

Choisir convenablement les filtres à air dans les applications générales

Jean-Yves RAULT
 conseiller de la direction générale
 groupe Sofiltra-Camfil

Dans les applications générales du conditionnement de l'air, la qualité de l'air intérieur dépend de celle de sa filtration. Après un rappel succinct du principe de filtration de l'air, J.Y. Rault précise les points d'intervention possibles sur le système de traitement de l'air en montrant les avantages et inconvénients de chacune des solutions. Il démontre ensuite, chiffres à l'appui, que le coût d'une installation de filtration correcte bien entretenue est inférieur à celui d'une installation insuffisante qui entraîne de nombreuses interventions de nettoyage des gaines. Le court terme s'avère ruineux en matière de filtration, sauf si l'on ne conçoit de futur qu'éphémère.

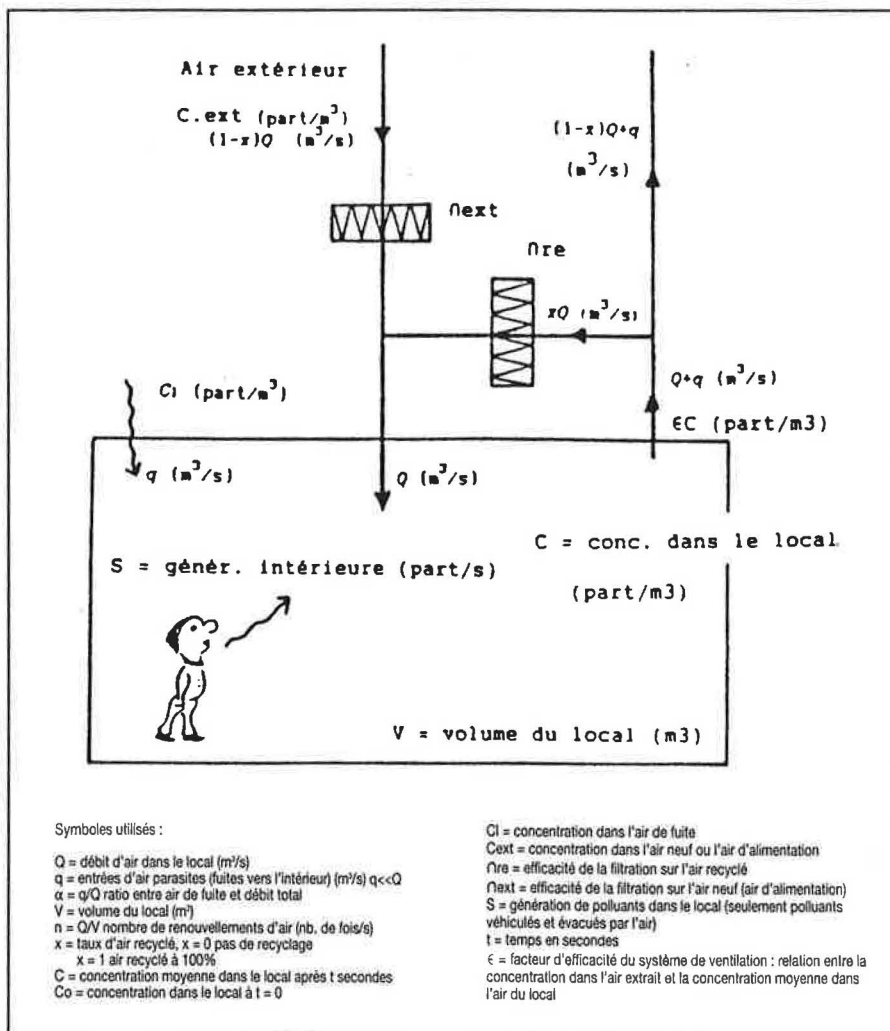


Fig. 1. Équilibre des polluants dans un système d'air conditionné.

Sans doute sommes-nous quelques-uns à nous souvenir du colloque Inserm de Clermont-Ferrand des 5 et 6 septembre 1985, dont le titre prémoniteur « Maladies des climatiseurs et des humidificateurs » laissait présager des retombées médiatiques conformes au contenu des débats, constitués, pour l'essentiel, d'attaques plutôt vigoureuses, sinon toujours justifiées, menées contre notre profession par le milieu médical représenté.

On a depuis bien progressé vers des rapprochements plus constructifs. Le « Guide climatisation et santé », élaboré par une commission multi-horizons au sein d'Uniclimate et présenté lors d'Interclima 1992, symbolise cette évolution positive.

On assistait dans le même temps à une sensibilisation croissante du public aux phénomènes commodément englobés sous le vocable de « Syndrome des bâtiments malades ou malsains », phénomènes que l'insuffisance originelle de nombreuses installations de conditionnement de l'air, associée à des maintenances commandées par le court terme, concourent à aggraver avec le temps.

Les médias ne s'y sont pas trompés qui, tels le catoblepas mythique qui se nourrissait de ses pieds, ont contribué à découvrir la gravité du phénomène à la mesure de l'amplification qu'ils lui avaient eux-mêmes donnée. On ne se plaindra pas de cette pratique courante, sans laquelle les choses avanceraient moins vite.

Ainsi constate-t-on, depuis quelque temps déjà, un véritable bouillonnement dans ce domaine, avec un fait nouveau plus récent. Les problèmes que nous connaissons et déplorons depuis des années en France comme dans le reste de l'Europe vont peut-être trouver une crédibilité nouvelle en nous étant désormais signalés via les Etats-Unis⁽¹⁾, par le truchement de cycles de conférences sur le SBS à partir d'exemples recensés dans notre pays.

Dans l'ensemble des « défauts fondamentaux compromettant la qualité de l'air intérieur » énumérés dans ces enquêtes, la (mauvaise) qualité de la filtration de l'air joue un rôle prépondérant.

L'importance de la filtration sur la qualité de l'air

Dans les applications générales du conditionnement d'air, la qualité de l'air intérieur dépend :

- du débit d'air neuf,
- de sa qualité (température, hygrométrie, PROPRETE),
- du débit d'air recyclé,
- de sa qualité (mêmes paramètres que pour l'air neuf),
- de la nature et de la quantité de polluants générés dans les locaux,
- de la qualité de la diffusion de l'air.

On peut résumer schématiquement cet ensemble (fig. 1) et constater dans l'expression mathématique de la concentration en polluants particuliers ou autres, dans un local, que la filtration de l'air influe sur la quasi-totalité des paramètres en cause.

(1) Cf. CFP n° 535 d'avril 1992 et CCI du 14 avril 92.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} e^{-\left\{1 + \frac{z}{S} - z(1-\eta_{\text{ext}})\right\} \epsilon n t}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} e^{-\left\{1 + \frac{z}{S} - z(1-\eta_{\text{ext}})\right\} \epsilon n t} + \left\{1 - e^{-\left[1 + \frac{z}{S} - z(1-\eta_{\text{ext}})\right] \epsilon n t}\right\}$$

$$\frac{(1-x)(1-\eta_{\text{ext}})C_{\text{ext}} + C_1}{1 + \frac{z}{S} - z(1-\eta_{\text{ext}})} \left\{1 - e^{-\left[1 + \frac{z}{S} - z(1-\eta_{\text{ext}})\right] \epsilon n t}\right\}$$

$\lambda \eta$ Paramètres en relation avec la filtration d'air.

