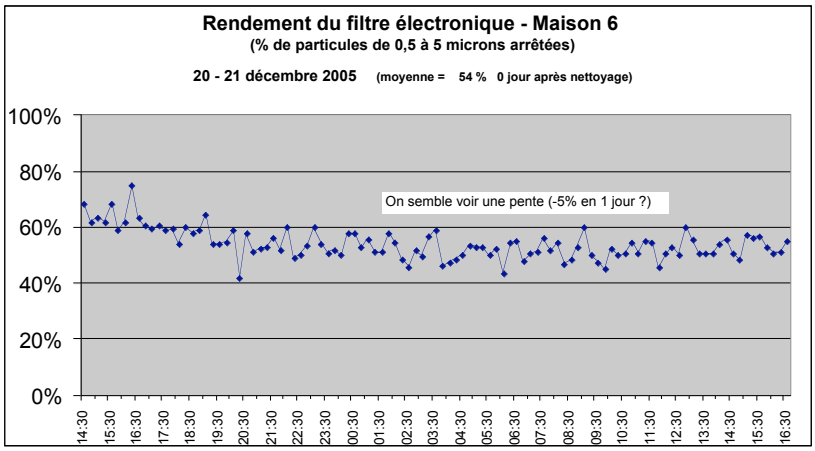
- une importante source de polluants (présence de combustible, contact avec les conduits d'évacuation des gaz de combustion, présence de produits chimiques quand la chaufferie sert d'entrepôt…)
- facilement contaminée par d'autres sources de particules, à cause d'une porte non étanche de communication avec le garage, ou à cause d'un aspirateur central qui est fréquemment installé dans la chaufferie, en laissant l'air sortir directement dans la chaufferie, alors qu'il est souvent beaucoup moins bien filtré que dans les modèles d'aspirateurs portatifs, puisque les aspirateurs centraux sont conçus pour être normalement évacués à l'extérieur.

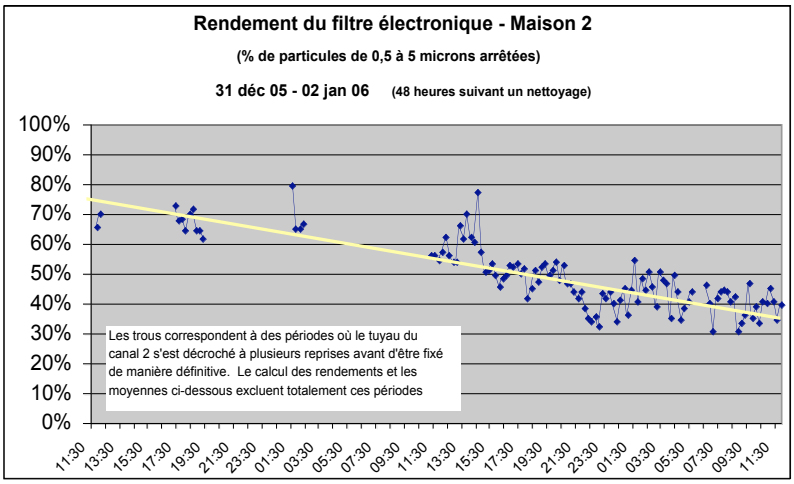
Le filtre le plus performant des cinq maisons avait des performances de 80% (pourcentage du nombre de particules arrêtées entre 0,5 et 5 microns) après 18 jours d'opération. Ce n'est pas le filtre le plus récent ni d'apparence la moins oxydée des cinq filtres évalués. Mais après nettoyage, ses performances ont chuté à moins de 60% et il y avait une forte odeur « de piscine » dans la maison, caractéristique de l'ozone. C'est la seule journée (parmi les 23 périodes de mesure) ou nous avons détecté (à l'odorat seulement) la présence d'ozone. C'est après un deuxième lavage et la revérification de la bonne mise en place des cartouches que nous avons obtenu des performances de 100% qui ont commencé à fléchir vers 90 % après 48 h d'opération.

A part le cas précédent, le lavage des cartouches a généralement eu un impact bénéfique sur les performances, mais pas toujours. Dans les cas négatifs, nous soupçonnons la baisse de performances, causée par des problèmes de mauvais contact électrique (occasionnels selon les profils de nos mesures) après remise en place des cartouches.

L'industrie offre un piètre support technique à ses clients. Une réparation de 200 $ par un centre technique de service après-vente réputé, pour remplacer le générateur de haute tension défectueux d'un des appareils, n'a pas permis d'obtenir un appareil exempt de problèmes de contacts électriques ou permettant d'obtenir un rendement supérieur à 40%. Les seuls « indicateurs électroniques de nettoyage » (*Air cleaner monitor*) du marché sont en fait de simples minuteries qui rappellent aux propriétaires de laver leurs cartouches aux 15, 30, 45 ou 60 jours, selon une indication programmée « au jugé » par l'installateur. Le diagnostic souvent suggéré d'écouter s'il y a le bruit de claquage caractéristique d'une décharge électrostatique après un choc sur une gaine d'air en amont du filtre ne nous semble pas fiable. On peut entendre ce bruit sur un filtre qui a des performances de moins de 15% ou dont la gaine jusqu'au ventilateur fuit.

L'observation qui a eu le plus d'impact sur notre projet et que **la chute de performances du filtre électronique après nettoyage est beaucoup plus rapide que prévue.** Le cas typique d'un filtre aux performances dans la moyenne est celui de la maison 2. Les performances observées varient entre 15 à 40% après 2 semaines à un mois d'utilisation et remontent au-dessus de 60% après un nettoyage. Après avoir observé à nouveau des performances aussi basses que 15% après 10 jours seulement d'opération, nous avons suivi les performances du filtre dans les jours suivant immédiatement son nettoyage. Nous avons alors constaté que les performances pouvaient passer de 75% à 35% en 48 h (voir graphique de la maison 2, 48 h suivant un nettoyage). Dans une autre maison, des performances de 60% pouvaient chuter de 5% en une seule journée après un nettoyage (voir graphique de la maison 6 1ère journée après nettoyage. Des dégradations de performances aussi rapides remettent donc en question le principe même d'avoir le temps de les observer par une méthode telle que l'observation de traces salissant une surface blanche ou une autre méthode simple pour les occupants d'une maison.





Nous avons vérifié que le faible niveau de performances auquel pouvait se stabiliser un filtre électronique n'était pas du uniquement aux performances du préfiltre. Pour ce faire, on a mesuré les performances d'un filtre, interrupteur à OFF. Nous avons fait cet exercice uniquement dans la maison 2, le dernier jour de mesures. Les cartouches du précipitateur électrostatiques avaient encore un impact puisque les performances avec le préfiltre seulement étaient de 5% environ alors qu'elles étaient de l'ordre de 40% avec les plaques nettoyées depuis 48 h.

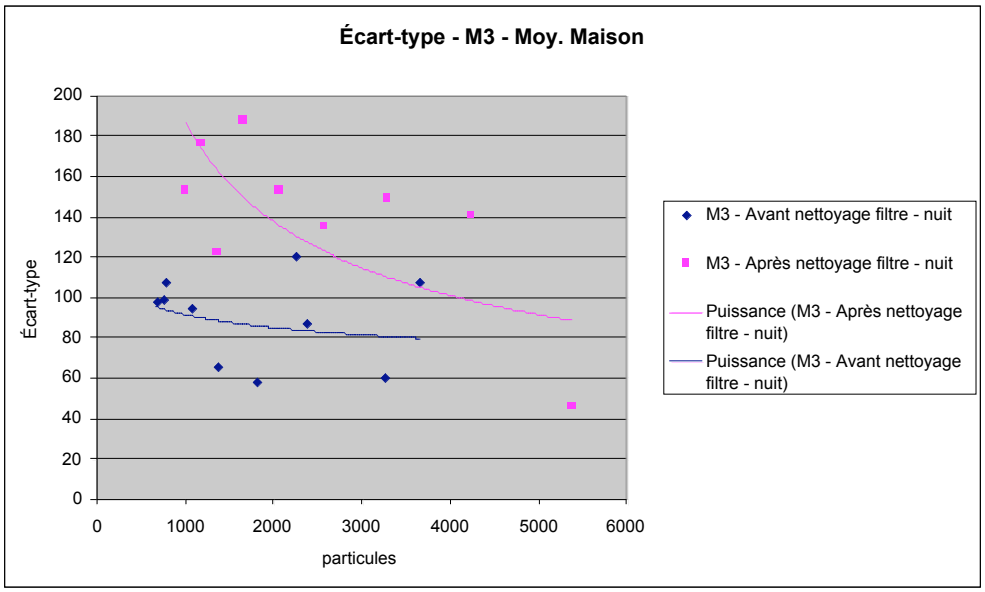
Résultats concernant l'étude la variabilité du rythme cardiaque (VRC) :

En ce qui concerne le lien entre la variabilité du rythme cardiaque et $PM_{2,5}$, notre projet repose sur un échantillonnage pas assez homogène et beaucoup trop faible de patients (5) et de périodes de mesures (12) pour pouvoir tirer des conclusions. De plus, la plage de $PM_{2,5}$ à l'intérieur des maisons étudiées (typiquement < 5 _g/m^3) est en-dessous de la plage inférieure des autres études de la VRC (typiquement > 20 _g/m^3) et est demeurée relativement stable, ce qui n'a pas permis d'exposer un même individu à de grandes variations de $PM_{2,5}$.

Au cours de projet, nous avons pu identifier plusieurs études qui montreraient un lien entre la VRC et $PM_{2,5.}$, à savoir que la VRC diminue quand $PM_{2,5}$ augmente, et ce à l'intérieur de périodes d'une journée. En d'autres mots, cela signifie que les individus réagiraient rapidement à une augmentation des $PM_{2,5}$ et seraient en moins bonne santé cardio-respiratoire quand $PM_{2,5}$ augmente.

Les quelques observations que nous avons pu faire de manière anecdotique semblent aller dans le sens des études bibliographiques.

Maison 3 – Observation du paramètre Écart-type NN caractérisant la VRC de l'occupant durant les périodes des 13-14 puis 14-15 décembre 2005



Conclusions du projet :

Si on avait seulement trois conseils à donner aux propriétaires de filtres électroniques, ce seraient :

1. Vérifiez ou faites vérifier l'étanchéité des conduits et raccords situés entre votre filtre et l'entrée de votre fournaise. Écoutez votre système de ventilation, vous ne devriez entendre aucun sifflement ou bruit de succion. Ce conseil s'applique aux autres types de filtres.
2. Nettoyez aussi fréquemment que possible votre filtre électronique en suivant les instructions du manufacturier. La fréquence peut être aussi courte que la semaine. Assurez-vous d'un bon contact en remettant les cartouches en place. Soyez à l'affut des « odeurs de piscine » qui indiquent que votre filtre produit de l'ozone, un gaz irritant pour les voies respiratoires. Si cette odeur survient relavez le filtre, laissez le bien sécher et remettez-le en place. Si le problème persiste contactez votre centre de service.
3. Mettez un filtre en fibres en aval de votre filtre électronique. Cela vous garantira un minimum de performances additionnelles en cas de mauvais fonctionnement. Ce nouveau filtre devrait rester propre, mais s'il devient sale c'est que votre filtre électronique fonctionne mal !

Si on veut prouver qu'une bonne filtration de l'air des maisons peut être associée à une amélioration de la santé cardio-respiratoire de ses occupants, les indicateurs de la VRC mesurée pendant les heures de sommeil des occupants semblent une voie intéressante de recherche. Il faudrait appliquer cette recherche à un plus grand échantillonnage de sujets dans un groupe plus homogène (par exemple des sujets tous âgés entre 30 et 50 ans, sans antécédents cardiaques, qui ne sont pas sous médication contre l'asthme ou l'hypertension) sur de plus grandes périodes de temps, ce qui permettrait aux occupants d'être exposés à de plus grandes variations de taux de particules et de mesurer l'effet de systèmes de filtration qui fonctionnent à leur rendement optimal (ce qui n'a pas été le cas avec les filtres électroniques).

Project Summary

Project Objectives:

The principal objective of the project was to determine means by which occupants of a house could easily verify the correct functioning of their electronic filter (e.g., fouling of a white surface), or to make recommendations for the number of times per year that the collecting plates and ionizing wires of an electronic filter should be cleaned. A second objective was to investigate whether heart rate variability, an indicator of cardio respiratory health in a non-resting subject, could be used to establish a link between occupant health and effective domestic air filtration.

Methodology:

The project was initiated in September 2005 with a literature search, the planning of the measurements in collaboration with UQAM, and the recruitment of participant households. An intensive period of measurement was conducted during December 2005, including the end-of-year holidays. In total, the particle concentrations in five houses, all having a central ventilation system with an electrostatic precipitator (electronic filter), were repeatedly measured with an optical laser particle counter, with each data series entailing measurements every 15 minutes over a typically 24 hour period. Twenty-three such data series were assembled between December 3, 2005 and January 4, 2006. The measurements included particle concentrations not just upstream and downstream of the filter, but also in the outside air and at least one point within the house (the bedroom was used where possible). In each house, these measurements were taken both with the filter "as is", on arrival the first day of the test, and after cleaning, as foreseen in the initial work plan. The "filter performance", expressed as a percentage, was defined as the ratio of the counted number of particles between 0.5 and 5 microns that were blocked by the filter to the total number of such particles upstream of the filter. In several cases, repairs, reinstallation of the filter, or an improvement in the ventilation system (sealing of the ducts upstream of the furnace fan and downstream of the filter) were necessary in order to reliably detect the improvement in filter performance after cleaning. The first data series in a given house thus typically included a minimum of three days of measurements. Subsequently, the deterioration in the performance of the filters was observed, either over the course of the days immediately following, or as part of a second data series collected after the test equipment had been removed and reinstalled.

In parallel with these measurements, the heart rate of one household occupant was measured during several hours of rest (i.e., the 4 or 5 hours following bedtime) and during the day whenever the occupant was at home.

Electronic Filter Results:

The homeowners varied in their practices, ranging from those that scrupulously cleaned the filter cartridges with a mild detergent on a monthly basis throughout the year, to those that cleaned the filter only once or twice per year, to those that were not even aware that cleaning was necessary and had cleaned the pre-filter only once in a dozen years.

Similarly, electronic filter performance varied widely among the houses, both before and after cleaning, ranging from –400% (in one house that, while very well kept, had leaks between the garage and the room containing the furnace and between the filter and the intake fan for the furnace) to 100% (with the performance of the measurement equipment verified by removing the downstream sensor to establish that it was actually detecting particles).

In the ducts between the filter and the furnace intake fan, which are at negative pressure, air leaks can eliminate the benefits of filtration entirely. In fact, these leaks can even be the principal point of entry for particles and pollutants into the inhabited zone of the house, regardless of the

performance of the filter. This situation merits consideration given that the room containing the furnace can experience negative pressure and is often:

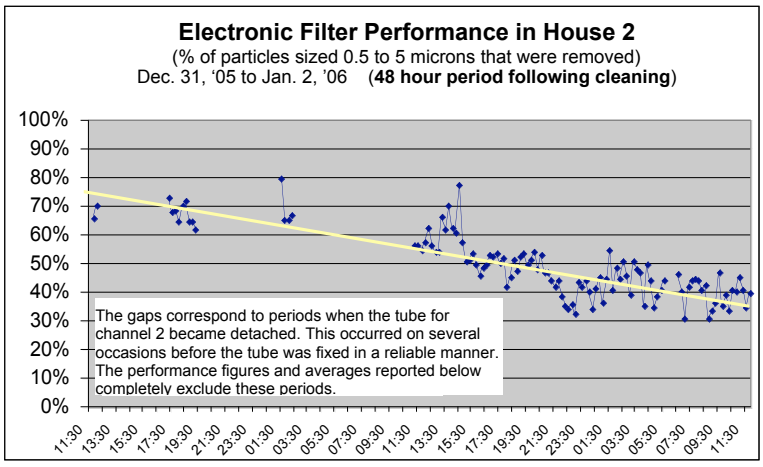
- a significant source of pollutants (due to the presence of fuel, exhaust ducts, stored chemical products, etc.)
- easily contaminated by other particle sources, such as an unsealed door leading to a garage, or a central vacuum cleaner, located in the room housing the furnace, and exhausting its air into the room. This is especially problematic given that central vacuum cleaners are often poorly filtered compared with portable vacuum cleaners, due to the former normally being designed to evacuate to the exterior of the house.

The best performing filter of the five houses removed 80% of the particles between 0.5 and 5 microns over 18 days of operation. It was not the newest filter nor the filter with the least-oxidized appearance. After cleaning, however, its performance dropped to less than 60% and the house took on a strong "swimming pool" odour, characteristic of ozone. It was the only day (of the 23 data series) on which ozone was detected (by odour only). Following a second cleaning and verification that the cartridge was seated correctly, the filter performance was measured at 100%, which declined to approximately 90% after 48 hours of operation. This problem of ozone generation was observed only in the case of the filter having the highest performance among the five studied.

Apart from the preceding incident, cartridge cleaning generally improved performance, with few exceptions. In these exceptional cases, poor electrical contact following the reinstallation of the cartridges is suspected. In the course of this investigation such unpredictable contact problems were occasionally observed.