Il n'est pas question de refaire ici un cours sur la filtration de l'air, sujet pour lequel il existe de nombreux textes. Reprenons-en seulement les données fondamentales.

L'aérosol atmosphérique particulaire (les polluants gazeux relèvent d'un autre type de traitement), que ce soit dans l'air neuf ou dans l'air recyclé, est constitué en nombre pour plus de 99 % de particules d'un diamètre apparent inférieur à 1 µm. Ces 99 % en nombre représentent plus de 80 % de la surface projetée totale des particules composant l'aérosol (fig. 2).

Or le nombre, où figurent entre autres des particules viables capables de se reproduire et de constituer, en différents points du circuit aéraulique, des colonies susceptibles de migrations (bactéries, allergènes, micromycètes, etc.), sera déterminant de la propreté et de l'hygiène du système.

En outre, la surface projetée, représentative du pouvoir colmatant ou salissant de l'aérosol, déterminera la stabilité dans le temps des performances de l'ensemble des matériels aérauliques :

- perte de charge des échangeurs, des conduits, des diffuseurs et rendement des ventilateurs → conservation des débits d'origine (une statistique nordique fait état de pertes de débit de l'ordre de 30 % pour 80 % des bâtiments examinés après 2 à 3 ans de service !);
- propreté des capteurs (T, HR, etc.) → facteur déterminant de la fiabilité des signaux transmis à la régulation.

Il faut donc pouvoir capturer dans les filtres, seuls éléments où l'on peut admettre une perte de charge variable car contrôlée, les particules < 1 µm.

Cet objectif doit être rapproché des lois physiques de la filtration d'air impliquant le recours à des phénomènes qui imposent :

- une certaine qualité de matériau filtrant (Ø et densité des fibres),
- une faible vitesse dans ce média, afin d'associer efficacité (sur les petites particules, l'efficacité varie en fonction inverse de la vitesse de passage dans le média), capacité de rétention (ou colmatage) et faible perte de charge, donc longévité.

De ces données incontournables découlent des principes de choix simples sur les-

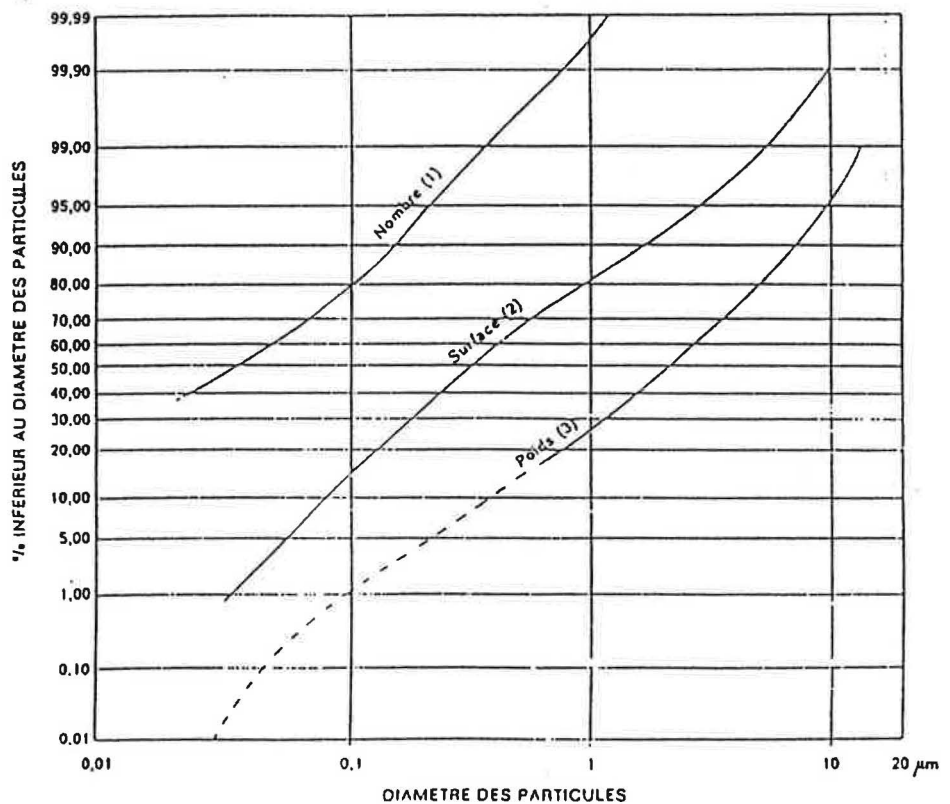
quels il n'y a pas lieu de discuter, malgré les inlassables diatribes de faux prophètes qui préfèrent affirmer plutôt qu'apprendre. Les normes d'expression d'efficacité actuellement en usage (Afnor NFX 44012, dérivée de l'Ashrae 52/76) autorisent, avec leurs notions de gravimétrique et d'opacimétrique, l'entretien de confusions appuyées sur des pourcentages alléchants et qui peuvent ne correspondre à rien : ainsi 85 % gravimétrique (EU 3) correspond à peu près à une efficacité initiale de 8 % sur la plage dimensionnelle de 0,75-1 µm, alors que 85 % opacimétrique

(EU 7) correspond à 80-85 % d'efficacité sur ces mêmes particules ! Le classement Eurovent EU 1 à EU 9 est heureusement plus commode d'emploi (cf. fig. 3). Le projet final du CEN/TC 195 (Filtres à air de ventilation générale) du 12-11-1991 prévoit un classement en G1 à G4 pour les filtres grossiers et F5 à F9 pour les filtres fins (haute efficacité-opacimétrique), correspondant aux valeurs exprimées actuellement par EU (EU 7 = F7).

La nouvelle norme française NFX 44061 du 14-2-1992, basée sur l'efficacité spectrale granulométrique avec un aérosol polydispersé de latex (méthode proposée par le Cetiati dès 1988 !), contribuera certainement à dissiper ces confusions que je n'hésiterai pas à qualifier d'entretenues si je considère 2 chiffres du marché français de la filtration d'air en 1990 :

- moyenne efficacité : plus de 42 % des filtres vendus ont une efficacité inférieure à EU 5 ;
- haute efficacité : moins de 20 % seulement des filtres vendus ont une efficacité comprise entre > EU 5 et EU 9.

Or c'est dans cette deuxième catégorie — et elle seule (compte non tenu des filtres très haute efficacité — THE — et des filtres absolus qui représentent 31 % du total), que figurent les filtres réellement efficaces sur l'aérosol particulaire atmosphérique (99 % < 1 µm). Cette répartition des ventes témoigne d'une méconnaissance considérable du problème, d'autant qu'une protection efficace — facteur de longévité accrue — des coûteux filtres absolus passe également par l'utilisation de ces filtres à haute efficacité.



Courbe 1: Nombre des particules mesuré avec un microscope électronique.
 Courbe 2: Surface des particules, calculée.
 Courbe 3: Pourcentage pondéral mesuré par sédimentation. Section en liets, calculée.

Fig. 2. Diagramme de Whitby. Répartition des particules dans l'air atmosphérique.

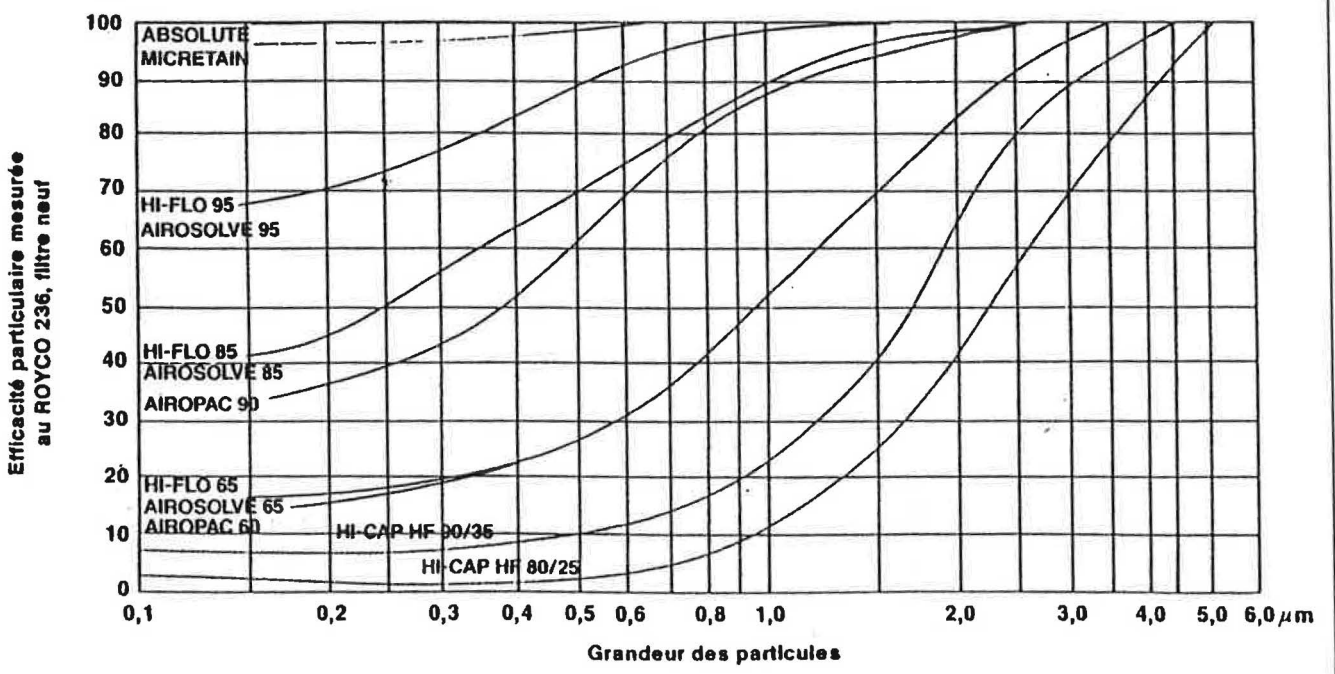
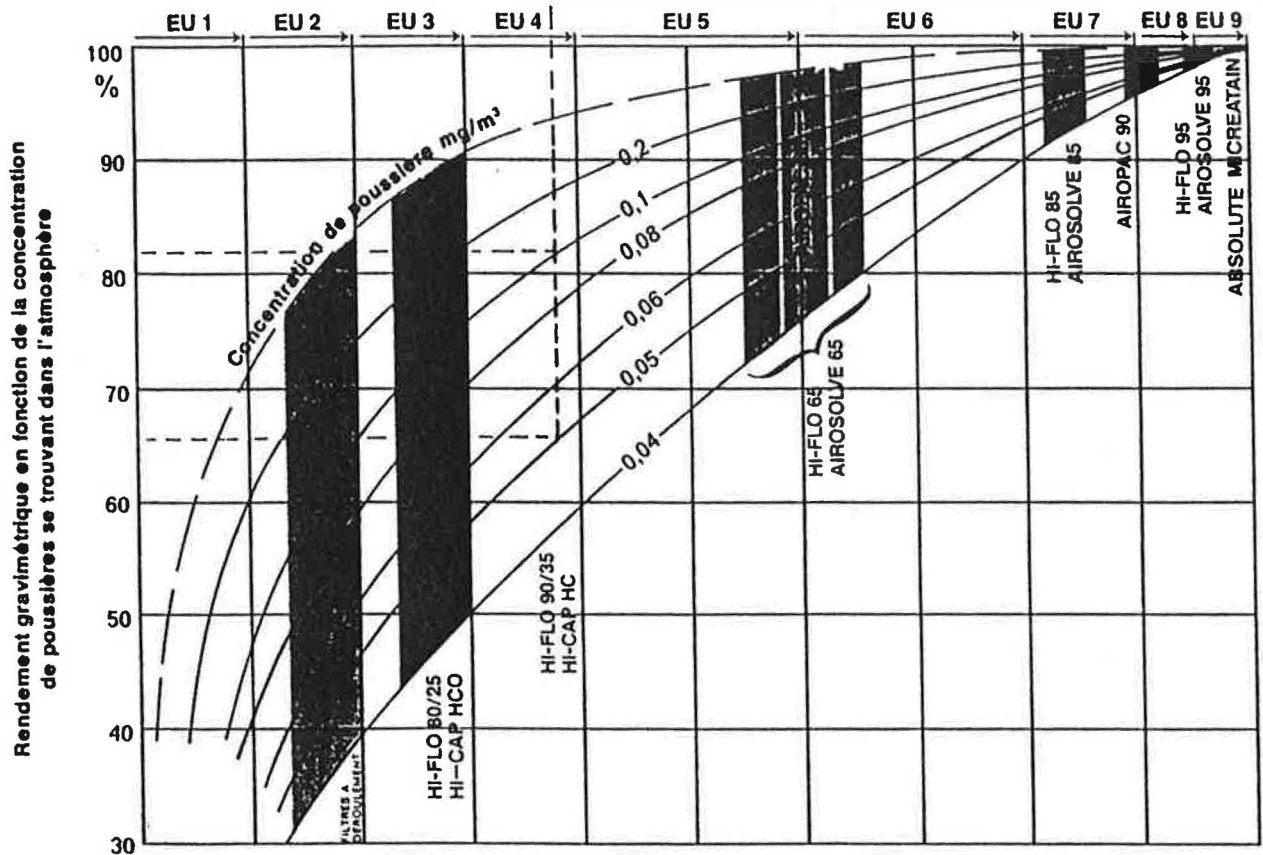
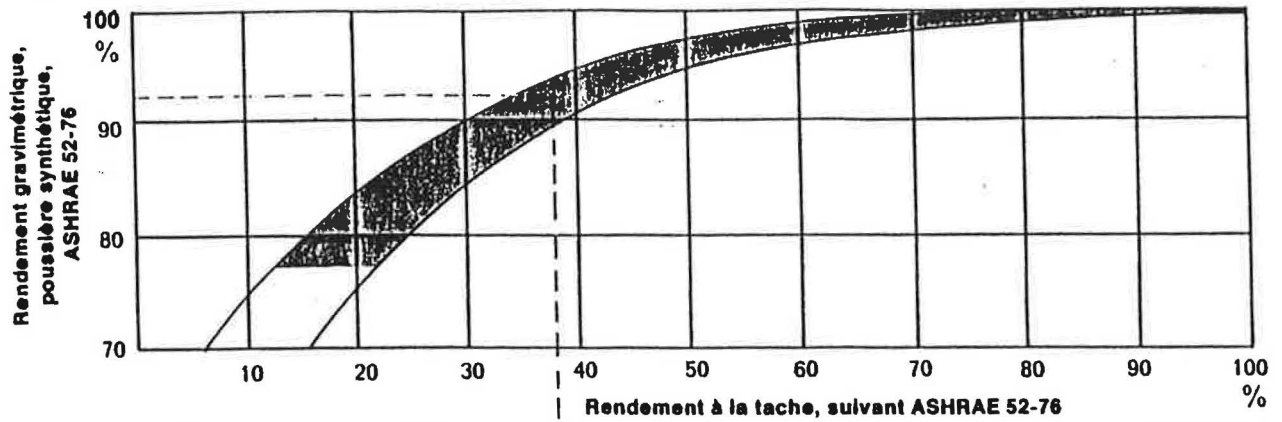