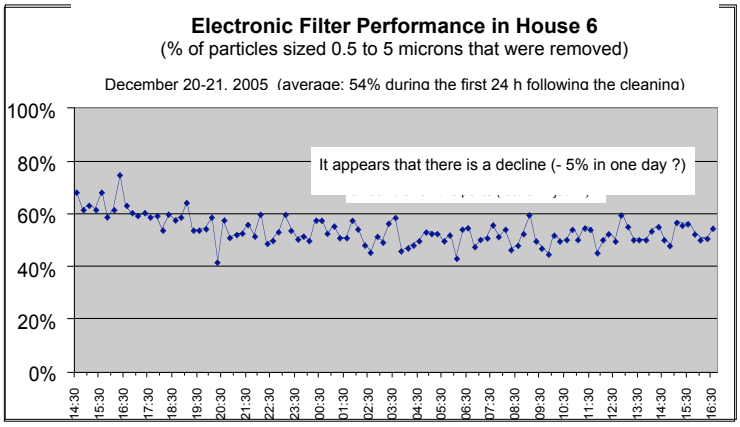
The industry provides mediocre service to its clients. After a reputable service centre made a $200 repair that involved replacing a defective high-voltage generator in one of the units, it was not possible to eliminate electrical contact problems or to obtain a performance better than 40%. The only "Electronic Air Cleaner Monitors" on the market are in reality simply timers that remind the homeowner to clean the cartridges every 15, 30, 45, or 60 days, according to a schedule judged appropriate by the installer. The recommended diagnostic of listening at an upstream duct for the crackling noise characteristic of electrostatic discharge seems unreliable: in this study, it was possible to hear this sound emanating from a filter, having a leak in the fan duct, with a performance lower than 15%.

The most important observation of this investigation was that **the decline in electronic filter performance following cleaning is much more rapid than anticipated**. A typical case is that of house 2. The performance varied between 15 and 40% over two weeks to one month of use, and jumped to above 60% after cleaning. Having seen filter performance fall to as low as 15% within only 10 days of cleaning, the performance of the filter in house 2 was monitored in the days immediately following cleaning.



Performance was seen to decline from 75% to 35% within 48 hours (see figure for house 2, 48 hours after cleaning).

In another house, performance fell by 5 percentage points (from 60%) within a single day of cleaning (see figure for house 6, first day after cleaning).



This rapid deterioration in performance eliminates the possibility of simple diagnostics, such as the fouling of a white surface, meant to permit the occupants of a household to determine the state of their filter.

Researchers checked the performance of the pre-filter when the electronic filter was turned off. It was verified that the poor levels of performance at which the electronic filters would stabilize was not an indication that only the prefilter was functioning. This was done in house 2 only, on the last day of measurements. The electrostatic precipitator cartridges still had an impact: filter performance was about 5% with only the prefilter, but around 40% with the filter on (48 hours after cleaning).

Results concerning the investigation of heart rate variability (HRV):

Concerning the link between heart rate variability and $PM_{2.5}$, it is not possible to draw conclusions from this study since the subjects were too few (5) and too dissimilar in age, state-of-health, etc. In addition, the level of $PM_{2.5}$ in the indoor air of the houses studied (typically < 5 µg/m^3) was below the lowest levels in other studies of HRV (typically > 20 µg/m^3) and was generally quite stable, which meant that the subjects were not exposed to large variations in $PM_{2.5}$.

This investigation identified several studies that showed a link between HRV and $PM_{2.5}$, namely, that HRV was diminished with higher $PM_{2.5}$, even within the period of a day. In other words, this indicates that the body reacts quickly to increases in $PM_{2.5}$ and higher $PM_{2.5}$ levels negatively impact cardio respiratory health. The few anecdotal observations possible in this investigation tend to support the findings of the studies found in the literature search.

Conclusions:

To improve performance of electronic filters, homeowners should:

1. Verify that the ducts and connections between the filter and the entrance to the furnace are airtight. Listen to the ventilation system: no whistling or suction sound should be heard. This advice also applies to other types of filters.
2. Eliminate potential sources of contamination from the mechanical room. Exhaust the air from the central vacuum cleaner to the outside. Ensure that the door between the garage and the room housing the furnace seals tightly. Clean the electronic filter, following the manufacturer's instructions, as often as possible—even weekly. Make sure that the cartridges are properly seated in place. Be vigilant for "swimming pool odours" indicating that the filter is producing ozone, a gas that irritates the respiratory tract. If this odour is detected, clean the filter again, let it dry completely, and put it back in place. If the odour persists, contact a service centre.
3. Install a fibre filter downstream of the electronic filter. This will ensure a certain minimum level of performance in case of filter malfunction. The filter should remain clean; soiling indicates that the electronic filter is functioning poorly!

To show that domestic air filtering can be associated with improvements in the cardio respiratory health of the occupants, further investigations would have to be conducted with a larger sample of more homogeneous subjects over a longer period of time. Any such study should use filters that are functioning optimally (which was not the case for the electronic filters examined here) and more comfortable and reliable heart rate monitors.

National Office
700 Montreal Road
Ottawa ON K1A 0P7
Telephone: (613) 748-2000

Bureau national
700 chemin de Montréal
Ottawa ON K1A 0P7
Téléphone : (613) 748-2000

Since a limited demand for this research document has been anticipated, only a summary of its contents has been translated

By completing and returning this form you will help us to determine if there is a significant demand for this report in English. Mail the completed form to:

Canadian Housing Information Centre
Canada Mortgage and Housing Corporation
C1-200
700 Montreal Road
Ottawa, Ontario
K1A 0P7

Report Title: _____

_____

I would prefer to have this report made available in English.

Name _____

Address _____
Street Apt.

_____
City Province Postal Code

Telephone ( ) _____

Équipe de réalisation

Directeur / coordonnateur du projet : ***Pierre Hosatte***, M.Ing, TN conseil
Conseiller scientifique : ***Alain Comtois***, Ph.D., Département de Kinanthropologie, UQAM
Étudiant : ***Bernard Albert*** Ing., Département de Kinanthropologie, UQAM

Remerciements

L'équipe de réalisation du projet tient à remercier la société **Venmar Ventilation Inc**. pour le prêt de leur compteur de particules à système d'échantillonnage d'air intégré, utilisé dans la campgane de mesures de ce projet. Nos remerciements s'adressent particulièrement à ***Daniel Forest***, Ing., V.P. Technologie et développement de produits, et à ***Jean-Bernard Piaud*,** Ph.D., Centre de R&D de Venmar Ventilation Inc., pour leurs conseils au cours du projet.

C'est en acceptant de nous accueillir que les occupants des 5 maisons étudiées ont permis la réalisation du projet et nous tenons à les remercier de leur patience d'avoir supporté le bruit de nos instruments scientifiques et nos visites, parfois plusieurs fois par jour, à des heures tardives, et de leur participation à essayer les différentes mesures de contrôle proposées et à endurer les électrodes de mesures de fréquences cardiaques.

Introduction – Objectifs initiaux du projet

Dans un projet antérieur réalisé par la même équipe sur les particules à l'intérieur des habitations **[1],** nos mesures ont montré que les filtres électroniques (précipitateurs électrostatiques) de 2 maisons parmi les 3 qui étaient équipées d'une tel appareil étaient totalement inopérants, dans le sens où les taux de particules (entre 0,3 et 10 microns) mesurés après filtration étaient dans la même plage de mesure que les taux de particules mesurés en amont du filtre. Pourtant, les propriétaires entretenaient cet équipement et, dans un cas, l'avaient même fait vérifier auprès d'une entreprise spécialisée moins de 6 semaines auparavant. Après nettoyage et remise en route de l'équipement, nous avons pu déterminer que ces équipements donnaient des performances de filtration très intéressantes, typiquement supérieures à 95%. L'amélioration était-elle due à la correction de mauvais contacts électriques ou au nettoyage des plaques électrostatiques ?

Dans une étude récente **[2]**, publiée dans *Atmospheric Environment 38 (2004) 405-413* "*Effect of central fans and in-duct filters on deposition rates of ultrafine and fine particles in a occupied townhouse*", Lance A. Wallace observe également (p.409) une baisse de performance de l'ordre de 90% après environ 1 000 h d'utilisation du filtre électronique de la maison étudiée. L'étude de Wallace portait sur une seule maison suivie pendant plusieurs mois. Un des objectifs de ce projet est de vérifier si cette observation est reproduite dans plusieurs autres maisons dans les conditions climatiques canadiennes.

Chercher des moyens de rassurer les occupants d'une maison équipée d'un filtre électronique sur le bon fonctionnement de leur appareil

L'objectif du projet est de pouvoir fournir aux propriétaires ou aux utilisateurs de systèmes électroniques de filtration, des moyens simples de vérifier si leur filtre électronique bloque efficacement ou non les particules en circulation dans leur système de ventilation, et de leur proposer des recommandations sur l'entretien de ces appareils, par exemple sur la fréquence de nettoyage. Pour ce faire, on propose de vérifier sur le terrain la performance des filtres électroniques intégrés aux systèmes de chauffage des habitations.

Le problème est le suivant : À la différence des filtres à média filtrant dont l'encrassement se traduit par une augmentation de la perte de charge de chaque côté du filtre, détectable par mesure du différentiel de pression, il n'existe pas de moyen de mesurer l'encrassement d'un filtre électronique : le simple examen visuel d'un filtre électronique ne permet pas de voir s'il est encrassé, l'évaluation « au toucher » de la couche de dépôt noir sur les plaques de décharge est subjective et la présence d'une telle couche ne signifie pas nécessairement que le filtre a perdu ses performances. Il résulte de cette situation un certain malaise des propriétaires de filtres électroniques qui se demandent si leur équipement fonctionne ou non et n'ont pas de moyen de le vérifier. Si un média filtrant encrassé a comme conséquence de faire chuter le débit d'air mais avec de meilleures performances de filtration, il est en est tout autrement d'un filtre électronique encrassé : Plusieurs études montrent que ses performances de filtration peuvent tomber à zéro et qu'il y a un risque de production accrue d'ozone, un irritant des voies respiratoires. Actuellement, les fabricants et les entreprises de service de ces appareils n'offrent pas de réponse satisfaisante à ce besoin de connaître l'état de performance d'un filtre électronique usagé, leur évaluation se limitant souvent à une mesure de la tension aux bornes des plaques.

Le but est d'essayer de proposer et de tester une méthode de diagnostic et d'entretien de ces appareils permettant d'assurer une bonne performance de ces filtres électroniques surtout dans les maisons où les occupants souffrent de maladies respiratoires. Pour être accessible, cette méthode devra être rudimentaire (par exemple, installation en ligne d'un papier de filtre à café, éventuellement enduit d'une glue comme celle des « Post-It »)

Vérifier une hypothèse de recherche pouvant donner une piste de réponse à une question fondamentale de l'industrie de la ventilation : « *Peut-on prouver qu'en fournissant un air de meilleure qualité à une habitation, ses occupants y seront en meilleure santé ?* »

En parallèle à ce projet, le département de kinanthropologie de l'Université du Québec à Montréal (UQAM) est intéressé à vérifier dans le contexte résidentiel, les résultats **[3]** obtenus en industrie et publiés en 2001 par Shannon Magari & all dans la revue de cardiologie *Circulation, vol. 104 p. 986-991 : « Association of heart rate variability with occupational and environmental exposure to particulate air pollution »*.

L'objectif est de valider si ce critère ne pourrait pas être un moyen de prouver qu'il peut y avoir un lien entre le taux de particules aéroportées à l'intérieur d'une maison et l'état de santé de ses occupants. Il s'agit de mesurer le lien possible entre les irrégularités naturelles du rythme cardiaque (VRC, variabilité du rythme cardiaque) et l'exposition à un stress physique tel que les particules aéroportées en milieu résidentiel. De telles études ont été réalisées en milieu urbain et en milieu de travail et ont montré que de tels liens existaient **[3, 4].** Lorsque la VRC diminue, c'est-à-dire, que le rythme cardiaque devient trop régulier, il s'agit d'un signe de stress et il a été démontré **[5]** que dans de telles conditions la morbidité et la mortalité cardiovasculaire augmentaient. Si un tel lien peut être observé chez les occupants d'une maison, il pourrait s'agir d'une mesure de l'impact du taux de particules aéroportées sur l'état de santé des occupants.

Méthodologie

Mesure des taux de particules aéroportées

Pour réaliser le projet, le même système d'échantillonnage d'air et le même compteur laser de particules ont été utilisés que dans la deuxième phase d'une étude antérieure sur les taux de particules à l'intérieur des habitations, réalisée par la même équipe de recherche pour la SCHL **[1]**. Ce banc d'échantillonnage prêté par la société Venmar Ventilation Inc. utilise la pompe intégrée au compteur de particules (Pacific Scientific Instrument Met One 237) et de la tuyauterie de plastique de diamètre intérieur de 1/2" pour prélever les échantillons. Un jeu de valves aspire l'air successivement dans 5 canaux différents avec un débit de 2,5 L/min, dans chacun des tuyaux. Quand on ne compte pas les particules d'un canal, le débit d'air dans la ligne correspondante tombe à zéro. Lors de l'étude antérieure **[1]**, on avait montré que ce montage compact, pratique et silencieux à l'utilisation donnait des résultats tout à fait acceptables, dans la gamme de tailles de particules entre 0,5 et 5 μm, en comparaison d'un banc beaucoup plus complexe, maintenant un débit constant dans de la tuyauterie rigide et prévoyant des purges de ligne avant chaque lecture. De plus, cette gamme couvre les dimensions des particules reconnues pour avoir un impact sur le système cardio-pulmonaire. L'équipement nous permet d'enregistrer le décompte des particules à l'intérieur des intervalles suivants de tailles de particules : 0,3 à 0,5 μm, 0,5 à 0,7 μm, 0,7 à 1,0 μm, 1,0 à 2,0 μm , 2,0 à 5,0 μm et 5,0 μm et plus. Cinq (5) canaux sont disponibles pour aller prélever les particules sur une distance pouvant atteindre 20 à 30 pieds de tuyau. Le temps de comptage est de 1 minute et on a choisi une fréquence de comptage des particules par canal de quinze (15) minutes. Typiquement, dans une maison, on lit les particules prélevées aux endroits suivants, par ordre de priorité, selon la facilité d'installation :

- En amont du filtre électronique, dans le milieu de la gaine d'air, perpendiculairement au flux d'air.
- En aval du filtre électronique, dans le milieu de la gaine d'air, perpendiculairement au flux d'air, souvent entre le filtre et l'aspiration de la fournaise, rarement en aval de la fournaise (uniquement quand le filtre était directement « collé » à la paroi de la fournaise).
- Dans la salle mécanique où se trouvent les systèmes de chauffage/climatisation, de ventilation et de filtration.
- A l'extérieur, si possible au moins à 1 m de la maison et du niveau du sol (tests réalisés en période hivernale, le sol était couvert de glace ou de neige)
- Un autre point dans la maison (pièce centrale typique)

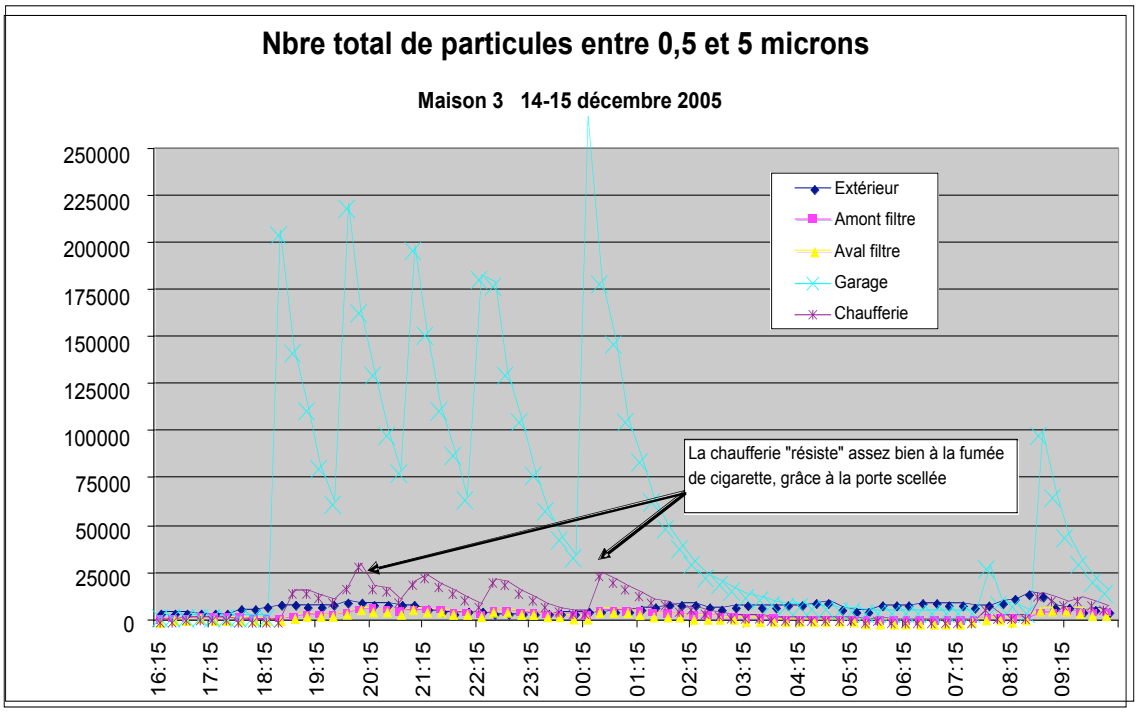
Présentation et interprétation des résultats

Le traitement du décompte de particules se fait dans des feuilles de calcul Excel. En général, nous avons décidé de ne pas tenir compte des résultats des deux plages extrêmes (en-dessous de 0,5 μm et au-dessus de 5,0 μm). Ces feuilles permettent de générer, pour chaque période de mesure d'une durée typique de 24 h, un graphique des mesures effectuées aux 15 minutes et un calcul des moyennes par canal sur la période de mesures.