Fig. 3. Know how des filtres à air.

Les possibilités d'intervention

Que faut-il faire ? C'est simple, considérons la figure 4, qui schématise les points d'intervention possibles.

Filtration de premier rang sur la centrale

On retient une efficacité de 85 % opacimétrique (EU 7), avec de préférence des filtres à poches de grande surface (7 à 9m² pour 0,610 x 0,610 de dimensions frontales) offrant une capacité de colmatage élevée (feutre de fibre de verre) - sans préfiltre !

Cette solution assurera la propreté et la protection des éléments de la centrale.

Filtration de deuxième rang en fin de centrale

On retient une efficacité de 95 % opacimétrique (EU 8/EU 9) ou davantage (95 % ou 99,99 % DOP) si les besoins des locaux aval le justifient. La préférence va aux filtres rigides (papier fibre de verre plissé), compte tenu des turbulences aérodynamiques possibles liées à la proximité du ventilateur (ce qui ne dispense pas de régulariser au mieux les composantes vitesses et pression du flux). La longévité est assurée par la qualité des filtres de premier rang.

Cette solution protégera conduits et diffuseurs de l'influence des polluants nés en centrale (entrées parasites, résidus secs, corrosion, biocontaminants de l'eau, etc.). Elle rendra inutiles les ruineuses opérations de nettoyage de gaines, parfois impossibles (fiber, accès...).

Filtration en amont du 2^e rang

Une filtration des polluants gazeux par absorption sur charbon actif pourra utilement être intercalée en amont du deuxième rang. Dans ce cas on veillera à ce que le temps de contact ne soit pas inférieur à 0,1 s (cf. à ce sujet les textes spécialisés sur l'emploi du charbon actif et autres absorbeurs).

Filtration terminale en diffuseur dans le local

Cette solution est à mettre en place ou non selon les besoins spécifiques (zones à empoussièrisme contrôlé, salles blanches, etc.).

Filtration sur l'extraction

Il n'y a pas de raison de traiter l'air pollué extrait d'un local différemment de l'air neuf, notamment en cas de recyclage, d'où la mise en place de filtres EU 5 minimum (50 % opacimétrique est le mini imposé pour l'air recyclé par la circulaire du 8 mai 1985 art. 232.1.4). L'emploi d'EU 7 est évidemment préférable.

Les filtres sont disposés sur la bouche d'extraction même pour éviter l'encrassement des gaines, ventilateurs et autres organes de reprise.

Commentaire : tout cela est bel et bon, mais coûte cher

Cette sempiternelle rengaine du court terme est la cause de nombre des déboires évoqués au début de cet exposé, réalités

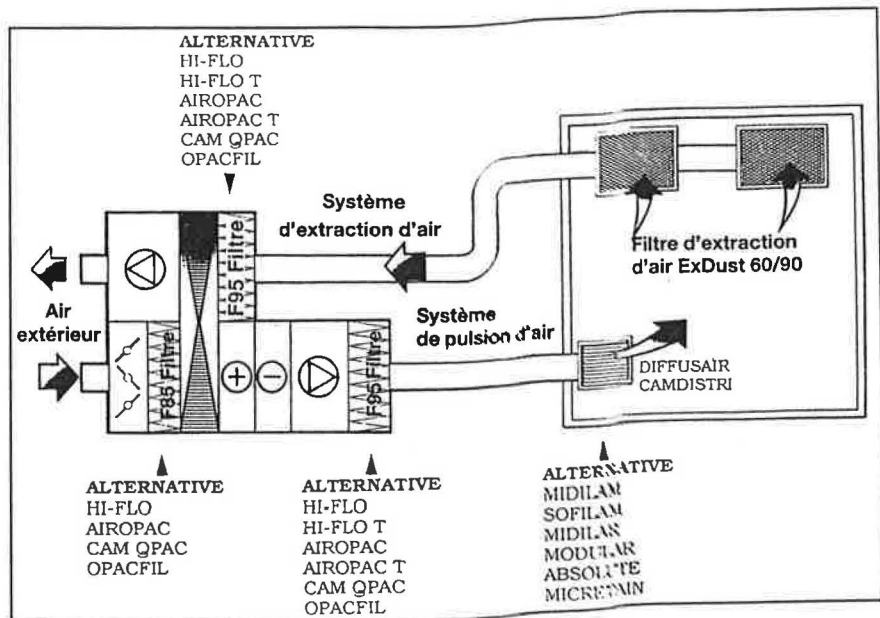


Fig. 4. Schématisation des points d'interventions possibles.

constamment confirmées tant par les enquêtes publiées que par la pratique quotidienne du terrain.

Les scénarios traditionnels, notamment dans le tertiaire (hospitalier compris), ressortent de trois cas de figure.

1. Installation initiale avec filtres insuffisants → colmatage → chutes de débit (troubles) → suppression des filtres pour gagner quelques mm d'eau → colmatage accéléré → manque d'air → troubles aggravés → nettoyage du circuit, soit : 80 à 150 F par m² de gaine, avec environ 0,05 m² de gaine pour Q = 1 m³/h, soit 180 m² pour 3 600 m³/h traités avec 1 cellule filtrante 610 x 610.

Comparez un nettoyage à 180 x 100 = 18 000 F soit 1 800 F/an, si on le prévoit tous les 10 ans, avec le coût de l'ordre de 800 F d'un filtre à poches EU 7 de 9 m² environ, d'une longévité de service d'un an environ, et qui protège contre le besoin d'une telle opération ?

2. Installation correcte au départ, mais le prix de la filtration est jugé trop élevé. Lors des rechanges on prend donc moins cher d'abord en efficacité égale, mais surfa-

ce moindre → perte de charge plus élevée → longévité moindre et dépense d'énergie plus forte. On va alors vers moins cher et moins efficace → processus qui conduit progressivement au cas 1.

3. Installation correcte au départ, bien entretenue en toute lucidité et compétence. Aucun ennui après plus de 20 ans de service. Cela existe et coïncide souvent avec des dispositifs de diffusion d'air élaborés, exigeants au plan de la propreté particulière, du reste parfois prévue dans les spécifications de mise en service.

Recherche de la solution la moins coûteuse ?

La solution la moins coûteuse est, par un paradoxe qui n'est qu'apparent, la plus efficace au plan technique, lorsqu'on considère l'ensemble des paramètres intervenants. Las d'être taxés de subjectivité dans nos propres démonstrations, nous avons fait réaliser en Suède une étude comparative par le Laboratoire national d'Etat du Bâtiment, dont les résultats sont représentés sur la figure 5.

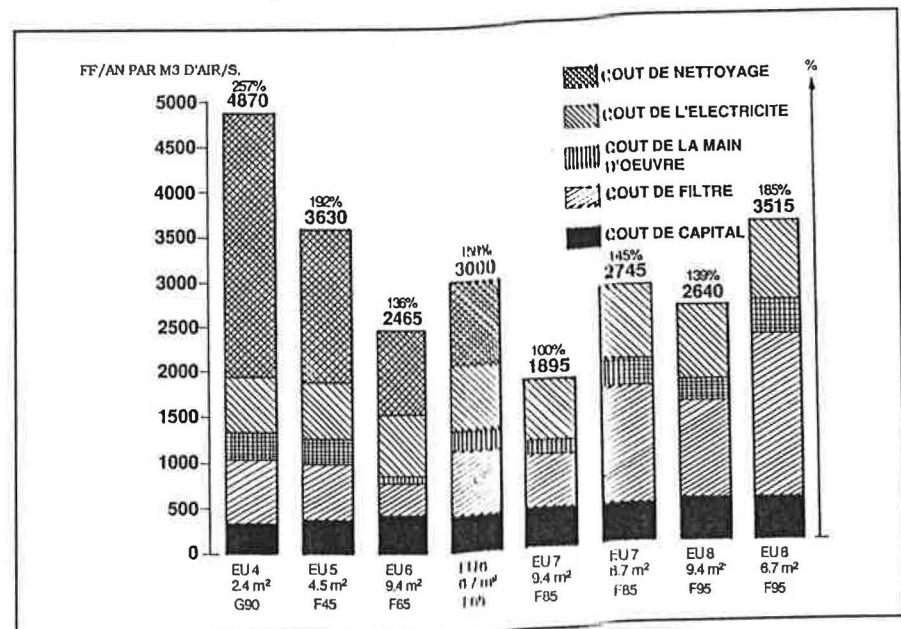


Fig. 5. Coût total annuel pour 8760 heures de fonctionnement et 0,1 mg de poussière/m³ d'air.

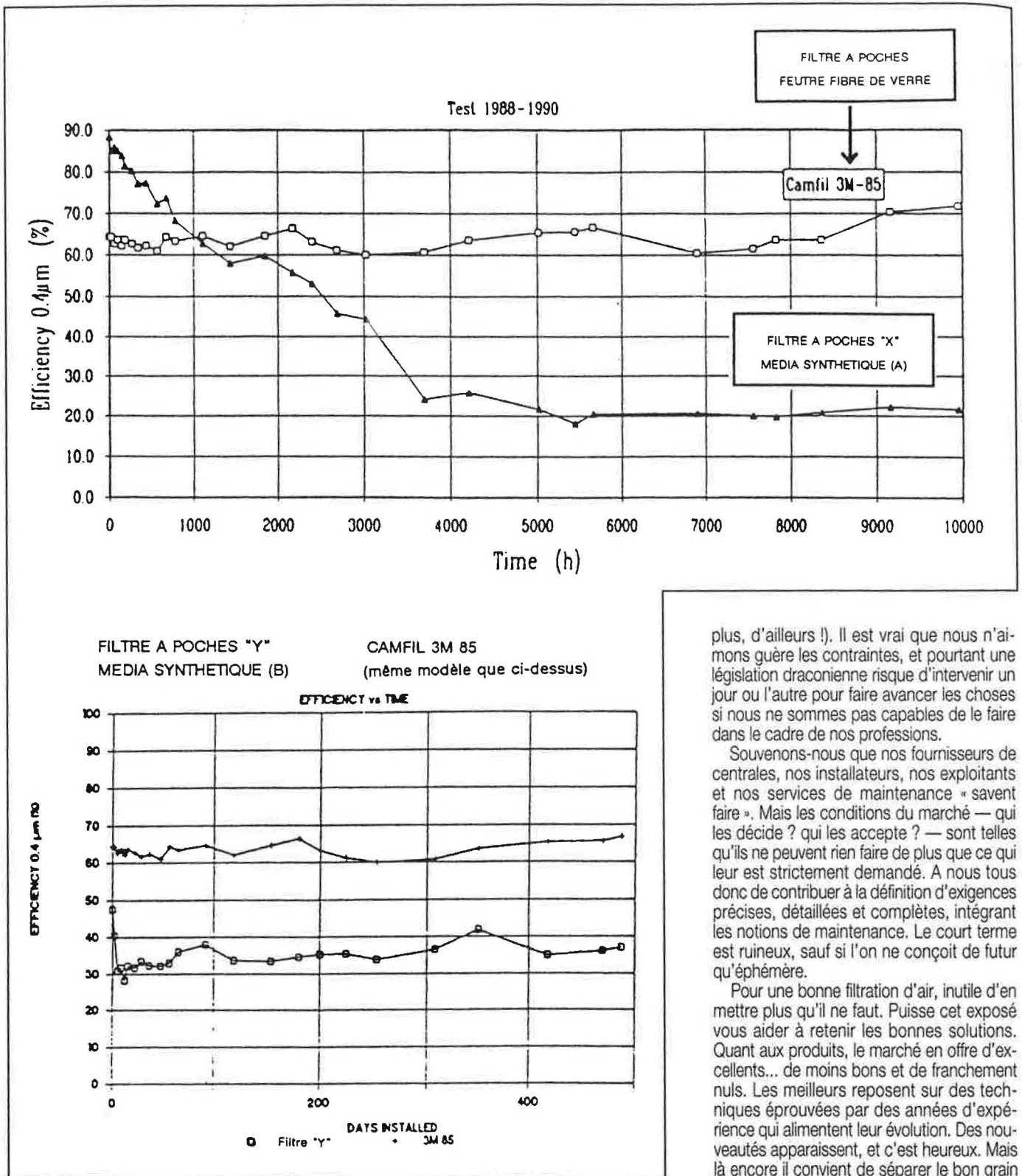


Fig. 6. Comparaison des performances des filtres réalisée après quelques semaines d'utilisation.