Les résultats détaillés de toutes les mesures de chaque période dans chaque maison sont donnés dans le CD-ROM joint à ce rapport. Les fichiers sont classés par numéro de maison et date caractérisant le début de la période de mesure. Une feuille synthèse est produite pour chaque période de mesure. Ainsi, le graphique suivant est tiré du fichier « 14-15 décembre Maison 3.xls » contenant les résultats et les graphiques des mesures effectuées dans la maison 3, dans la nuit du 14 au 15 décembre 2005.

Cette figure illustre très bien les possibilités offertes par notre méthodologie pour identifier des problèmes de particules dans une maison, et suggérer des mesures correctives. La propriétaire était intéressée à participer au projet car elle se plaignait de présence de poussière dans sa maison, et ce, surtout très peu de temps après avoir fait le ménage.

Figure 1 : Maison 3 – Nuit du 14 au 15 décembre



Cette maison avait 4 problèmes :

1) Un système de ventilation qui n'est pas étanche entre la sortie du filtre et l'entrée (aspiration) du ventilateur de fournaise.
2) Un aspirateur central (sans filtre HEPA car conçu pour évacuer à l'extérieur) dont la sortie non seulement n'est pas dirigée vers l'extérieur mais placée dans la même petite pièce exigüe de la chaufferie.

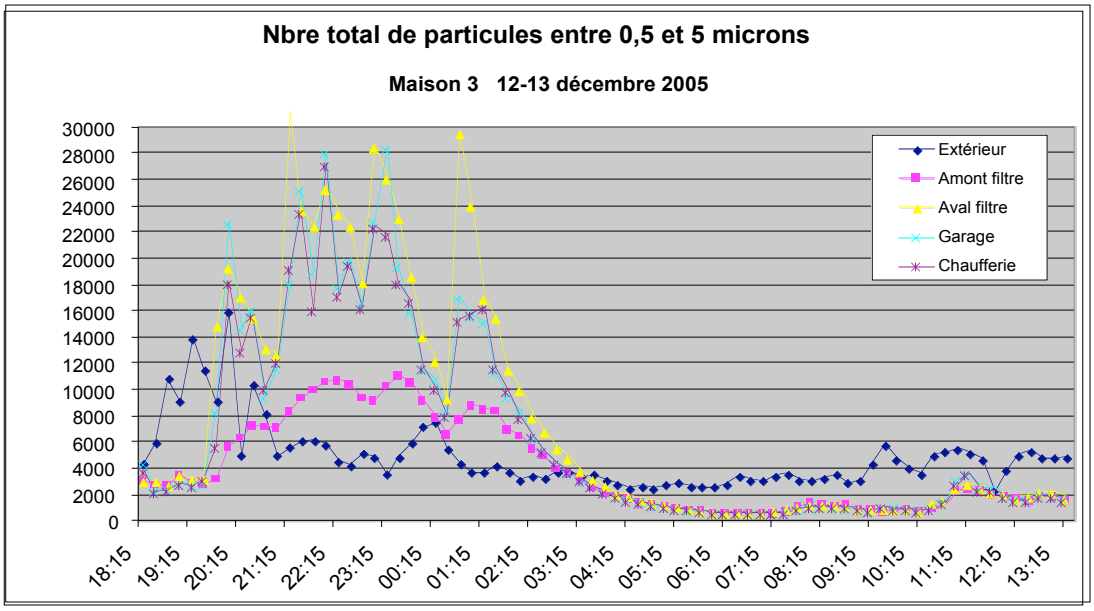
   La combinaison des deux premiers problèmes donne le résultat suivant : Quand l'aspirateur se met en route, la pression d'air dans la chaufferie augmente car l'aspirateur y rejette de l'air filtré de manière grossière et donc chargé de particules. Pendant ce temps-là, la section de conduit après le filtre électronique est en pression négative et n'est pas étanche. Le ventilateur de fournaise aspire donc l'air craché par l'aspirateur central et le redistribue dans toute la maison. Nous avions trouvé l'origine principale du problème de la propriétaire.
3) Le concepteur de la maison a respecté le code du bâtiment en équipant la porte de communication entre la maison et le garage de joints d'étanchéité et d'un écran pare-feu. Mais le code étant imprécis, le concepteur a équipé la chaufferie, attenante au garage, d'une porte ordinaire avec un relativement important espace d'air ménagé dans le bas de la porte. Résultat : toutes les émissions polluantes du garage communiquent avec la chaufferie, surtout quand celle-ci est en pression négative à cause de la fuite des gaines à l'aspiration de la fournaise, puis sont distribuées dans la maison.
4) Un filtre électronique défectueux, malgré des nettoyages mensuels et une vérification annuelle par un entrepreneur spécialisé. (Note : Les propriétaires de cette maison luxueuse et

vaste, d'une quinzaine d'années seulement, ont le souci d'utiliser des équipements de qualité et de les faire entretenir régulièrement. Par exemple, la maison est équipée d'un contrôleur électronique du système de ventilation avec indicateur des besoins de nettoyage du filtre. La propriétaire observe scrupuleusement les besoins de lavage mensuels du filtre. (Il s'avère que l'indicateur de besoin de nettoyage est une simple minuterie qui compte 30 jours à rebours, remise à zéro après chaque nettoyage.))

La figure 1 se situe après avoir corrigé en corrigeant temporairement les points 1 et 3 en scellant les conduits et la porte de la chaufferie avec du ruban à conduit. On a demandé à la propriétaire de ne pas se servir de son aspirateur central pendant les périodes de mesure. On a pu observer l'efficacité de ces mesures grâce au comportement d'un des occupants qui est venu fumer dans la soirée 5 cigarettes dans le garage pour ne pas déranger les autres occupants de la maison. Les deux pics du matin correspondent au départ des automobiles du garage en matinée; l'expérience montre accessoirement qu'une cigarette (avec la porte du garage fermée) est plus polluante que le démarrage à froid d'un moteur d'automobile (avec la porte du garage ouverte).

L'efficacité de la simple mesure de rendre étanche les conduits de gaine et la porte de la chaufferie s'illustre très bien par le graphique équivalent à celui de la Figure 1, pour les mesures prises deux jours plus tôt, alors que 4 cigarettes avaient été fumées dans le garage entre 20h00 et 0h30 et que ni le système de chauffage, ni la porte de chaufferie n'étaient étanches. On voit que toute la maison se trouve contaminée à des niveaux presqu'équivalents à ceux générés dans le garage. On voit également de manière très manifeste que dans la gaine en aval du filtre, on mesure les taux de particules les plus élevés.

Figure 2 : Maison 3 – Nuit du 12 au 13 décembre



Analyse des performances des filtres électroniques

Dans ce projet, en mesurant le nombre de particules de différentes tailles en amont et en aval du filtre, il nous est possible de calculer directement le pourcentage du nombre de particules arrêtées par le filtre (nombre de particules en amont moins nombre de celles en aval, divisé par le nombre de particules en amont). C'est ce pourcentage que nous avons utilisé comme critère de performances du filtre. Ce critère peut être différent de ceux des normes d'efficacité habituellement utilisés dans l'industrie. Mais il suffit dans ce projet à analyser les dégradations de performances des filtres et évite le recours à des calculs nécessitant des hypothèses indirectes

de calcul (pour calculer les masses de particules en suspension correspondant au nombre de particules compté pendant un temps donné dans un flux d'air).

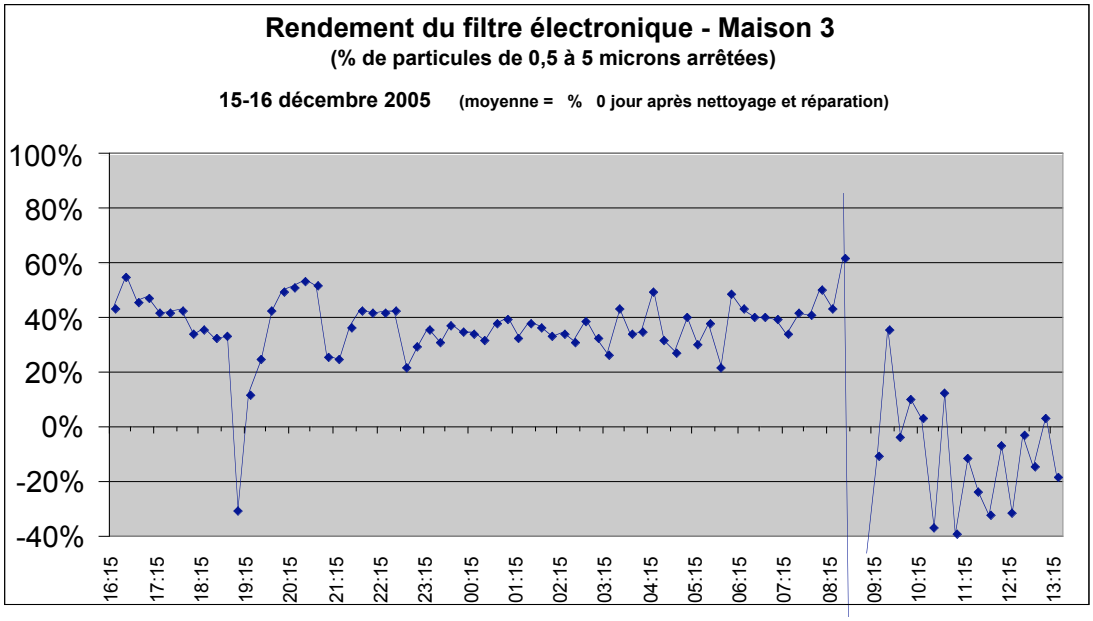
Selon les objectifs du projet, le plan expérimental d'évaluation des performances des filtres électroniques devait consister à procéder de la manière suivante :

- un premier constat de performance en arrivant dans la maison, le filtre ayant une certaine durée d'utilisation,
- un deuxième constat de performance après nettoyage du filtre,
- des visites à espaces réguliers (on pensait venir une journée tous les 5 à 10 jours) pour constater la dégradation des performances du filtre dans le temps.

Pour visualiser les performances des filtres, nous avons produit pour chaque période de mesures, deux types de graphique :

- Le premier type de graphique donne les lectures instantanées du pourcentage du nombre total de particules captées par le filtre dont la taille va de 0,5 à 5 microns. La Figure 3 est un exemple d'un tel graphique, réalisé dans la maison 3 pour la période du 15 au 16 décembre, non seulement après avoir scellé les conduits et la porte de chaufferie, mais encore après avoir nettoyé et fait réviser le filtre électronique par un atelier de service spécialisé qui a procédé au remplacement du générateur de haute tension (réparation de plus de 150 $). Cette représentation graphique permet de repérer des événements comme, malgré les conduits scellés, de faibles infiltrations qui subsistent encore (3 cigarettes ont été fumées dans le garage à 19h, 21h et 23h) ou un problème électrique qui est apparu à nouveau dans le filtre électronique à partir de 8h30 (la propriétaire n'a pas passé l'aspirateur de 8 h du matin à 1 h de l'après-midi !). La preuve qu'il subsiste encore des infiltrations d'air dans le système de ventilation (gaines très difficiles d'accès dans une chaufferie extrêmement exigüe) est à partir de 8h45 le matin, quand le filtre se met de manière imprévue à cesser de fonctionner : au lieu de tomber à zéro, le rendement apparent du filtre tend à osciller autour d'une valeur négative.

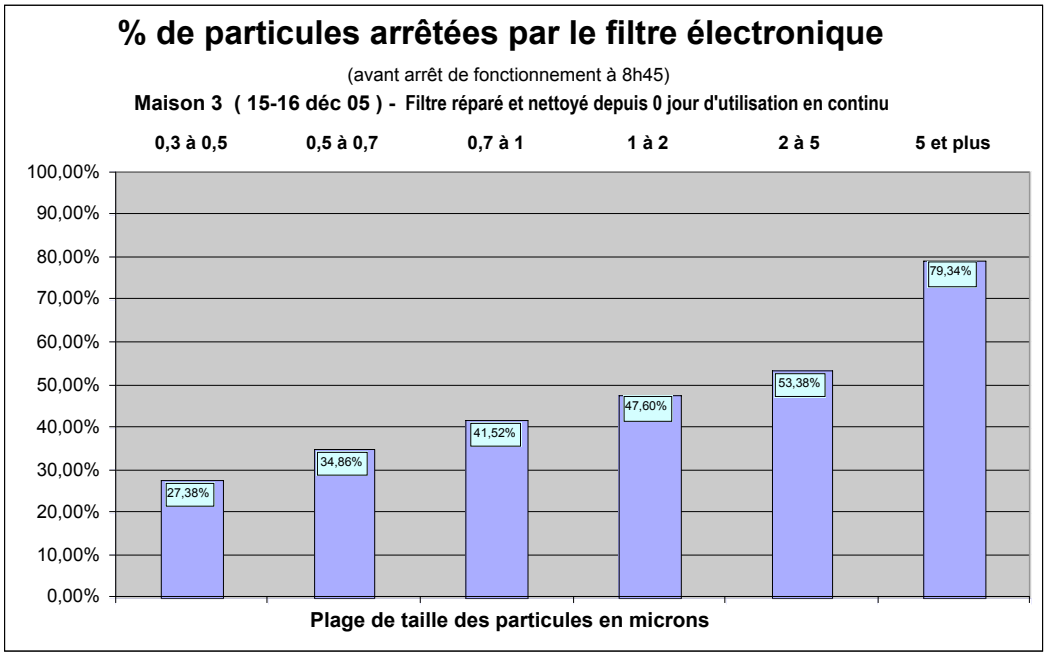
Figure 3 : Maison 3 – Période du 15 au 16 décembre



- Le deuxième type de graphique donne la valeur moyenne sur la période de mesure, du nombre de particules captées par le filtre pour chacune des plages de taille apparente des particules lues par le compteur de particules. La Figure 4 est exemple de ces performances pour les mêmes mesures que celles de la Figure 3. Lorsque des événements surviennent

comme un nettoyage de filtre ou des interruptions inexplicables de performances comme celles qui apparaissent durant cette période, ces périodes d'interruption étaient ôtées du calcul des moyennes. La moyenne était calculée sur la période moins les interruptions évidentes (ici à partir de 8h45).

Figure 4 : Maison 3 – Période du 15 au 16 décembre



Calcul de la masse de particules aéroportées

Comme nous l'avons expliqué plus haut, nous avons évalué les performances des filtres électroniques uniquement à partir des nombres de particules comptées dans chaque gamme de taille, pendant un certain temps à un débit donné constant de 2,5 L/mn. Ce niveau d'analyse suffit dans le cadre de l'évaluation des filtres. Cependant, pour confronter nos résultats d'interaction avec les fréquences cardiaques avec ceux de la bibiographie, il est bon de connaître dans quelle gamme de valeurs de $PM_{2,5}$ se situe l'air de la maison.

Ce calcul avait été effectué pour toutes les mesures du projet antérieur **[1]** et implique un traitement plus long des données. À chaque intervalle, on associe un diamètre et une densité typiques des particules qui permet alors de calculer la masse de particules associée au nombre de particules comptées d'une gamme de taille donnée. La densité associée au diamètre moyen caractéristique de chaque intervalle de mesure a été établie antérieurement de manière à obtenir des résultats identiques à ceux des mesures gravimétriques conventionnelles. Notre compteur ne distinguant pas les particules de moins de 2,5μm dans l'intervalle de 2,0 à 5,0 μm, nous suggérons d'utiliser la moitié du nombre de particules entre 2,0 et 5,0 μm comme étant une bonne approximation du nombre de particules entre 2,0 et 2,5 μm. Le nombre de particules augmentant de façon exponentielle lorsqu'elles deviennent de plus petite taille. Comme on connaît le temps de comptage et le débit d'air qui traverse le compteur, on déduit donc la masse de particules par unité de volume d'air dans la pièce où l'échantillon a été prélevé, exprimée en μg/m_ d'air, selon l'usage en mesures environnementales de la qualité de l'air.