Cette étude ne concerne que la comparaison entre plusieurs solutions pour la filtration de premier rang. Les chiffres sont clairs : la solution EU 7 (85 % opacimétrique) avec une cellule de 9,4 m² sans préfiltre coûte 2,57 fois moins cher que EU 4 (90 % gravimétrique) avec 2,4 m² de surface (ce qui, pour ce type de filtre, est pourtant une valeur élevée — rapport surface développée/surface frontale : 2,4/0,36 = 6,66, contre un rapport de 1 pour un filtre plan...).

Il n'est sans doute pas utile d'insister davantage sur ces évidences, dérivées d'un

bon sens scientifiquement vérifié, et qui devraient donc satisfaire tous les esprits.

Je me bomerai, pour introduire ma conclusion, à rapporter le propos d'un banquier de Zurich, alors que je m'extasiais devant la qualité de ses installations de conditionnement d'air : « Nous autres », me dit-il, « nous n'avons pas les moyens d'acheter bon marché ». C'était il y a quinze ans ; je l'ai revu à l'occasion de l'exposition Hilsa en avril 1992. L'installation n'a pas changé.

En ce qui nous concerne, nous n'en sommes pas encore là (tous les Suisses non

plus, d'ailleurs !). Il est vrai que nous n'aimons guère les contraintes, et pourtant une législation draconienne risque d'intervenir un jour ou l'autre pour faire avancer les choses si nous ne sommes pas capables de le faire dans le cadre de nos professions.

Souvenons-nous que nos fournisseurs de centrales, nos installateurs, nos exploitants et nos services de maintenance « savent faire ». Mais les conditions du marché — qui les décide ? qui les accepte ? — sont telles qu'ils ne peuvent rien faire de plus que ce qui leur est strictement demandé. A nous tous donc de contribuer à la définition d'exigences précises, détaillées et complètes, intégrant les notions de maintenance. Le court terme est ruineux, sauf si l'on ne conçoit de futur qu'éphémère.

Pour une bonne filtration d'air, inutile d'en mettre plus qu'il ne faut. Puisse cet exposé vous aider à retenir les bonnes solutions. Quant aux produits, le marché en offre d'excellents... de moins bons et de franchement nuls. Les meilleurs reposent sur des techniques éprouvées par des années d'expérience qui alimentent leur évolution. Des nouveautés apparaissent, et c'est heureux. Mais là encore il convient de séparer le bon grain de l'ivraie, et de se méfier des performances miracle de médias révolutionnaires ; je pense à des introductions récentes dont l'efficacité, réelle au moment des tests de classement, s'effondre après quelques semaines de service. Les résultats de ces tests sont présentés sur la figure 6, sur laquelle on n'a pu identifier les filtres en cause en raison de la réglementation en usage en France... alors que la chose serait parfaitement admise aux États-Unis.

Ma conclusion prendra la forme d'un vœu : que les meilleurs professionnels se reconnaissent et se fassent confiance entre eux, car de dures concurrences nous attendent avec l'ouverture des frontières de l'Europe. ■



Les techniques de l'air pour la qualité de la vie

Pas question de s'arrêter. Ce que VIM et AEROPLAST inaugurent

aujourd'hui, c'est le système AJUSTAIR-CO₂, nouvelle génération de système de ventilation dont tous les principes, toutes les fonctions, toutes les performances ont été entièrement pensées pour les conditions de confort des dix prochaines années.

AJUSTAIR-CO₂, le seul système qui ajuste la ventilation en fonction de la pollution intérieure, ne se contente pas de renouveler l'air mais procure une qualité d'air à chaque instant et des économies d'énergie.

La sonde CO₂ est un indicateur fiable de la concentration d'un paramètre de la qualité d'air. Elle ne réagit pas à de multiples perturbations de l'environnement et intègre aussi la production de CO₂ d'origine non humaine. Le principe est alors d'ajuster le débit extrait dans une zone aéraulique de telle façon qu'un objectif de concentration de CO₂ soit respecté quel que soit l'usage du local.

L'avantage majeur du système AJUSTAIR-CO₂ est de se baser sur un paramètre objectif; il est particulièrement adapté aux locaux tertiaires.

On ne sait pas encore exactement ce que sera la qualité de l'air dans 20, 30 ou 50 ans. Mais on sait que pour les 10 ans qui viennent, les hommes aimeront vivre dans un espace leur garantissant une qualité d'air intérieur. (A titre de référence, nous avons introduit la VMC en France dans le logement dans les années soixante.)

Vim - Aeroplast

9, avenue Ampère Montigny-le-Bretonneux 78182 St-Quentin en Y. Cx
Tél. : 33 (1) 30 14 17 70 / Fax : 33 (1) 34 60 04 10

POLLUTION DE L'AIR : L'ENNEMI INVISIBLE

La voiture laboratoire de Camfil analyse la pollution de l'air en Europe.

En collaboration avec l'université de Stockholm, le groupe Camfil a équipé une voiture laboratoire (en l'occurrence une Ford Scorpio prêtée par le constructeur), en vue d'étudier l'environnement extérieur en divers pays d'Europe, et l'effet de filtres de différentes efficacités et modèles sur la concentration en polluants particulaires ou gazeux à l'intérieur d'un habitacle d'automobile.