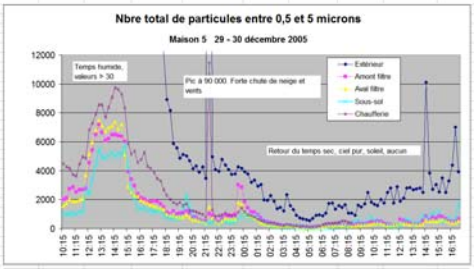
Un tel calcul, très lourd, a été effectué pour quelques périodes de mesures seulement, pour guider les discussions avec l'UQAM sur l'étude des fréquences cardiaques. En voici un exemple, pour la maison 5, pendant la période du 20 au 30 décembre 2005 :

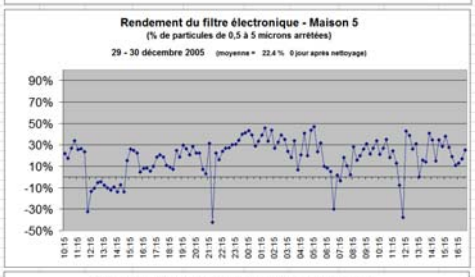
Figure 5 : Maison 5 – Synthèse des résultats de la période du 9 au 30 décembre 2005

29-30 décembre 05 - Maison 5
Filtre électronique nettoyé le matin du 29 décembre
Ventilation en continu (ce n'est pas le mode d'utilisation habituel du propriétaire)
Troisième période de mesures - Cardio fréquence entre

Heure	Nombre total de particules entre 0,5 et 5 microns: Extérieur	Amont filtre	Aval filtre	Sous-sol	Chaufferie	Rendement du filtre %	Moyenne maison	Ratio Int/Ext	
10:15	28149	2017	1575	996	4476	21,9%	1507	5,4%	
10:30	28508	2097	1731	932	4266	17,5%	1515	5,3%	
10:45	27532	2744	2004	1042	4187	27,0%	1893	6,9%	
11:00	27260	2868	1902	1061	3713	33,7%	1965	7,2%	
11:15	29882	2542	1886	994	3631	25,8%	1768	5,9%	
11:30	27761	2688	1980	1157	4492	26,3%	1923	6,9%	
11:45	33054	2688	2056	1136	4976	23,5%	1912	5,8%	
12:00	32591	2779	3678	2820	4878	-32,3%	2800	8,6%	
12:15	33819	4539	5140	2360	6820	-13,2%	3450	10,2%	
12:30	30976	5423	5984	3430	7273	-10,3%	4427	14,3%	Cartouches filtrantes démontées pour nettoyage au lave-vaisselle (cycle complet avec lessive) puis séchage
12:45	31771	6488	6832	4409	7920	-5,3%	5449	17,1%	
13:00	34027	7178	7504	5541	8546	-4,5%	6360	18,7%	
13:15	35918	6628	7130	4902	8552	-7,6%	5765	16,1%	
13:30	37291	6095	6725	4860	7671	-10,3%	5478	14,7%	
13:45	37880	6212	6978	5046	8362	-12,3%	5629	14,9%	
14:00	37478	6475	7087	5272	9064	-9,5%	5874	15,7%	
14:15	35841	6474	7359	4910	9735	-13,7%	5892	15,9%	
14:30	34604	6413	6870	5195	9624	-7,1%	5804	16,8%	
14:45	32482	6356	7232	5101	9088	-13,8%	5729	17,6%	
15:00	33250	6019	5093	5804	8357	15,4%	5912	17,8%	
15:15	32795	3918	2896	4119	5863	26,1%	4019	12,3%	
15:30	32881	3402	2565	2649	5146	24,6%	3026	9,2%	
15:45	33016	2951	2289	2083	5360	22,4%	2517	7,6%	
16:00	28902	2374	2267	1396	4564	4,5%	1885	6,5%	
16:15	25520	2133	1967	1381	4363	7,8%	1757	6,9%	
16:30	23916	2030	1860	1464	5279	8,4%	1747	7,3%	
16:45	21339	1870	1776	1209	4293	5,3%	1543	7,2%	
17:00	20893	1837	1652	1242	4180	10,1%	1540	7,4%	
17:15	19653	1906	1549	1156	3894	18,7%	1531	8,2%	
17:30	18945	1845	1467	1218	3444	20,5%	1532	8,1%	
17:45	15988	1699	1379	1274	3268	18,8%	1487	9,3%	
18:00	12062	1482	1320	906	2693	10,9%	1194	9,9%	
18:15	8918	1123	1019	753	2270	9,3%	938	10,5%	
18:30	8155	997	924	744	2017	7,3%	871	10,7%	
18:45	5888	1225	922	702	1810	24,7%	964	16,4%	
19:00	5559	1007	819	706	1686	18,7%	857	15,4%	
19:15	4868	1064	747	694	1787	29,8%	879	18,1%	
19:30	5127	1092	804	1336	1576	26,4%	1214	23,7%	
19:45	5023	1206	956	2301	1717	20,7%	1754	34,9%	
20:00	4693	1062	758	1426	1234	28,6%	1244	26,5%	
20:15	4154	805	624	815	1227	22,5%	810	19,5%	
20:30	4337	779	605	789	1165	22,3%	784	18,1%	
20:45	3908	603	560	565	1054	7,1%	584	14,9%	
21:00	4270	513	497	424	986	3,1%	469	11,0%	
21:15	3470	532	365	353	784	31,4%	443	12,8%	
21:30	90865	1049	1493	376	11437	-42,3%	713	0,8%	
21:45	4950	901	698	497	1271	22,5%	699	14,1%	
22:00	4076	556	467	388	826	16,0%	472	11,6%	
22:15	3947	462	352	334	884	23,8%	398	10,1%	
22:30	4768	706	515	684	945	27,1%	695	14,6%	
22:45	4377	902	655	429	1073	27,4%	666	15,2%	
23:00	4074	869	608	419	929	30,0%	644	15,8%	
23:15	3749	885	616	438	884	30,4%	602	17,6%	
23:30	3785	984	647	424	891	34,2%	704	18,6%	
23:45	4252	3013	1807	635	1118	40,0%	1824	42,9%	
00:00	4170	2852	1681	921	1417	41,1%	1887	45,2%	
00:15	3932	1865	1055	953	1121	43,4%	1409	35,8%	
00:30	3772	**1433**	869	853	954	39,4%	1143	30,3%	
00:45	3193	**1170**	833	653	876	28,8%	912	28,5%	
01:00	3362	**1122**	745	785	784	33,6%	954	28,4%	
01:15	2929	**934**	567	887	643	39,3%	911	31,1%	
01:30	3031	**727**	395	675	555	45,7%	701	23,1%	
01:45	1969	**505**	336	381	479	33,5%	443	22,5%	
02:00	1956	**469**	264	453	366	43,7%	461	23,6%	
02:15	2274	**356**	260	225	392	27,0%	291	12,8%	
02:30	1903	**326**	220	211	354	32,5%	269	14,1%	
02:45	1384	**265**	161	186	301	39,2%	226	16,3%	
03:00	1447	**219**	142	162	267	35,2%	191	13,2%	
03:15	1204	**184**	140	133	203	23,9%	159	13,2%	
03:30	2347	**215**	176	105	261	18,1%	160	6,8%	
03:45	1594	**210**	139	109	247	33,8%	160	10,0%	
04:00	1313	**164**	153	122	180	6,7%	143	10,9%	
04:15	918	**145**	115	109	170	20,7%	127	13,8%	
04:30	746	**140**	83	103	116	40,7%	122	16,3%	
04:45	684	**96**	77	69	146	19,8%	83	12,1%	
05:00	604	**103**	58	44	125	43,7%	74	12,2%	
05:15	550	**98**	52	49	88	46,9%	74	13,4%	
05:30	686	**97**	74	45	106	23,7%	71	10,3%	
05:45	917	**114**	78	37	130	31,6%	76	8,2%	
06:00	938	**99**	89	63	170	10,1%	81	8,6%	
06:15	898	**120**	110	62	287	8,3%	91	10,1%	
06:30	1059	**118**	112	69	325	5,1%	94	8,8%	
06:45	1737	**127**	165	84	356	-29,9%	106	6,1%	
07:00	1758	**176**	173	61	352	1,7%	119	6,7%	
07:15	1341	**203**	210	94	401	-3,4%	149	11,1%	
07:30	1590	**260**	213	141	421	18,1%	201	12,6%	
07:45	1463	**253**	227	307	511	10,3%	280	19,1%	
08:00	1636	**215**	210	196	526	2,3%	206	12,6%	
08:15	1064	**230**	165	140	422	28,3%	185	17,4%	
08:30	1081	**202**	170	257	391	15,8%	230	21,2%	
08:45	911	**237**	190	445	445	19,8%	341	37,4%	
09:00	1611	**343**	254	588	392	25,9%	466	28,9%	
09:15	1483	**345**	238	325	366	31,0%	335	22,6%	
09:30	1719	300	236	370	376	21,3%	335	19,5%	
09:45	2503	393	287	545	370	27,0%	469	18,7%	
10:00	1825	467	309	824	395	33,8%	646	35,4%	
10:15	1685	426	336	525	387	21,1%	476	28,2%	
10:30	1591	524	384	462	601	26,7%	493	31,0%	
10:45	2018	499	324	473	442	35,1%	496	24,1%	
11:00	1762	351	287	287	287	18,2%	319	18,1%	
11:15	2500	295	223	263	499	24,4%	279	11,2%	
11:30	2815	259	226	222	430	12,7%	241	8,5%	
11:45	1776	221	238	164	486	-7,7%	193	10,8%	
12:00	2883	181	249	153	589	-37,6%	167	5,8%	
12:15	1879	630	359	206	501	43,0%	418	22,2%	
12:30	2095	536	329	530	435	38,6%	533	25,4%	
12:45	2812	439	325	646	467	26,0%	543	19,3%	
13:00	2820	393	272	539	649	30,8%	466	16,5%	
13:15	2671	337	337	337	337	0,0%	337	12,6%	
13:30	2726	274	231	365	495	15,7%	320	11,7%	
13:45	2806	310	266	444	463	14,2%	377	13,4%	
14:00	2501	534	315	885	517	41,0%	710	28,4%	
14:15	10099	639	549	811	594	34,6%	825	8,2%	
14:30	3831	607	516	697	558	15,0%	652	17,0%	
14:45	2717	795	519	1170	584	34,7%	983	36,2%	
15:00	3044	689	492	621	585	28,6%	655	21,5%	
15:15	2540	868	538	1230	815	38,0%	1049	41,3%	
15:30	3510	826	598	467	840	27,6%	647	18,4%	
15:45	2500	683	554	581	884	18,9%	632	25,3%	
16:00	3304	505	450	808	1101	10,9%	657	19,9%	
16:15	4379	453	394	581	992	13,0%	517	11,8%	
16:30	6994	487	404	535	917	17,0%	511	7,3%	
16:45	3931	682	509	1727	913	25,4%	1205	30,6%	
Moyennes (après 15 h00)	***6453***	***840***	***652***	***680***	***1287***	***22,4%***	***760***	***11,8%***	
x 10^{-4} g/m³	***15,34***	***2,25***	***1,72***	***2,13***	***3,17***	***23,6%***	***2,19***	***14,3%***	
PM 2,5	***14,95***	***2,17***	***1,66***	***2,02***	***3,08***	***23,5%***	***2,10***	***14,0%***	
Nbre moyen de particules									
.5 à 1 micron	6138	775	604	599	1214		687		
1 à 5 microns	315	65	48	81	73		73		
% num .5 à 1	95%	92%	93%	88%	94%		90%		
% num 1 à 5	5%	8%	7%	12%	6%		10%		
Masse des particules comptées, en grammes									
.5 à 1 micron	9,49091E-09	1,1983E-09	9,3413E-10	9,26399E-10	1,87654E-09	**22,0%**	1,06235E-09		
1 à 5 microns	3,29374E-09	6,7967E-10	4,9994E-10	8,45209E-10	7,68784E-10	**26,5%**	7,6244E-10		
% mass .5 à 1	74%	64%	65%	52%	71%		58%		
% mass 1 à 5	26%	36%	35%	48%	29%		42%		
.5 à 5 microns	1,27847E-08	1,8378E-09	1,4349E-09	1,77161E-09	2,64533E-09	**23,6%**	1,82479E-09		
.5 à 2,5 microns	1,24553E-08	1,81E-09	1,384E-09	1,68709E-09	2,56845E-09		1,74855E-09		

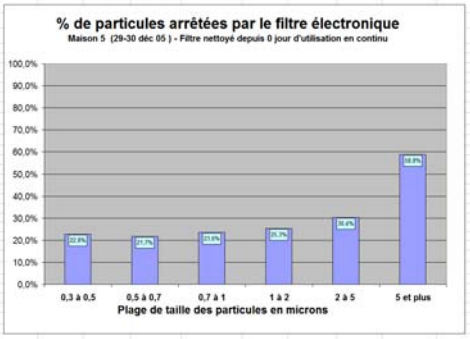
2,5 L/mn pendant 20 sec = 0,0008333 m³





Taille des particules en micron	0,3 à 0,5	0,5 à 0,7	0,7 à 1	1 à 2	2 à 5	5 et plus
Nombre en amont du filtre	7582	645	130	50	14	0,3
Nombre en aval du filtre	5855	505	99	38	10	0,1
% de particules arrêtées	22,8%	21,7%	23,6%	25,3%	30,4%	58,8%

Pourcentage de particules arrêtées par le filtre électronique	
entre 0,5 et 5 microns	22,4%
entre 0,5 et 1 micron	22,0%
entre 1 et 5 microns	26,5%



L

La feuille de calcul précédente est le genre de fichier qui a été remis à l'UQAM pour analyser leurs données de fréquences cardiaques. La zone ombrée en orange indique une période de temps pendant laquelle le filtre électronique a été entretenu et que l'on n'a pas pris en compte dans le calcul des moyennes. La zone ombrée en jaune indique la période de temps pendant laquelle les mesures de fréquences cardiaques ont été prises. La colonne de chiffres plus gros et gras indique les valeurs les plus représentatives de l'environnement dans lequel s'est retrouvée la personne dont on surveillait la fréquence cardiaque. En bas des colonnes de mesures, nous calculons, en µg/m_, les valeurs de $PM_{2,5}$ pour les valeurs moyennes de nombres de particules de la période de chacune des canaux mesurés. Malgré un filtre aux piètres performances (env. 25%) et l'activité des fêtes de fin d'année, cette maison se maintient à l'intérieur à un niveau de particules de seulement 1/10 de ce qu'il est à l'extérieur ($PM_{2,5}$ de 1,7 à l'intérieur versus 16 microgrammes par m_ d'air, à l'extérieur, une journée de tempête de neige et de vent).

Si l'UQAM désire présenter un profil de taux de $PM_{2,5}$ aux 15 minutes, nous leur avons suggéré d'appliquer aux valeurs instantanées une règle de trois de la valeur moyenne par rapport à la valeur moyenne. Cette approximation nous apparaît tout à fait valable au regard de notre connaissance des valeurs du nombre de particules du projet antérieur, à savoir que dans le type de maisons étudiées, les proportions de particules de différentes tailles restent les mêmes (par ex. quand on observe 2 fois plus de particules de 2 à 5 microns, on a aussi deux fois plus de particules de 0,7 à 1 micron).

Dans le cas de cette maison, nous voyons encore un filtre électronique qui montre des épisodes de rendements négatifs, une indication qu'il y a encore des infiltrations d'air contaminé en aval du filtre, ou que le filtre connaît des mauvais contacts électriques inopinés, ou une combinaison des deux phénomènes.

Validité et limites des mesures

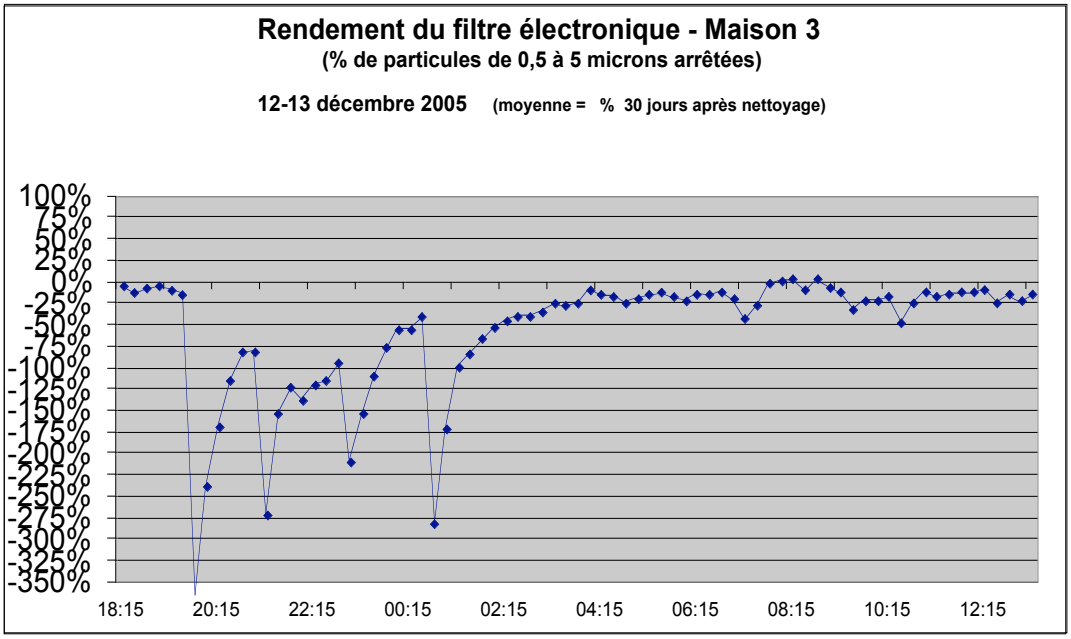
Le budget du projet nous a limité à un échantillonnage de seulement 5 maisons.

Nous sommes confiants de la validité de nos résultats, surtout si on s'intéresse non pas aux valeurs absolues des taux de particules mesurés, mais plutôt à l'analyse relative des valeurs mesurées, des taux à l'intérieur de la maison par rapport au taux à l'extérieur, en mont du filtre par rapport à l'aval du filtre, etc. . De plus, lorsque nous avons été surpris par des performances très basses (nulles ou négatives) ou au contraire, étonnamment élevées (100,0%), ou encore que nous voyions des variations étonnantes (par exemple chute de performance apparente du filtre électronique en moins de 48 heures) nous avons toujours débranché nos appareils pour faire quelques mesures tous les canaux lisant l'air d'un même endroit, en provoquant des pics de particules ou encore nous sommes revenus dans la maison aux performances étonnantes après avoir étudié un autre maison entre temps. Nous avons toujours retrouvé les mêmes tendances observées.

En évaluant les performances des filtres électroniques uniquement par les mesures des taux de particules en amont et en aval de filtres, dans des installations de chauffage réelles de maisons existantes, nous mesurons également l'effet des fuites de gaine d'air. Ainsi, lorsque des infiltrations d'air contaminé d'une chaufferie sont aspirées par le ventilateur de fournaise, il est tout à fait possible que ces infiltrations soient tellement importantes qu'elles dépassent les bénéfices de la filtration et que l'on observe un rendement apparent de filtration négatif. Un exemple d'une telle situation est celui de la maison 3 avant de réparer le filtre et de sceller les gaines d'aspiration et la porte de communication entre la chaufferie et le garage, celui qui était illustré par la Figure 2. Le rendement moyen apparent du filtre pendant cette période, même si le

filtre avait eu une efficacité réelle proche de 100%, n'aurait jamais pu devenir positif, entre 20h00 et minuit, à cause des infiltration d'air du garage où 4 cigarettes avaient été fumées.

Figure 6 : Maison 3 – Période du 12 au 13 décembre 2005
Rendements instantanés du filtre électronique



Mais cet aspect rentre tout à fait dans l'esprit de ce projet de recherche, d'abord parce que ce rendement apparent est le rendement réel dont bénéficie l'air de la maison et ensuite parce que ce projet vise à apporter des renseignements pratiques et utiles aux propriétaires et occupants de la maison 1.

Choix et caractérisation des maisons

Plusieurs maisons étudiées dans ce projet sont les mêmes que celles qui avaient été étudiées dans le projet précédent de la même équipe avec la SCHL **[1]**. Pour éviter des malentendus dans le recoupement de données, tout en préservant l'anonymat des résidences privées, nous avons utilisé les mêmes numéros de maisons pour les mêmes maisons du projet précédent. Ainsi, il n'y a pas de maison 2 parce que pour des raisons de disponibilité du propriétaire, nous n'avons pas pu l'inclure dans le présent projet. Les maisons qui se sont ajoutées dans le projet se sont vues attribuer de nouveaux numéros. Au total, cinq (5) maisons différentes ont été étudiées dans ce projet.

Les maisons sélectionnées avaient au moins un des occupants présentant une sensibilité respiratoire ou cardiaque qui acceptait de porter le cardiofréquencemètre. Chacune des maisons devait posséder un système de chauffage central à air pulsé avec un filtre électronique de type précipitateur électrostatique avec préfiltre mécanique, fils ionisants et plaques collectrices. Les nouveaux systèmes hybrides de filtration électronique, proposés par certains fabricants depuis 3 ou 4 ans, ne font pas partie de cette étude. Ces nouveaux filtres dits « hybrides » utilisent un media filtrant chargé électrostatiquement, placé perpendiculairement au flux d'air, plutôt que des plaques collectrices qui forment un condensateur aux parois parallèles au flux d'air.

Étude de la variabilité du rythme cardiaque des occupants

Ce volet de l'étude, proposé par l'UQAM, visait à essayer de répondre à une intéressante question pour l'industrie de la ventilation : ***Est-ce que cela sert vraiment à quelque chose de travailler à essayer d'abaisser le taux de particules dans une maison, du point de vue de la santé de ses occupants ?*** En effet, s'il n'est pas évident de prouver que la filtration de l'air d'une habitation protège ses habitants contre des pointes de pollution par les particules, ces dernières provenant le plus souvent de l'intérieur même de la maison, il n'a été jamais directement prouvé qu'en abaissant les taux moyens de particules à l'intérieur d'une habitation, ses occupants pouvaient en tirer des bénéfices pour leur santé.

Depuis que l'UQAM a proposé d'utiliser la variabilité du rythme cardiaque (VRC) dans le cadre de ce projet, sur la base d'autres études [3,4,5], plusieurs publications récentes identifiées au cours de notre projet, montrent qu'il y a un lien entre cet indicateur de mesure de la santé cardio-respiratoire des individus et l'exposition aux particules [6,7,8,9,10]. Un individu en bonne santé cardio-respiratoire présente une variabilité élevée de son rythme cardiaque. Alors que sous l'action d'un stress, le cœur se met à battre de façon plus régulière, c'est à dire que la variabilité du rythme cardiaque diminue.

Nous avons donc, dans la mesure du possible, équipé un occupant de chacune des maisons d'un enregistreur du rythme cardiaque (cardiofréquencemètre Polar) du même type que celui utilisé par les sportifs qui suivent un entraînement professionnel. Il s'agit d'une ceinture serrée au niveau de la poitrine qui contient une électrode posée à la hauteur du cœur qui communique par port infra-rouge avec un bracelet-montre porté au poignet. La montre a une capacité de mémoire de plusieurs heures qui est transférée par un autre port infra-rouge dans notre ordinateur d'analyse, au moyen d'un logiciel d'acquisition et de traitement de données du manufacturier Polar. Les données enregistrées peuvent être présentées sous formes de statistiques et de graphiques utiles à un entraînement sportif. L'UQAM a complété ces données par le calcul de plusieurs paramètres qui sont reconnus dans le domaine comme pouvant caractériser la variabilité du rythme cardiaque (VRC) . Les paramètres suivants ont été calculés pour caractériser la VRC et découlent de l'analyse des basses et hautes fréquences de l'électrocardiogramme :

- SDNN (Standard Deviation of Normal to Normal) qui représente la racine carré de la variance totale (écart type) des intervalles NN de l'électrocardiogramme, mesure la variabilité totale des intervalles NN du rythme cardiaque.
- RMSSD (Square Root of the Mean Squared Differences) rend compte de la variabilité à court terme. Cela permet de filtrer en partie la variabilité causé par l'arythmie sinusale respiratoire pendant les heures de sommeil.
- Le pNN50 est le pourcentage des intervalles NN qui ont une différence supérieure à 50 millisecondes.

Le SDNN et le RMSSD sont les plus sensibles et le pNN50 vient à l'appui de l'interprétation de la variabilité soulevée par le SDNN et le RMSSD.

Les corrélations avec les taux de particules sont effectuées par la production de graphiques mettant en relation les paramètres caractérisant la VRC avec les taux de particules mesurés au même moment dans la maison où se trouve l'occupant suivi avec le cardiofréquencemètre. Pour ne pas consigner ces occupants à la maison, les mesures pendant le sommeil ont été privilégiées. Durant la nuit il y a une légère perte de la VRC [7, Fig.2] mais à quelques heures du réveil la VRC revient au niveau avant le sommeil. L'article [7] montre aussi la perte de la VRC selon l'âge. Ce qu'il y a d'intéressant c'est que peu importe l'âge la fluctuation diurne et nocturne de la VRC est semblable.

Dans les fichiers Excel en annexe, les zones de mesures valides de la VRC sont identifiées en jaune-orangé.

Résultats (Faits saillants)

Cinq (5) maisons ont été étudiées entre le 2 décembre 2005 et le 5 janvier 2006. Les données de vingt-deux (22) périodes de mesures d'une durée typique de 24 heures ont été traitées et analysées. Parmi ces 22 périodes de mesures, 13 périodes ont eu des mesures valides des fréquences cardiaques. L'ensemble des données recueillies est disponible dans le CD ROM donné en annexe. Une page synthèse de chaque période a été produite dans le même format que celui présenté à la figure Nous donnons ici un bref aperçu des faits les plus saillants relevés dans chacune des maisons. On rappelle que dans la suite de ce document, les termes « rendement » ou « performances » du filtre électronique réfèrent au pourcentage du nombre de particules d'une plage de dimensions données qui sont arrêtées par le filtre par rapport au nombre de particules de la même plage de dimensions qui se présentent à son entrée.

Maison 2

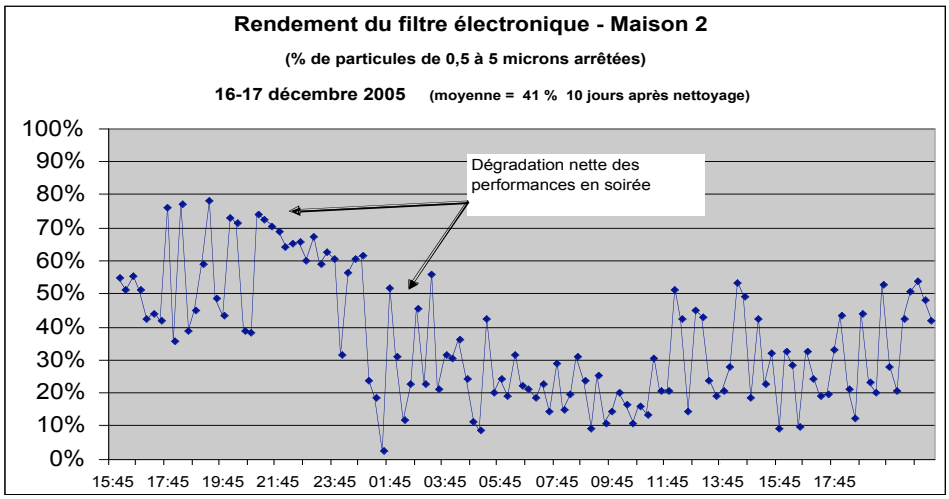
La maison 2, comme toutes les maisons suivantes, d'un système de chauffage central à air pulsé avec un filtre électronique placé en amont de la fournaise et des éléments chauffants. La fournaise à air chaud est au mazout qui fonctionne en-dessous de -12°C. Sinon le chauffage est assuré par une thermopompe et/ou des éléments électriques (système bi-énergie). Il s'agit de la même maison 2 que dans le projet antérieur. Nous avons réalisé 3 vagues de mesures dans cette maison, du 3 au 5 décembre 2005, puis du 16 au 19 décembre et enfin du 31 décembre au 4 janvier 2006, pour un total de 10 périodes de mesures. Filtre évalué : White Rodgers EAC A858 0897

Les nombres de particules entre 0,5 et 5 microns comptées par échantillon, en moyenne pour les différentes périodes de mesures se sont situées dans une plage de 1 000 à 2 000.

Le filtre électronique, d'une vingtaine d'années, n'avait pas été nettoyé depuis 27 jours d'utilisation de la ventilation en mode « Auto ». Son rendement, lors de la première période (ventilation en mode « auto ») était de 41%. Le lendemain avec la ventilation en mode continu (les propriétaires (européens) n'aiment pas du tout le chauffage à air pulsé et préfèrent le faire fonctionner le moins possible, c'est à dire en mode « Auto »), le rendement apparent est de 34%.

Après nettoyage, les performances du filtre atteignent 62% durant les 24 premières heures d'utilisation en mode continu. Lors de notre deuxième passage, 10 jours après le nettoyage du filtre, on constate que les propriétaires ont du mal à accepter la ventilation en mode continu. On observe les performances dans les conditions d'opération en mode « auto ».

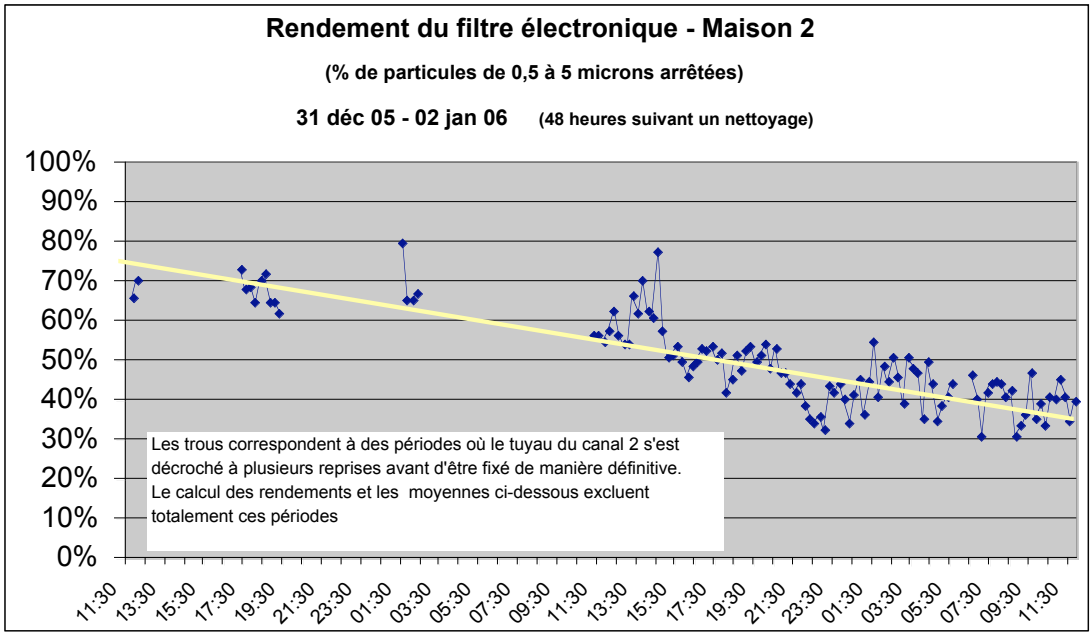
Figure 5 : Maison 2 – Rendement instantané du filtre après 10 jours d'utilisation



Durant les premières heures, le filtre semble encore avoir un rendement dans la gamme des 60% mais on observe en soirée une brusque baisse des performances du filtre (moins de 30% des particules arrêtées), qui se maintient pendant toute la nuit et la journée suivante. Les occupants ne semblent pas se mettre d'accord sur le mode de ventilation qui a été adopté et devrait être adopté et finalement nous n'arrivons à déterminer en quel mode fonctionne le système. Nous soupçonnons qu'en soirée, un des 4 occupants a décidé de mettre la ventilation en mode continu pour l'expérience. Nous les convainquons d'essayer de ne pas toucher au contrôle et de laisser fonctionner le système en continu la journée suivante pour vérifier si cela n' « assécherait » pas les plaques collectrices d'un éventuel dépôt isolant diélectrique. Les performances continuent de se dégrader puisqu'elles se maintiennent en-dessous de 20% toute la journée suivante. **Après seulement 11 jours d'utilisation, les performances du filtre sont tombées plus bas que lors de la première évaluation après 27 jours d'utilisation.**

Nous revenons le 31 décembre dans la maison, le filtre fonctionne toujours très mal après 25 jours d'utilisation et décidons de suivre en continu, ses performances avec la ventilation en mode continu sur une période de 48 heures. En 48 heures d'utilisation en mode auto, les performances apparentes du filtre passent de 75% à moins de 35% !

Figure 6 – Maison 2 – Période du 31 décembre 2005 au 2 janvier 2006
Dégradation des performances du filtre électronique dans les 48 h suivant son nettoyage



Nous avons procédé à une ultime vérification dans la maison 2 entre le 3 et le 4 janvier. Nous avons arrêté l'alimentation du filtre électronique pour en vérifier les performances. Nous soupçonnions que des performances inférieures à 20% pouvaient signifier une inefficacité totale du système d'ionisation ou des plaques collectrices et étaient dues uniquement au préfiltre mécanique (treillis métallique). Ce n'était pas le cas; le préfiltre seul n'arrête que 5% des particules entre 0,5 et 5 microns. Le filtre électronique fonctionnait avec de faibles rendements, mais fonctionnait encore.

Notons qu'en aucun moment dans cette maison nous n'avons senti l'odeur caractéristique de l'ozone. Les mesures en aval du filtre étaient prises en sortie de fournaise, le filtre étant immédiatement monté à l'aspiration de celle-ci. Il ne semble pas y avoir de problèmes d'infiltration d'air contaminé, ce qui est corroboré par le fait que nous n'ayons à aucun moment observé un rendement apparent du filtre qui soit négatif.

Maison 3

Les problèmes et faits saillants de la maison 3 ont servi d'illustration dans le chapitre Méthodologie. Nous avons réalisé une vague de mesures dans cette maison 100% électrique, du 12 au 16 décembre 2005, pour un total de 4 périodes de mesures. Nous avons fait réparer le filtre dont l'alimentation haute-tension était défectueuse.

Filtre évalué : White Rodgers EAC A858 0897 Model 10C24M41001 Datecode 9140 Serial 858273

Notons que dans cette maison, il n'y a jamais eu constat de l'odeur caractéristique de l'ozone. Nous pouvons conclure que nous n'avons jamais totalement réussi à rendre le système de ventilation étanche (les murs de la chaufferie encerclent la fournaise et ses conduits à moins de 6'' de distance). Malgré une coûteuse réparation auprès du grossiste en composants de chauffage Techni-Confort de Longueuil, une référence auprès des techniciens en chauffage de la Rive-Sud de Montréal, le filtre montre des performances apparentes ne dépassant pas 40%. Moins de 24 heures après la réparation, il semble de nouveau y avoir des problèmes d'alimentation électrique. En tout temps, même avec des performances nulles ou négatives, le filtre émet le bruit sec de claquement d'étincelle électrique quand nous donnons un coup sur le conduit d'air alimentant le filtre. Ce bruit n'est donc pas une indication du bon fonctionnement du filtre, ni le voyant lumineux supposé indiquer qu'il y a de bons contacts électriques au niveau des cartouches filtrantes.

Les nombres de particules entre 0,5 et 5 microns comptées par échantillon, en moyenne pour les différentes périodes de mesures se sont situées dans une plage de 1 500 à 5 500.

Les propriétaires de cette résidence de prestige ont toujours entretenu avec scrupule leur système de ventilation, incluant le nettoyage aux 30 jours du filtre électronique. Le « contrôleur électronique » du filtre est un simple compteur de temps à rebours. L'industrie n'offre aucun système d'évaluation des performances réelles des filtres électroniques. De plus, croyant ainsi tirer bénéfice de leur filtre, les propriétaires font fonctionner le système de ventilation en continu.