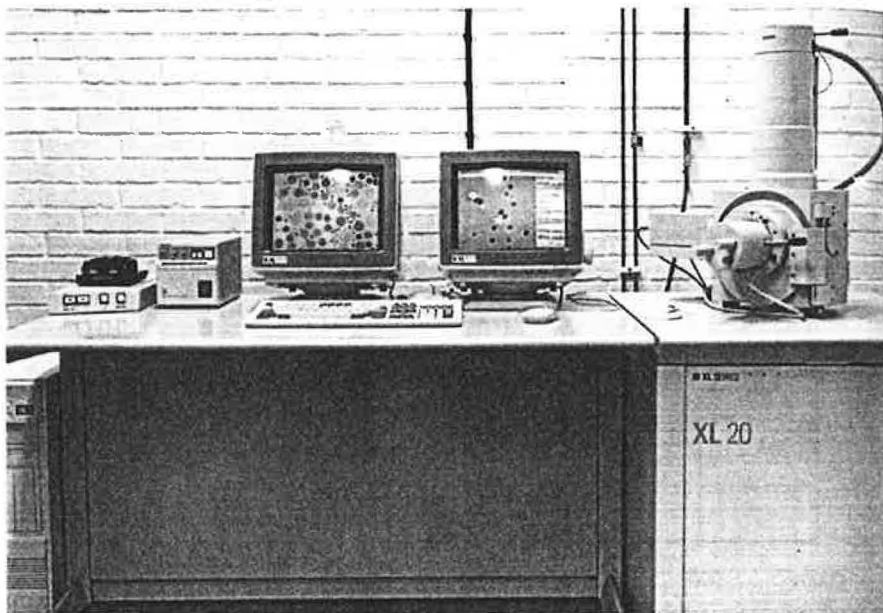
Bourrée d'appareils de prélèvement et d'analyse (2 000 000 F de matériels !), et après adaptation de son système d'aération, conduite par Rolf Nybom (chercheur au Laboratoire Wallenberg de l'université), la voiture a parcouru toute l'Europe, en tous sites urbains ou ruraux, en tous climats et saisons, pendant plus d'un an.

Une énorme moisson d'informations, supérieure aux prévisions, a été engrangée pendant cette campagne. Les résultats sont en cours d'exploitation, sous la tutelle d'un groupe expert de référence qui, outre M. Nybom, comprend des personnalités étrangères au groupe Camfil : un spécialiste universitaire des aérosols et de leur nuisance, des médecins universitaires et spécialisés en génétique et allergologie, etc. Initialement ce traitement des données recueillies prévoyait entre autres une exploration des prélèvements par le laboratoire de microscopie électronique de l'université. Mais leur abondance a conduit Camfil à se doter de son propre équipement, auquel on a, dans la foulée, adjoint un analyseur de composition chimique EDX (Energy Dispersive Xrays) qui permet d'ajouter, à la visualisation des polluants eux-mêmes, l'identification de leurs composants chimiques élémentaires (photo).

Il est bien sûr trop tôt pour pouvoir publier des résultats détaillés sur la relation, quand elle pourra s'établir, entre caractéristiques de l'air extérieur, pollution intérieure résiduelle après filtration et santé/confort des occupants. Ce sujet préoccupe nombre d'autorités, et notamment l'académie de Médecine (cf. la communication de janvier 1992 du groupe de travail constitué des Professeurs Chrétien, Molina et Voisin).

En attendant, Jean-Yves Rault, conseiller du groupe Camfil, nous a communiqué en avant-première un certain nombre d'informations et d'illustrations éloquentes, qui se relient parfaitement aux problèmes généraux de filtration de l'air et aux solutions propres à les résoudre. Elles permettent d'attirer l'attention des spécialistes et des utilisateurs des conditionnements d'air de toutes natures sur :

- l'extrême variété des polluants atmosphériques et des nuisances qu'ils transportent,
- les variations énormes de leur concentration en nombre selon les sites et les saisons : un facteur de 10^7 soit 10 000 000, sépare les valeurs mesurées des ambiances extrêmes (tableau),



Microscope électronique Camfil avec caméra, analyseur EDX...

— les dimensions extrêmement petites de leurs composants particulaires, malgré des facteurs de dimensions de l'ordre 1 pour 10 000 ! (dimensions de quelques dizaines de microns à quelques centièmes de microns) ; et ceci, sans perdre de vue que toutes ces mesures confirment une fois encore que plus de 99 % des particules composant l'aérosol atmosphérique mesurent moins de $1 \mu\text{m}$! (photos 1 à 8).

C'est donc une obligation technique primordiale de protéger occupants et matériels aérauliques contre les effets de ces particules ; et de penser, avant de faire donner l'artillerie des filtres absolus terminaux, à prévoir dès l'entrée d'air (neuf ou recyclé) — ce dernier étant bien souvent plus sale

que l'air neuf, notamment dans le conditionnement dit « de confort » ... une « filtration » « tout venant » d'une efficacité significative sur $1 \mu\text{m}$ et moins, ce qui implique 85 % opacimétrique (EU 7). On fait souvent beaucoup moins... et on le paie beaucoup plus cher en incidents, énergie, chutes de débit, nettoyages de centrales et de gaines...

Et ceci n'exclut nullement l'emploi de finisseurs en fin de centrale, ni celui d'une filtration de l'air extrait au niveau même des bouches de reprise.

On pourra à ce propos se reporter au chapitre « filtration » du guide Climatation et santé, édité par Uniclina.

DIVERS NIVEAUX DE CONTAMINATION EN PARTICULES PAR LITRE D'AIR

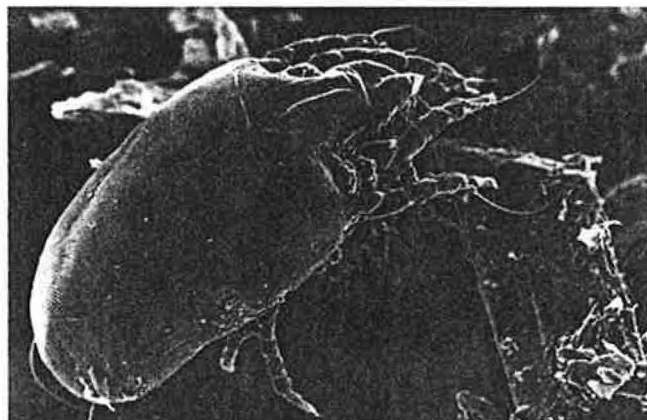
(Nombres totaux toutes dimensions mesurées au compteur à noyaux de condensation CNC). Ordres de grandeur.

Fumée de tabac :	10^{11} particules/litre
Autoroute-forte circulation :	10^8 particules/litre
Centre urbain :	10^8 particules/litre
Route de campagne :	10^7 (mais $3 \cdot 10^8$ mesuré derrière un camion...)
Zone rurale :	10^6
Océan :	10^5
Arctique :	10^4
Salle blanche ultrapropre dernières générations :	1

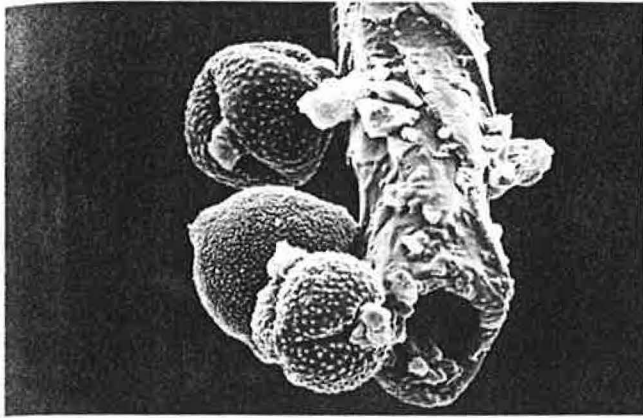
Particules dans l'air : quelle variété !