Indépendamment des piètres performances aléatoires du filtre électronique, le propriétaire de cette maison aurait intérêt à procéder aux améliorations suivantes, par ordre de priorité :

1. Tant que les modifications 2 à 4 n'ont pas été apportées, les occupants auraient intérêt à faire fonctionner la ventilation en mode « Auto », pour qu'elle fonctionne le moins possible. En effet, le système de ventilation, dans son état actuel, distribue dans toute la maison les contaminants potentiels qui sont envoyés dans la chaufferie et présents dans le garage. En plus, cela permettra de réaliser des économies d'électricité, le ventilateur fonctionnant moins souvent. La maison redécouvrira aussi les périodes de silence total.

2. Rendre la porte de la chaufferie qui donne dans le garage aussi étanche que celle qui communique entre le garage et le sous-sol habité. Il s'agit d'une grave lacune des codes de construction de négliger cette porte. Les garages faisant partie intégrante d'une maison sont un danger négligé, surtout avec la mode des démarreurs à distance. En effet, indépendamment des problèmes de particules, cette porte, d'un point de vue sécurité, est plus importante que celle qui communique avec la pièce de vie du sous-sol. En cas de problème avec le feu, avec les hydrocarbures ou avec les émanations de moteurs d'automobile, les conduits d'air du système de ventilation dans la chaufferie, surtout comme ils ne sont pas étanches en aspiration, contamineraient en quelques secondes la maison toute entière à tous les étages. La réaction de la maison à la fumée d'une seule cigarette dans le garage illustre très bien notre propos.

3. Évacuer l'air de sortie de l'aspirateur central à l'extérieur de la chaufferie, idéalement à l'extérieur. Si le propriétaire ne veut pas percer le mur de maçonnerie, il devrait au minimum

sortir l'air de l'aspirateur dans le garage et non le laisser pressuriser la chaufferie. Les dépôts de poussière sur les meubles après un ménage seront résolus. Les installateurs d'aspirateurs centraux devraient être avisés de ne pas faire de telles erreurs fondamentales.

4. Rendre le plus étanche possible les conduits de son système de ventilation. D'après nos observations de l'installation de chauffage, même lorsque le filtre électronique était neuf et en parfait état, il n'a en pratique jamais apporté aucun bénéfice à la qualité de l'air de la maison. Les entrepreneurs en ventilation devraient être sensibilisés à l'inutilité d'installer des systèmes de filtration sophistiqués s'ils négligent de rendre étanche les gaines de ventilation en pression négative, en aval du filtre. Pourtant l'installation a une apparence impeccable de propreté. Cependant, un indice était les bruits élevés de succion qui provenaient de plusieurs directions dans la chaufferie. La situation a probablement été aggravée par l'installation de l'air climatisé quelques années après la construction de la maison, dans une chaufferie tellement exigüe que l'entrepreneur n'a probablement pas pu faire le travail qu'il aurait voulu. Les architectes devraient prévoir des chaufferies dans lesquelles il y a suffisamment d'espace pour pouvoir effectuer la surveillance, l'entretien et d'éventuelles améliorations ou modifications aux installations mécaniques. S'il n'est pas possible de rendre étanche le côté en pression négative des conduits, prévoir de percer une ouverture dans le conduit en sortie de fournaise de façon à mettre la pièce de la chaufferie non plus en pression négative mais en pression équilibrée ou positive par rapport au garage, façon de prévenir les transferts de pollution du garage vers la maison, via le système de ventilation.

5. S'il considère qu'un système de filtration est indispensable à sa qualité de vie, le propriétaire devrait envisager faire vérifier à nouveau le filtre électronique ou le remplacer par des filtres conventionnels en papier ou autre matière fibreuse de qualité ordinaire. Des conduits étanches seraient le plus grand progrès, les performances plus ou moins parfaites du filtre qui serait installé en ligne sont accessoires en comparaison.

Maison 4

La maison 4, à chauffage central à air chaud au mazout a fait l'objet d'une vague de mesures du 6 au 12 décembre 2005, pour un total de 6 périodes de mesures. Le propriétaire de cette maison est architecte et occupe sa maison depuis sa construction, il y a une trentaine d'années. Le filtre est âgé de 7 ans et il est scrupuleusement nettoyé aux 30 jours, voir plus souvent en saison des pollens. Il est utilisé 8 760 h/an. L'occupante de la maison souffre d'allergies respiratoires et semble en mesure de détecter par son inconfort respiratoire quand le filtre a besoin d'être nettoyé. Le filtre d'origine a été changé après 20 ans de services pour les mêmes raisons.

Filtre évalué : Honeywell F50 F1081 W 8600 E 120 V / 60 Hz / 0,4 A max
Ionisation décharge 8 150 VDC à 2,1 mA Collecteur 4 075 VDC

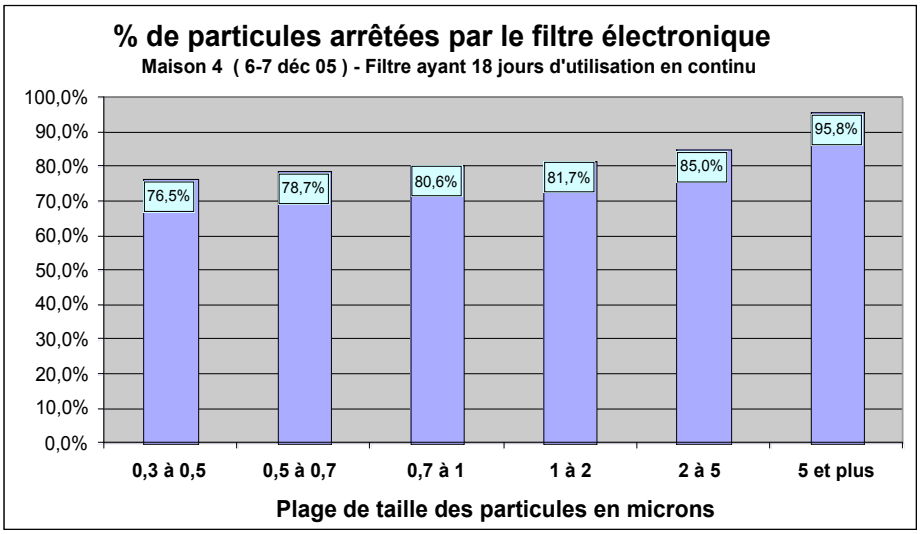
Cette maison est la seule des cinq maisons où nous avons observé un filtre pouvant avoir des performances parfaites (100%) et en général supérieures à 80 %. Pourtant le filtre est exactement du même type de construction que tous les autres et a une apparence aussi oxydée que les autres et n'est pas nettoyé selon un protocole différent (à l'eau chaude savonneuse). Après 18 jours d'utilisation avec la ventilation en continu, le filtre a un rendement de 80%. La figure suivante illustre son spectre de performances assez constant dans toute la gamme de tailles de particules.

Cependant, il est étonnant de constater qu'avec le filtre le plus performant de toutes les maisons, celle-ci n'est pas celle qui a le plus bas taux de particules à l'intérieur. En effet, même en milieu de nuit, le ratio du taux de particules à l'intérieur de la maison par rapport à l'extérieur est typiquement de 20 % alors qu'il tombe facilement en-dessous de 5% dans les autres maisons.

Les nombres de particules entre 0,5 et 5 microns comptées par échantillon, en moyenne pour les différentes périodes de mesures se sont situées dans une plage de 500 à 1 700.

Nous soupçonnons la fournaise au mazout d'être une source de particules. Nous constatons que la chaufferie au sous-sol possède la trappe de courrier qui sert en même temps d'entrée d'air de combustion pour la fournaise. Le problème est que cette trappe située au point le plus bas de la maison est aussi une importante source d'infiltration d'air par temps froid et que ces infiltrations passent par la chaufferie avant de se répandre dans la maison. En scellant cette trappe et la porte de la chaufferie, nous améliorons le ratio des taux de particules è l'intérieur de la maison par rapport à l'extérieur, mais le propriétaire ne veut pas retenir cette mesure voulant alimenter l'air de combustion avec l'air extérieur.

Figure 7 – Maison 4 – Période du 6 au 7 décembre 2005
Spectre de performances du filtre électronique après 18 jours d'utilisation en continu



En revanche, ce filtre est le seul à avoir eu un problème de moins bonnes performances après un nettoyage. En effet après 2 périodes de mesures montrant un rendement de plus de 80%, les performances du filtre chutent en-dessous de 75% après nettoyage.

Le propriétaire soupçonne qu'une des deux cartouches ait un mauvais contact électrique même si le voyant lumineux de l'appareil indique que la tension est présente (aucun moyen de le savoir). De plus, pendant cette période, la maison a été rapidement envahie d'une forte odeur de piscine, odeur caractéristique de l'ozone. C'est donc le filtre le plus performant des cinq évalués qui présente un problème de génération d'ozone et curieusement après un nettoyage et non pas avec un certain niveau d'encrassement. Nous avons constaté lors de visites ultérieures dans cette maison, y compris à plusieurs reprises, longtemps après nos mesures, que cette odeur d'ozone, facilement détectable quand on est une personne étrangère, donc non habituée à l'odeur, était souvent présente dans cette maison. Un filtre électronique performant mais qui émet de l'ozone à des niveaux détectables à l'odorat est-il bienfaisant pour la santé d'une personne qui souffre de graves problèmes de santé respiratoire ? Si nous étions à la place de cette personne, surtout puisqu'elle semble pouvoir détecter les problèmes de qualité d'air, nous ferions l'essai d'arrêter le filtre électronique et de mettre un filtre HEPA portatif dans la chambre à coucher et dans le séjour de la maison.

Avant de remettre en place les cartouches, le propriétaire suggère un deuxième nettoyage et un temps de séchage plus long d'une journée complète (9-10 décembre) pour ne pas replacer les cartouches avant qu'elles de soient parfaitement sèches. En effet, il pense avoir remarqué que l'odeur d'ozone était plus forte quand il replaçait les cartouches filtrantes encore humides. Le

filtre montre alors des performances de 100,0 % le deuxième jour après son nettoyage. Même dans la plage de particules de 0,3 à 0,5 µm, les performances sont de 99,95%. (Nous avons procédé à une vérification des lectures de notre banc de mesures.) Les performances chutent à 97,0% le jour 2 après le nettoyage. L'odeur d'ozone semble avoir diminué (nous y sommes-nous habitués ?) sans totalement disparaître.

Maison 5

Les propriétaires de la maison 5 ont accepté d'accueillir notre expérience entre Noël et Jour de l'an. Elle a fait l'objet d'une vague de mesures du 28 au 30 décembre 2005, pour un total de 2 périodes de mesures. La maison est équipée d'un chauffage central à air chaud avec une fournaise toute neuve qui a été installée 1 mois auparavant, au gaz naturel, à condensation et avec brûleur scellé à prise d'air extérieur. Le système de ventilation fonctionne en mode « Auto ».

La maison a de grandes surfaces de tapis âgés et un fort taux d'occupation et d'activité. La maison sert de garderie en milieu familial et il y a un chien (petit caniche). Pendant la période des mesures, la maison était occupée par 3 couples (et le chien). Les nombres de particules entre 0,5 et 5,0 µm comptées par échantillon, en moyenne pour les différentes périodes de mesures se sont situées dans une plage de 800 à 1 400 (PM2,5 entre 2 et 3,7 µg/m_). Nous n'avons détecté aucune odeur typique d'ozone.

Le filtre électronique de marque Honeywell a un âge inconnu du propriétaire, mais supérieur à 20 ans. Le propriétaire a été l'acheteur de ce système mais prétendait ignorer qu'un tel filtre avait besoin d'être nettoyé (on lui a vendu l'intérêt d'un système électronique comme de ne jamais avoir à changer de cartouches filtrantes, le message reçu a été « un appareil sans entretien »); il ne se souvient pas l'avoir jamais nettoyé avant l'installation de la nouvelle fournaise. Le filtre que nous évaluons a donc été nettoyé au cycle complet de lave-vaisselle avec poudre à lessive, pour la première fois en 20 ans, 32 jours auparavant. Nous constaterons après la première période de mesures que 2 des fils d'ionisation sont manquants. Fait bizarre : l'installateur de la nouvelle fournaise à air chaud a décidé d'installer sans poser de question, un tiroir avec un nouveau filtre en matière fibreuse, placé en amont de la fournaise neuve (et en aval du filtre électronique). Nous profitons de cette entrée dans les conduits pour glisser notre tuyau d'échantillonnage en aval du filtre électronique (mais en amont du nouveau filtre).

Le filtre lavé 32 jours auparavant a un rendement apparent moyen (en mode « Auto ») de 23 %. Mais pendant les périodes d'activité dans la maison, il montre quelques points de rendement nul ou inférieur à 10%. Est-ce à cause des 2 fils manquants ? de soubresauts du mode « Auto » ?

Figure 7 – Maison 5 – Période du 28 au 29 décembre 2005
Performances instantanées du filtre de 20 ans lavé, pour la première fois, 32 jours avant

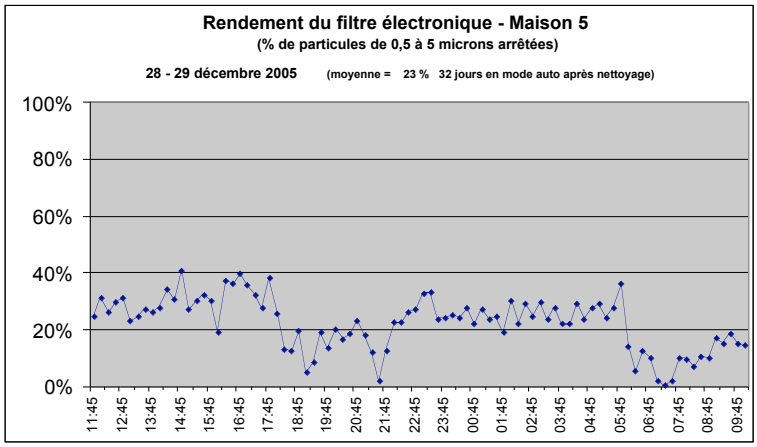
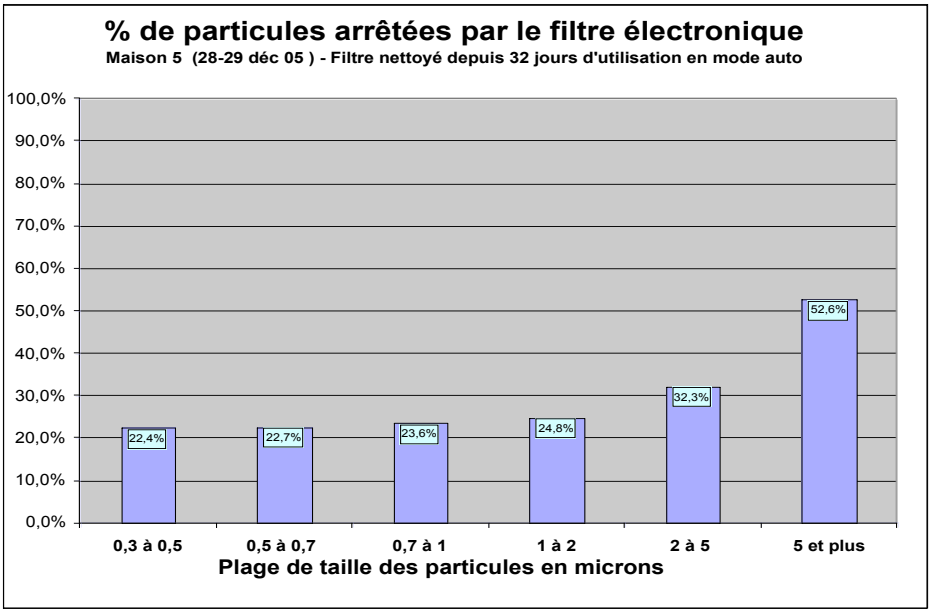
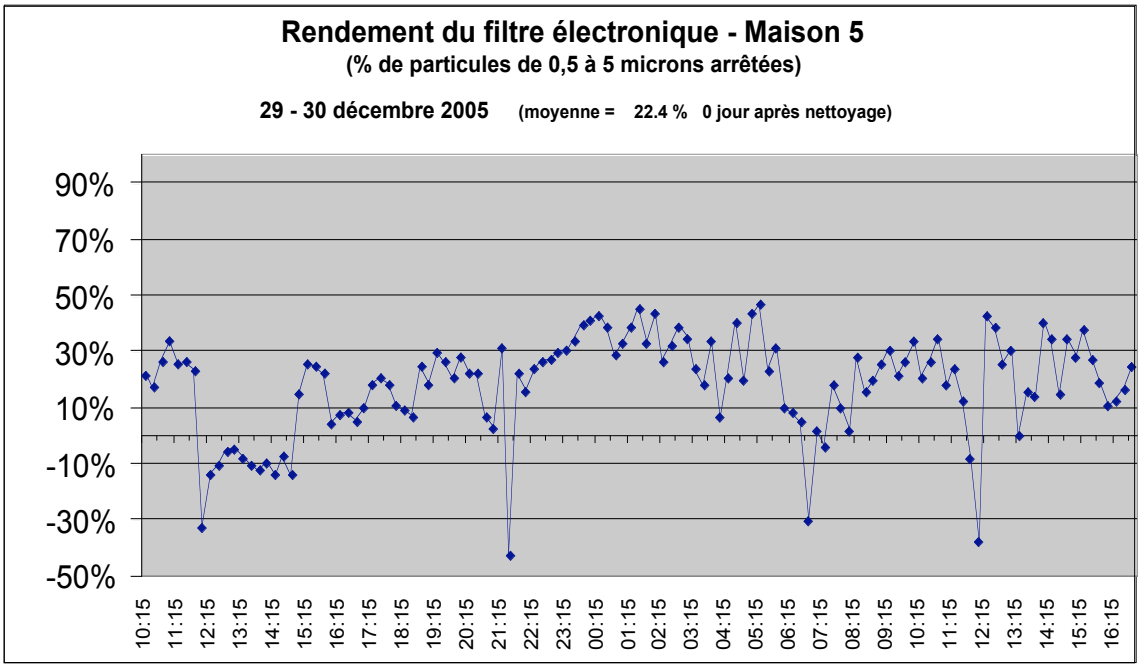


Figure 8 – Maison 6 – Période du 28 au 29 décembre 2005
Spectre de performances du filtre de 20 ans lavé, pour la première fois, 32 jours avant



Nous demandons au propriétaire de laver le filtre (en période de congé, il ne nous est pas possible de faire réparer les deux fils d'ionisation). La dernière période de mesure montre que cela n'a pas été une bonne idée de toucher au vieux filtre…! Les performances moyennes ne sont pas améliorées, même s'il y a des épisodes de performances atteignant 50%. Problèmes de contact (comme dans la maison 4) ? Que signifient les valeurs apparentes négatives ? des infiltrations ? Nous devons malheureusement arrêter l'expérience, les occupants attendant des visiteurs pour le Jour de l'an. Rappelons qu'il n'y a eu aucune odeur d'ozone durant ces 3 jours.

Figure 9 – Maison 5 – Période du 29 au 30 décembre 2005
Performances instantanées du filtre après son nettoyage



Maison 6

La maison 6 est une nouvelle maison jamais étudiée auparavant. Il s'agit d'un bungalow à un seul étage avec sous-sol entièrement aménagé occupé par un couple de retraités. Le ménage est impeccable. Le propriétaire a subi une chirurgie cardiaque il y a quelques années. Le système de chauffage est 100% électrique et le système de ventilation apparaît de construction très soigneuse (tous les conduits sont entièrement isolés avec enduit ignifuge). Les propriétaires ont confié à contrat l'entretien régulier de leur système mécanique, incluant le filtre électronique. Ils sont intéressés par notre projet, afin de vérifier le bon fonctionnement de leur installation. Ils n'ont jamais trop su s'ils devaient nettoyer ou non les cartouches filtrantes, si oui à quelle fréquence. La ventilation fonctionne en continu afin de garder un air sain dans toute la maison, incluant le sous-sol aménagé.

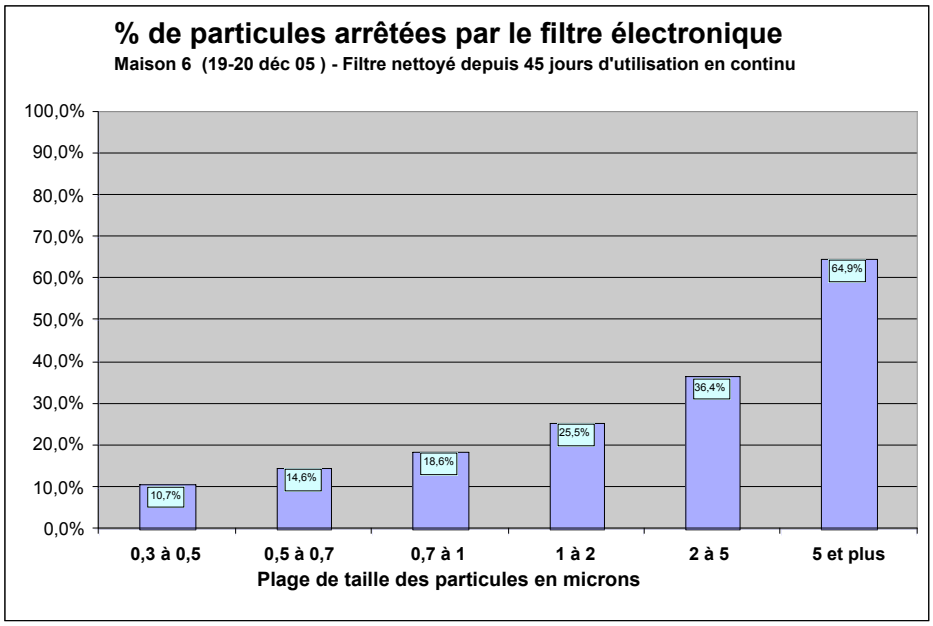
Filtre évalué : Lennox EAC 17-14-1 (75H10) 120 V / 60 Hz / 0,4 A max Âge : 8 ans
Ionisation décharge 8 150 VDC à 1,85 mA Collecteur 4 075 VDC

La maison a été évaluée du 19 au 21 décembre. Deux périodes de mesures ont été analysées mais couvraient 3 périodes d'essai (à l'approche de Noël, on a écourté la période d'évaluation du filtre avant nettoyage).

Les nombres de particules entre 0,5 et 5 microns comptées par échantillon, en moyenne pour les différentes périodes de mesures se sont situées dans une plage de 1 400 à 1 900 (la plus haute valeur correspondant paradoxalement à la période où le filtre est plus performant).

Première période de mesures : Avant nettoyage, le filtre avait 45 jours d'utilisation, ses performances étaient inférieures à 17%. Les performances sont très différentes selon la taille des particules. Notons qu'en plein milieu de nuit, alors qu'aucune mesures de particules ne montre d'activité dans la maison, à 3 reprises les performances du filtre tombent à 0% .

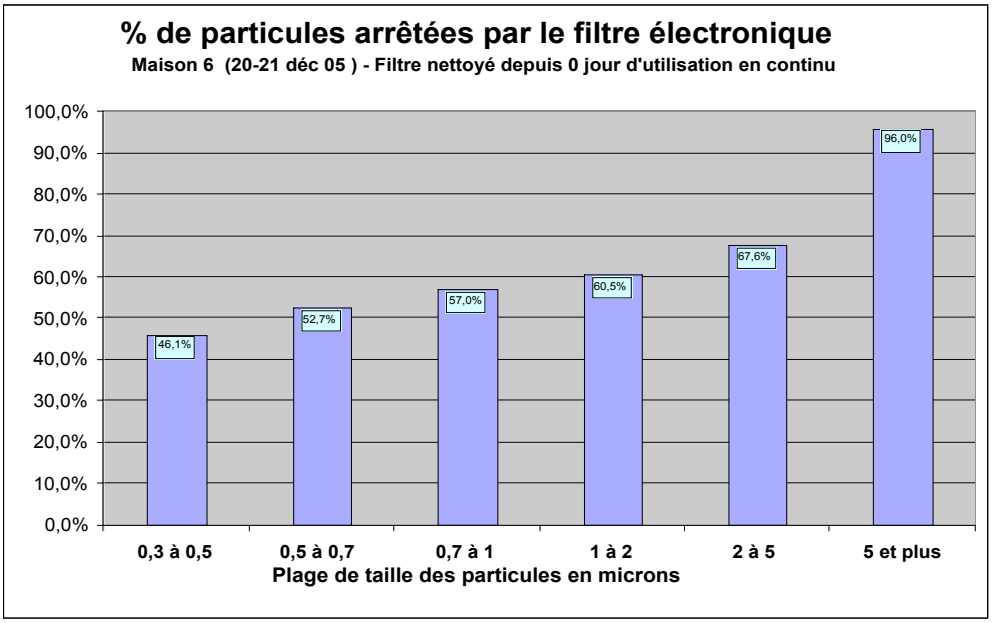
Figure 10 – Maison 6 – Période du 19 au 20 décembre 2005
Spectre de performances du filtre électronique après 45 jours d'utilisation en continu



On a procédé à un nettoyage « en accéléré » (lavage au lave-vaisselle / égouttage /remontage en 3 heures), les performances remontent au-dessus de 60% pendant les 3 heures suivant le nettoyage. Aucune odeur d'ozone dans la maison.

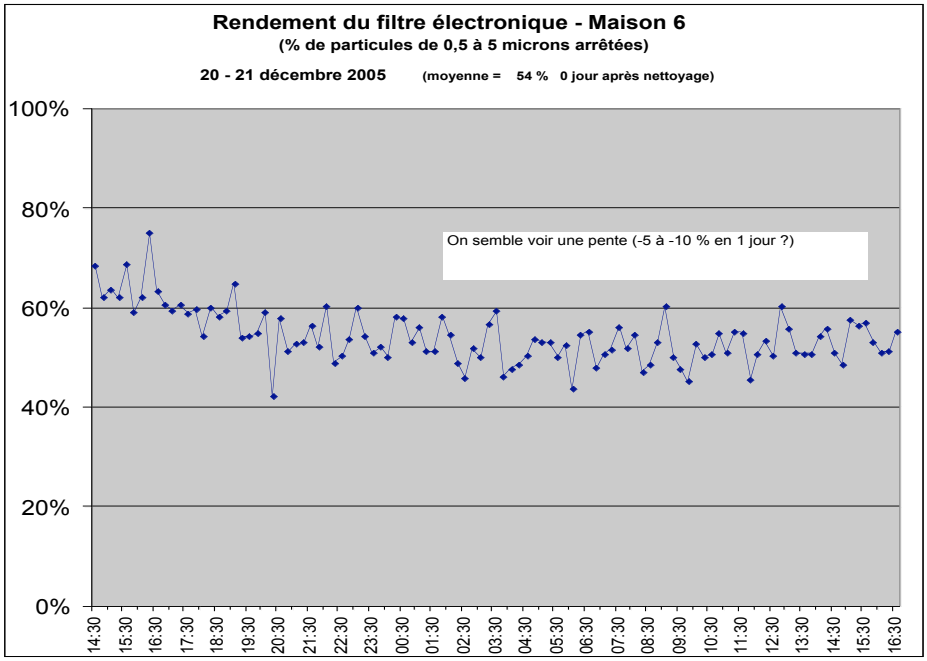
Deuxième période de mesures : Nous suivons les performances du filtre pendant 26 heures additionnelles. Il est à noter que le filtre continue d'avoir des performances différentes selon la taille des particules frôlant la perfection pour les particules de 5 microns et plus, mais tombant sous les 50% pour les 0,5 microns et moins.

Figure 11 – Maison 6 – Période du 20 au 21 décembre 2005
Spectre de performances du filtre électronique après 45 jours d'utilisation en continu



Notons cependant que pendant cette période de 26 heures, il nous paraît manifeste que les performances perdent 10%, passant de 65% à moins de 55%.

Figure 12 – Maison 6 – Période du 20 au 21 décembre 2005
Dégradation des performances du filtre électronique entre 4 et 30 h suivant son nettoyage



Corrélation entre VRC et niveaux de particules

En pratique, l'utilisation des cardiofréquencemètres a été plus problématique que prévue. L'utilisation de la ceinture pectorale était jugée gênante par plusieurs sujets. Parmi les participants, on a eu de fréquentes pertes du signal cardiaque lorsque les gens se retournent dans leur sommeil par exemple. La personne de la maison 4 a également fait une réaction allergique au gel électrolytique utilisé, pourtant déclaré « hypoallergène ». C'est ce qui explique qu'en fin d'analyse, on se retrouve seulement avec moins d'une douzaine de périodes valides d'évaluation de la VRC, d'une durée typique d'environ 5 heures consécutives.

Les personnes suivies des maisons 2 et 3 étaient des femmes en bonne santé de 40 ans environ. Les personnes des maisons 4 à 6 étaient âgées de moins de 60 ans à plus de 70 ans. Les personnes des maisons 4 et 6 prenaient des médicaments, la première pour le contrôle de l'asthme, la dernière ayant subi un pontage coronarien.

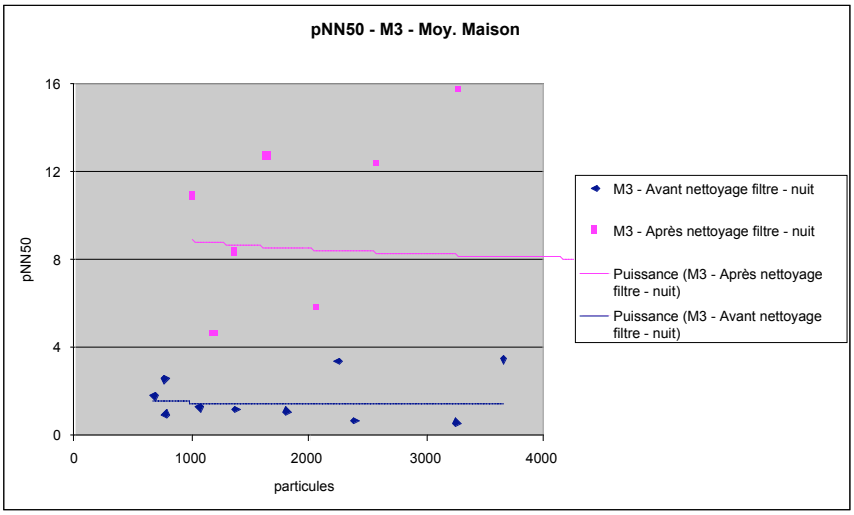
Des graphiques ont été produits pour chacune des 5 maisons, donnant une corrélation entre les indicateurs pNN50, écart-type et RMSSD. On peut donc étudier la corrélation entre le taux de particules (nombre compté entre 0,5 et 5 microns par échantillonnage d'air) et le paramètre caractérisant la VRC, chez une même personne. Étant donné le faible impact d'un nettoyage sur les performances des filtres électroniques (plutôt décevantes dans 4 des 5 maisons), nous n'avons cherché aucune corrélation entre la VRC et la performance des systèmes de filtration. Ces fichiers et graphiques sont disponibles dans le CD fourni en annexe.

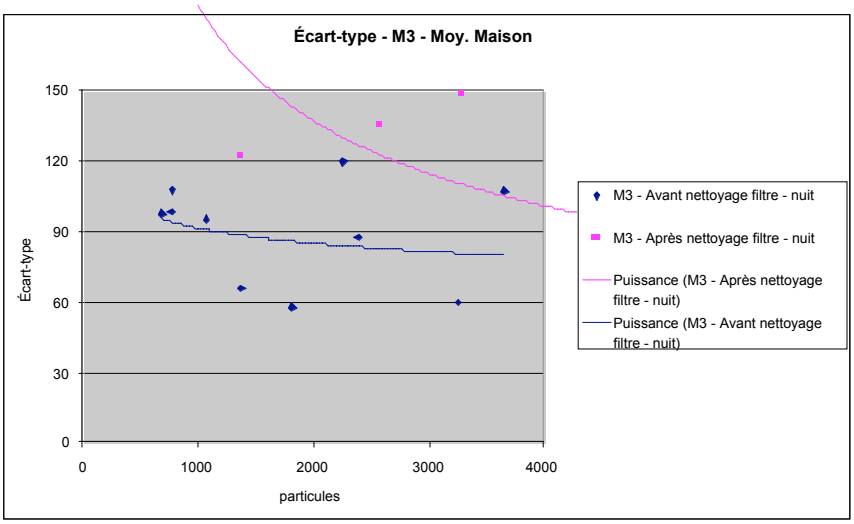
Le très faible nombre de données rend bien sûr nos observations statistiquement non significatives. De plus le hasard des mesures veut que pendant certaines périodes où les mesures de VRC étaient valides, la maison connaissait un niveau de particules très stable, comme dans le cas de la maison 6 où les deux périodes de mesures de la VRC s'alignent verticalement sur deux valeurs stables du nombre de particules. Dans le cas de la maison 5, nous n'avons pu noter aucune corrélation.

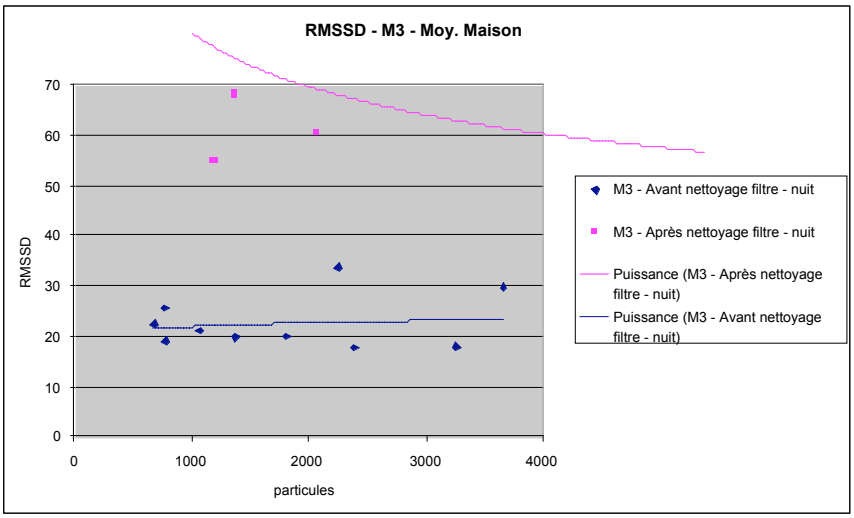
Les données sont plus intéressantes dans les trois premières maisons (M2, M3 et M4). Il semble bien que la VRC diminue avec une augmentation des $PM_{2.5}$. Les graphiques peuvent laisser croire qu'il y aurait un niveau seuil du nombre de particules par échantillon de 1 500 à 2 000 (équivalent à $PM_{2,5}$ de 4 à 5 _g/m^3) au delà duquel on trouve une perte de la VRC avec un nombre croissant du nombre de particules. Avant de développer cette affirmation, il faut toutefois reconnaître qu'elle peut être influencée par le fait que la très grande partie des mesures de taux de particules se situent justement sous ce seuil de 2 000.