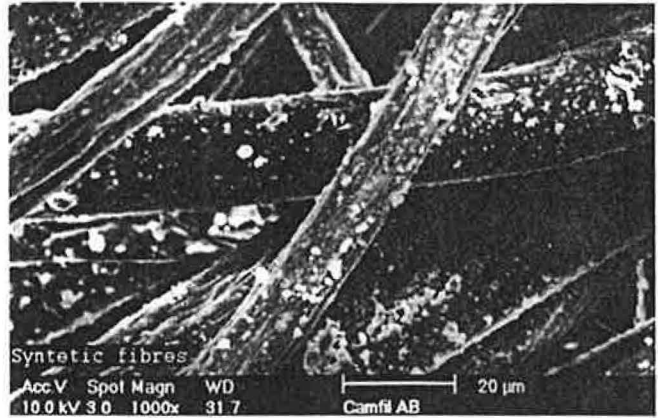
1. Tête de mouche prise dans un filtre, dimension environ 2 500 μm .



2. Acarien pris dans un filtre, environ 150 μm .



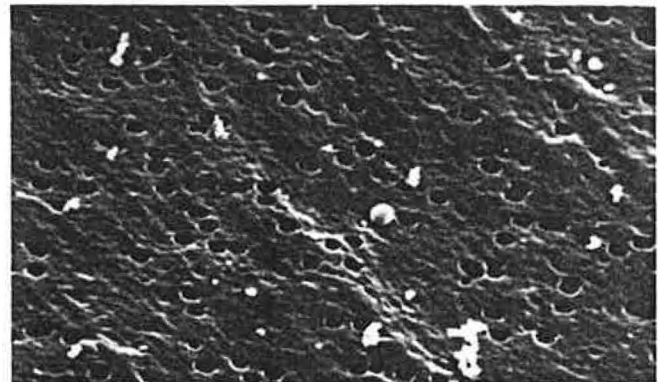
3. Pollens sur un duvet, environ 20 µm, limite de visibilité de l'œil.



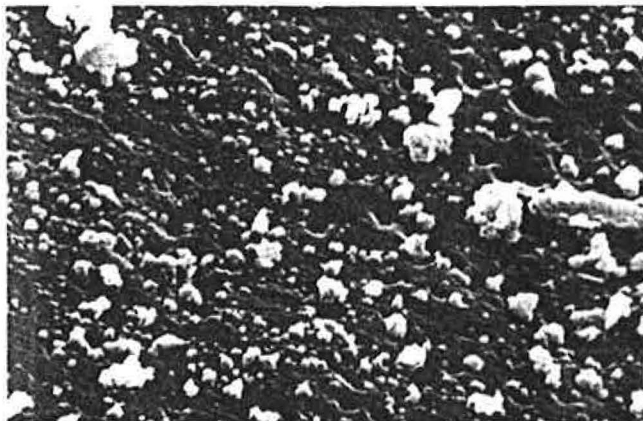
4. Media filtrant grossier, fibres synthétiques diamètre 15 à 20 µm, en cours de colmatage.



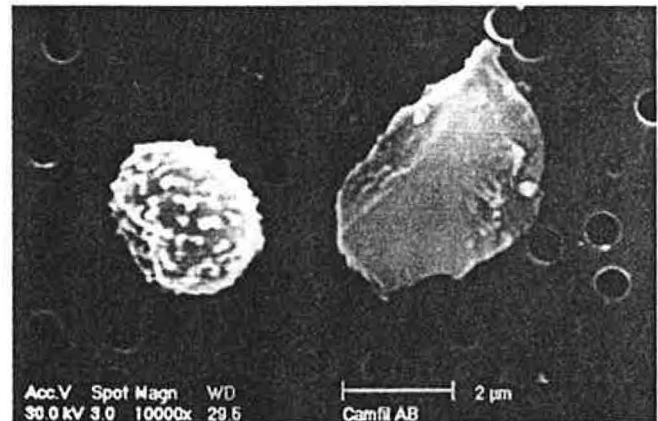
5. Media filtrant fin type opacimétrique. Fibres de verre diamètre 1 à 3 µm (se souvenir ici que l'efficacité est fonction inverse du diamètre des fibres...), en cours de colmatage.



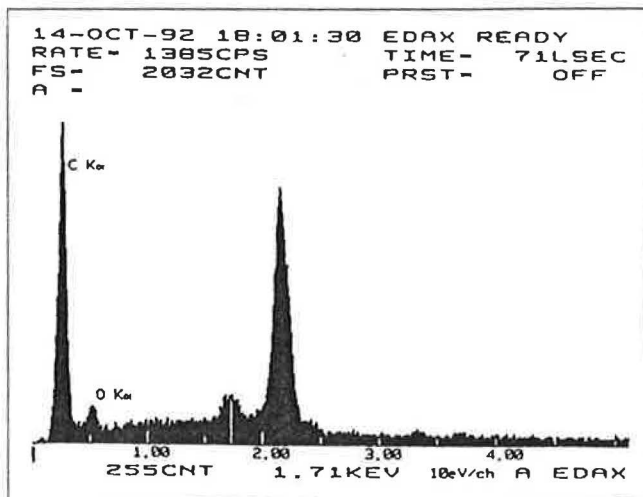
6. Visualisation d'un prélèvement de pollution particulaire sur membrane (diamètre des pores environ 0,5 µm) environnement montagne hiver. Ici les particules visibles les plus petites mesurent environ 0,1 µm, soit 25 000 fois moins que la tête de mouche de la photo (1) ; à titre indicatif le mont Blanc ne représente « que » 2 700 fois la taille d'un homme !



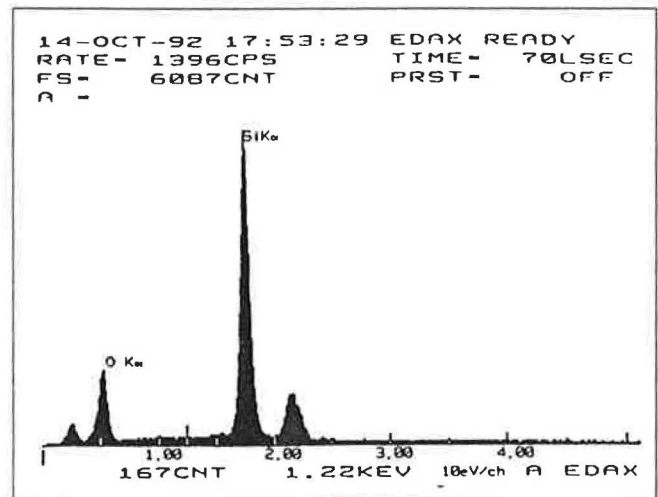
7. Visualisation d'un prélèvement sur membrane, environnement urbain moyen. Même échelle qu'en photo 6. On remarquera les agglomérats particulaires.



8. Collecte de 2 particules et analyses EDX correspondantes :



— particule de gauche organique (C) ; c'est un spore.



— particule de droite inorganique (Si)