Les graphiques de la figure 13 sont l'exemple le plus parlant de nos observations chez l'occupante de la maison 3, obtenues pendant 2 périodes, soit les 13-14 décembre alors que le système de chauffage/ventilation fuyait, puis les 14-15 décembre après avoir scellé le système.

Figure 13 – Maison 3 – Observation des paramètres pNN50, SD et RMSSD de la VRC de l'occupante durant les périodes des 13-14 puis 14-15 décembre 2005







Ces observations de la perte de la VRC avec une concentration croissante de PM sont en lien avec plusieurs études de pollution atmosphérique des grandes villes et perte de la VRC [9,10]. Par contre, il y a une étude récente qui indique qu'il n'y avait pas de lien avec les PM à l'intérieur des maisons et la perte de la VRC chez des personnes âgées (symptomatiques et asymptomatiques) [9]. Notre interprétation est que ces personnes avaient déjà une perte importante de la VRC à cause de leur âge élevé, car y a aussi un lien entre le vieillissement et la perte de la VRC.

Il est important de situer l'ensemble de nos résultats par rapport à ceux des autres études. Dans les 5 maisons étudiées, les niveaux instantanés de particules pendant les périodes de suivi cardiaque se sont généralement maintenus nettement en-dessous de 4 000 à 5 000 particules par échantillon d'air, soit des valeurs correspondantes de $PM_{2,5}$ de 10 _g/m^3 (selon notre méthode de calcul de $PM_{2,5}$ à partir du nombre de particules comptées par tranches de taille [1]). Dans les maisons M4, M5 et M6, ils sont même restés en dessous de valeurs de 5 _g/m^3. Il est également important de mentionner que dans la bibliographie médicale, les corrélations entre la VRC et les $PM_{2,5}$ se rapportent souvent à la seule façon de mesurer directement cette valeur qui est une mesure gravimétrique intégrée sur une période de 24 heures. Ces études ne font donc pas référence à des corrélations en temps réel comme dans nos graphiques. Ainsi, dans l'étude de la VRC de policiers au travail et au repos [10], les valeurs typiques moyennes quotidiennes de $PM_{2,5}$ de l'étude varient dans une plage de 23 à 32 _g/m^3 alors que les extrêmes mesurés se situaient entre 4,5 et 70 _g/m^3. Dans les études [9,10], les statistiques de corrélation associent la VRC à des variations de 8 à 10 _g/m^3 de $PM_{2,5}$ moyens par période de suivi. Ces études se sont donc réalisées dans des conditions de pollution de l'air au moins de 3 à 5 fois plus importantes puisque nous avons en général mesuré des $PM_{2,5}$ instantanés en-dessous de 5 à 10 _g/m^3.

Discussion – Conclusions

Discussion avec un expert de l'industrie

Avant de tirer nos propres conclusions de nos observations, nous avons essayé, avec difficulté, de prendre contact avec des représentants de l'industrie. Une personne a finalement pu être rejointe :

Amy Ragland, IAQ Product Specialist
Honeywell, MN10-2525
1985 Douglas Dr N, Golden Valley, MN 55422
Tel.: (763) 954-4999 amy.ragland@honeywell.com

Amy Ragland est *Senior Product Specialist*. Elle travaille au lancement de nouveaux produits et au support technique des produits existants du groupe Produits résidentiels de contrôle de la qualité de l'air intérieur de Honeywell (*new product introductions and supporting existing products in Honeywell Homes Indoor Air Quality group)*. Nous l'avons interrogée sur plusieurs questions :

Existence de méthodes « accessibles aux utilisateurs » d'évaluation de la performance du filtre ou d'un besoin de nettoyage

- Madame Ragland confirme que le seul produit abordable et sécuritaire qu'ils aient trouvé pour aider les utilisateurs à décider quand nettoyer les cartouches de leur filtre électronique est une minuterie réglable jusqu'à 60 jours, dont la durée est réglée au jugé par l'installateur.
- Honeywell serait ouvert à recevoir des suggestions de notre part pour mieux servir sa clientèle mais Madame Ragland n'a pas donné de pistes de solutions permettant de vérifier si un filtre électronique fonctionne bien ou non. La simple existence des craquements de décharge électrostatique est une indication qu'au moins une des cartouches est sous tension mais n'indique pas si la tension des fils d'ionisation est suffisante ou si les plaques collectrices maintiennent un champ électrique suffisant pour bien collecter les poussières.

Expérience de Honeywell sur le vieillissement et les performances des filtres électroniques, avenir de la technologie, ouverture à collaborer / échanger des résultats

- Depuis l'introduction des premiers prototypes résidentiels, les filtres électroniques sont un produit mâture qui a pratiquement 50 ans d'existence sur le marché. La clientèle a bien répondu à la demande depuis ce temps, ce qui est utilisé comme un argument pour indiquer « *que le produit rend bien le service qui en est attendu des utilisateurs* ».
- Honeywell a un programme de mesures de performances dans les maisons de ses propres employés. Il s'agit de mesures informelles et confidentielles qui ne peuvent pas être partagées.
- Honeywell s'est lancé dans les produits de filtres HEPA mais garde sa ligne de précipitateurs électrostatiques à plaques collectrices. Honeywell ne s'est pas lancé dans la production de systèmes hybrides avec ionisation et collecte des poussières sur média filtrant au lieu des plaques collectrices. Ces produits sont offerts par les compétiteurs de Honeywell mais Madame Ragland ne pas révélé pourquoi Honeywell avait décidé de ne pas aller dans cette ligne de produits.
- Madame Ragland n'était pas intéressée à travailler à analyser nos mesures mais a accepté de répondre éventuellement à d'autres questions que nous pourrions avoir, par téléphone.

Commentaires sur nos mesures

- Normalement, selon notre protocole de mesures, nous devrions observer des performances de l'ordre de 95% et plus avec un filtre propre (ce que nous voyons dans la maison de St-Lambert (maison 4))
- Madame Ragland est d'accord avec notre analyse des installations non étanches entre le filtre et le ventilateur de fournaise qui annulent pratiquement l'intérêt de l'installation d'un filtre, quelles que soient ses performances.
- De faibles performances des filtres électroniques « sales » sont normales. L'humidité est aussi une raison de piètres performances avec cette technologie.
- Elle se montre étonnée que nous trouvions des filtres ayant des performances de moins de 40% que nous ne soyons pas capables de remonter à plus de 60% après un nettoyage.
- Selon, elle, l'aspect lisse et brillant ou au contraire oxydé des plaques collectrices ne devrait pas avoir une influence importante sur les performances
- **En revanche, il existe un point sur lequel les instructions de nettoyage ne sont peut-être pas assez claires, c'est le besoin de nettoyer soigneusement avec un chiffon chacun des fils dans la partie ionisante du filtre. Il se peut que le simple nettoyage à l'eau ne suffise pas.**
- Elle est étonnée que les installateurs et centres de service ne sensibilisent pas plus la clientèle sur ce point et nous invite à revérifier l'influence d'un nettoyage **suivi d'un essuyage méticuleux des fils ionisants** sur les performances que nous observons.

Suite à ce commentaire, nous avons repris contact avec le propriétaire de la maison de St-Lambert (maison 4) pour vérifier si cette hypothèse qui expliquait qu'il soit la seule maison ayant un filtre ayant des performances observées supérieures à 90% après un nettoyage. Or, il m'affirme qu'il le faisait au début mais que depuis plusieurs années il ne prend plus la peine d'essuyer chacun des fils avec un chiffon car « cela ne sert à rien ». (il répète que son épouse malade respiratoire sent rapidement quand le filtre ne fait plus bien son travail).

Recoupement de nos résultats

Un échantillonnage de 5 maisons ne permet pas une étude statistique sérieuse. Toutefois, nous pouvons rapporter certes faits suivants :

- Aucun des cinq filtres n'a vraiment de comportement prédictible et comparable à un des quatre autres. On ne peut pas toujours garantir qu'un lavage améliorera les performances du filtre si des problèmes de contact électrique lors de la remise en place des cartouches surviennent ou si d'autres problèmes inconnus viennent annuler les bénéfices du lavage. Ces problèmes sont indécelables autrement qu'avec le compteur à particules en amont et en aval du filtre. Un voyant lumineux allumé ne semble pas nécessairement indiquer que le filtre a des contacts électriques optimaux ou un fonctionnement optimal.
- Un filtre que l'on entend « claquer » (décharges électrostatiques au passage de grosses particules) n'est pas une indication qu'il a de bonnes performances.

- Le problème majeur rencontré est celui des infiltrations d'air dans la partie en pression négative des gaines de ventilation en aval du filtre. Du moment que l'alimentation électrique haute tension fonctionne et qu'il n'y a pas de fuites d'air, les filtres électroniques semblent avoir un rendement minimum supérieur à 10% en moyenne, ce qui est meilleur que le rendement du préfiltre seul qui est de l'ordre de 5%.
- Nous n'avons observé un problème de forte odeur d'ozone que dans une seule des cinq maisons. Le problème a été constaté dans la maison ayant le filtre le plus performant, et était plus intensif au moment où le filtre était le plus récemment nettoyé et le plus performant. Aucun des filtres sales ou peu performants n'a produit de niveaux d'ozone détectables à l'odeur. Ce constat vient contredire la croyance que l'ozone est produit par les filtres électroniques en mauvais état.
- La maison ayant le plus de vieux tapis, le plus d'activité et de monde, incluant un chien, ayant de plus un filtre électronique peu performant (mais un filtre ordinaire en fibre en plus), n'est pas celle où l'on a enregistré les plus hauts taux de particules, loin de là. Cette observation recoupe notre projet antérieur : il est difficile de prévoir l'existence de hauts taux de particules à l'intérieur d'une maison au seul examen de quelques caractéristiques physiques. La présence de tapis n'implique pas nécessairement de plus hauts taux de particules, par exemple.
- Il n'y a pas de corrélation entre la performance du filtre et le niveau de particules moyen qui règne dans la maison. Dans une même maison, les périodes ou le filtre a fonctionné avec ses performances les plus élevées ne corresponde pas du tout systématiquement aux périodes où les taux moyens de particules dans la maison étaient plus bas. Cela signifie que les autres événements comme le type d'activités dans la maison et les conditions d'air ambiant extérieur ont une influence beaucoup plus importante sur le taux de particules qui règnera à l'intérieur de la maison que ne pourront en avoir les performances du filtre. Il ne faut pas nécessairement conclure de ce constat qu'un filtre performant ne sert à rien car on ne sait pas quel aurait été, exactement le même jour, dans les mêmes conditions et dans la même maison, les taux de particules qu'il y aurait eu à l'intérieur si le filtre du système de ventilation avait été plus élevé.
- Dans ces conditions, il est évident que notre expérience sur l'état de santé des occupants, évalué via la variabilité du rythme cardiaque (VRC), ne peut absolument établir aucun lien entre les performances d'un filtre dans le système de ventilation et l'état de santé des occupants de la maison. La seule corrélation possible est entre la VRC et le taux de particules dans la maison.
- A part la maison 3, avec son « fumeur du garage » et ses problèmes de chaufferie, toutes les autres maisons ont eu, en moyenne par période de mesures, un nombre moyen de particules entre 0,5 et 5,0 µm, inférieur à 2 000 par échantillon de 2,5 L d'air. Nous estimons donc que les valeurs de $PM_{2,5}$ à l'intérieur de ces maisons sont, en moyenne par période, inférieures à 5 µg/m_. Ces valeurs sont donc très inférieures aux travaux de recherche qui établissent des liens entre la VRC et $PM_{2,5}$ dans une plage en général supérieure à 20µg/m_.
- On a pu constater que les performances d'un filtre peuvent retomber, après un nettoyage, au même niveau après 10 jours d'utilisation qu'après plus de 30 jours d'utilisation. On a pu constater dans deux des cinq filtres des pertes de performances très notables sur des périodes de 24 h (On a vu la performance d'un filtre passer, en 48h, de 75% à 35%).
- Dans ces conditions, il n'est pas possible de prévoir des moyens de détection de mauvaises performances, basés sur un encrassement graduel d'un quelconque indicateur.

- Si on avait seulement trois conseils à donner aux propriétaires de filtres électroniques, ce seraient :

  4. Vérifiez ou faites vérifier l'étanchéité des conduits et raccords situés entre votre filtre électronique et l'entrée de votre fournaise. Écoutez votre système de ventilation, vous ne devriez entendre aucun sifflement ou bruit de succion.

  5. Nettoyez aussi fréquemment que possible votre filtre électronique en suivant les instructions du manufacturier. La fréquence peut être aussi courte que la semaine. Assurez-vous d'un bon contact en remettant les cartouches en place. Soyez à l'affut des odeurs de piscine qui indique que votre filtre produit de l'ozone, un gaz irritant pour les voies respiratoires. Si cette odeur survient relavez le filtre, laissez le bien sécher et remettez-le en place. Si le problème persiste contactez votre centre de service.

  6. Mettez un filtre en fibres en aval de votre filtre électronique. Cela vous garantira un minimum de performances additionnelles en cas de mauvais fonctionnement. Ce nouveau filtre devrait rester propre, mais s'il devient sale c'est que votre filtre électronique fonctionne mal !

- En ce qui concerne le lien entre la variabilité du rythme cardiaque et $PM_{2,5}$, notre projet repose sur un échantillonnage pas assez homogène et beaucoup trop faible de patients (5) et de périodes de mesures (12) pour pouvoir tirer des conclusions. De plus, la plage de $PM_{2,5}$ à l'intérieur des maisons étudiées est en-dessous de la plage inférieure des autres études de la VRC et est demeurée relativement stable, ce qui n'a pas permis d'exposer un même individu à de grandes variations de $PM_{2,5}$.

- Au cours de projet, nous avons pu identifier plusieurs études qui montreraient un lien entre la VRC et $PM_{2,5.}$, à savoir que la VRC diminue quand $PM_{2,5}$ augmente, et ce à l'intérieur de périodes d'une journée. En d'autres mots, cela signifie que les individus réagiraient rapidement à une augmentation des $PM_{2,5}$ et seraient en moins bonne santé cardio-respiratoire quand $PM_{2,5}$ augmente. Les quelques observations que nous avons pu faire de manière anecdotique semblent aller dans ce sens.

- Notre projet se distingue des autres projets en ayant montré qu'il était possible d'envisager pouvoir corréler des lectures instantanées de taux de particules (par compteur optique) avec les indicateurs de la VRC (pNN50, SD, RMSSD) qui sont habituellement plutôt corrélés sur des valeurs gravimétriques intégrées sur de longues périodes de temps, typiquement 24 h.

- Si on veut prouver qu'une bonne filtration de l'air des maisons peut être associée à une amélioration de la santé cardio-respiratoire de ses occupants, les indicateurs de la VRC mesurée pendant les heures de sommeil des occupants semblent une voie intéressante de recherche. Il faudrait appliquer cette recherche à un plus grand échantillonnage de sujets dans un groupe plus homogène (par exemple des sujets tous âgés entre 30 et 50 ans, sans antécédents cardiaques, qui ne sont pas sous médication contre l'asthme ou l'hypertension) sur de plus grandes périodes de temps, ce qui permettrait aux occupants d'être exposés à de plus grandes variations de taux de particules et de mesurer l'effet de systèmes de filtration qui fonctionnent à leur rendement optimal (ce qui n'a pas été le cas des filtres électroniques).

Bibliographie

(1) Pierre Hosatte, Alain-Steve Comtois. "*Réduction générale des particules dans les maisons où les occupants souffrent de maladies respiratoires*". Projet de recherche de la SCHL **6716-28**. Rapport final. Juin 2005

(2) Lance A. Wallace. "*Effect of central fans and in-duct filters on deposition rates of ultrafine and fine particles in a occupied townhouse*", Atmospheric Environment 38 (2004) p. 405-413

(3) Shannon Magari & all. "*Association of heart rate variability with occupational and environmental exposure to particulate air pollution*", revue de cardiologie Circulation vol. 104 (2001) p. 986-991

(4) JAMA. 287 : p. 1132-1141, 2002

(5) Riediker, Cascio, Griggs, *et al.*: "*Cardiovascular Effects of PM2.5* : *Particulate Matter Exposure in Cars Is Associated with Cardiovascular Effects in Healthy Young Men* " American Journal Of Respiratory And Critical Care Medicine Vol. 169 (2004) p. 934-940

(6) Environ. Health Perspect. 133 : p. 304-309, 2005

(7) Bonnemeier et al. : "*Circadian Profile of Heart Rate Variability"* Journal of Cardiovascular Electrophysiology Vol. 14, No.8, August 2003, p. 791-799 (voir CD : HRV and Nightime.pdf)

(8) Cormier at al. "*Origine and health impacts of combustion products*" Environmental Health Perspectives, Vol. 114, No.6, June 2006, p. 810-817 (voir CD : Review Fine PM 2006.pdf)

(9) Romieu, Téllez-Rojo, Lazo, et al. : "Omega-3 PUFA, Heart Rate Variability and $PM_{2,5}$" American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, Vol.172, 2005, p.1534-1539 (voir CD : .pdf)

(10) Riediker, Cascio, Griggs, et al. : "Cardiovascular Effects of $PM_{2,5}$" American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, Vol.169, 2004, p.934-940

Visitez notre site Web : www.schl.ca