

→ D. Bémer ⁽¹⁾, S. Callé ⁽²⁾,
S. Vaxelaire ⁽¹⁾, D. Thomas ⁽²⁾,
P. Contal ⁽²⁾

⁽¹⁾ Département Ingénierie des polluants,
Centre de Lorraine, INRS, 54500 Vandœuvre-
lès-Nancy.

⁽²⁾ Laboratoire des Sciences du génie chi-
mique, LSGC-CNRS, 1 rue Grandville, 54000
Nancy.

Performances des médias filtrants utilisés en dépolluissage industriel

Méthode de test

METHOD TO TEST THE PERFORMANCE OF FILTER MEDIA USED IN INDUSTRIAL AIR CLEANING

A method to test the filter media used in industrial dust control has been developed. It monitors the change in the characteristics of a media, namely pressure drop and fractional filtration efficiency, during utilisation characterised by clogging / unclogging cycles. The test aerosol is composed of alumina particles with a volume median diameter of 3.2 µm. Unclogging was ensured by back flow compressed air injection. The results of the tests carried out on three types of media employed in industrial dust control are presented. The performance of these three media was determined in initial state (new filter) and after forty clogging / unclogging cycles. The performance criteria retained allow comparison of the different media and provide elements for choosing a media in relation to industrial application.

● dust control ● air ● filter
● efficiency ● clogging/unclogging

Une méthode de test des médias filtrants utilisés dans le domaine du dépolluissage industriel a été mise au point. Elle permet de suivre l'évolution des caractéristiques d'un média (perte de charge et efficacité fractionnelle de filtration), au cours de son fonctionnement, caractérisé par des cycles de colmatage et de décolmatage. L'aérosol test est constitué de particules d'alumine, de diamètre médian en volume égal à 3,2 µm. Le décolmatage est assuré par injection d'air comprimé à contre courant. Les résultats d'essais réalisés à partir de trois types de média, employés en dépolluissage industriel, sont présentés. Les performances de ces trois médias ont été déterminées à l'état initial (filtre neuf) et après quarante cycles de colmatage / décolmatage. Les critères de performance retenus permettent de comparer les différents médias et fournissent des éléments pour le choix d'un média en fonction des applications industrielles.

● dépolluissage ● air ● filtre ● efficacité ● perte de charge ● colmatage/décolmatage

L'air capté près des machines et procédés de fabrication est amené jusqu'à une unité d'épuration pour en éliminer les polluants. L'air peut être ensuite, soit rejeté à l'extérieur du bâtiment, soit, pour des raisons d'économie d'énergie, recyclé à l'intérieur. La simple mesure, généralement effectuée, de la concentration en polluant à la sortie de l'épurateur, permet de s'assurer de la conformité de l'installation avec les exigences en matière de rejets (dans l'environnement ou en cas de recyclage). Toutefois, lorsque le flux de polluant est variable, par exemple dans le cas des installations d'épuration centralisées connectées à un réseau de machines ne fonctionnant pas toutes en même temps ou toujours au même régime, il est alors nécessaire de mesurer l'efficacité d'épuration. En effet, seule l'efficacité, définie comme le rapport de la quantité de polluant retenue par la quantité arrivant à l'épurateur,

permet de déterminer les performances de l'installation.

Mais la mesure sur site de ce paramètre, pour des installations dont le débit atteint souvent plusieurs dizaines de milliers de mètres cubes par heure, n'est pas aisée : difficulté de trouver un appareil adapté à la fois aux conditions rencontrées à l'amont et à l'aval, instabilité de la concentration, méthodes basées sur l'emploi d'un aérosol traceur difficiles à mettre en œuvre, etc. [1].

Une autre solution consiste à développer des moyens d'évaluation en laboratoire des performances de ces installations. Pour les installations de faible débit (< 5 000 m³.h⁻¹), il est possible d'envisager leur mise en œuvre en laboratoire [2, 3]. Par contre, pour celle de plus grand débit, seule la caractérisation du média peut être envisagée. C'est cette dernière approche

qui a été retenue compte tenu de la taille importante des installations de dépoussiérage rencontrées dans le secteur industriel visé (transformation du bois).

Pour cela, un banc d'essai a été mis au point permettant de suivre l'évolution des performances d'un média filtrant, perte de charge et efficacité de filtration, soumis à des cycles de colmatage par des aérosols solides et de décolmatage par air comprimé injecté à contre courant (technique du « pulse-jet ») [4, 5]. L'objectif visé est d'arriver à définir des critères permettant d'évaluer les performances des médias filtrants industriels, comme il en existe à ce jour pour les médias utilisés en ventilation générale [6].

1. Méthode

Le banc d'essai, mis au point pour cette étude, permet de suivre les paramètres de perte de charge et d'efficacité de filtration d'un média filtrant plan de diamètre 130 mm soumis à des cycles de colmatage et de décolmatage (fig. 1).

■ ■ *Le colmatage du média* est effectué avec une poudre d'alumine, générée au moyen d'un générateur à brosse tournante (Palas® RBG 1000), présentant un diamètre médian en volume de $3,2 \mu\text{m}$ (écart type géométrique $\sigma_g \approx 1,4$).

■ ■ *La vitesse de filtration* est maintenue constante, à la valeur de 2 cm.s^{-1} , par un système de by-pass à l'amont du média muni d'une vanne de régulation électropneumatique asservie à un débitmètre massique.

■ ■ *Le débit massique moyen* en particules par unité de surface filtrante est d'environ $90 \text{ g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$. Celui-ci est déterminé à partir de la concentration massique amont mesurée par prélèvement isocinétique (sur filtre Whatmann® GF/C) et du débit de filtration.

Les différents paramètres sont fixés à des valeurs représentatives de celles préconisées sur les installations industrielles.

■ ■ Nous avons opté pour le dispositif de *décolmatage par à-coup de pression à contre-courant* (« pulse-jet ») le plus couramment utilisé en milieu industriel. Sur le

banc d'essai, ce dispositif est constitué d'une buse ($\Phi = 3 \text{ mm}$) d'arrivée d'air comprimé placée en aval du média. Son ouverture est contrôlée par une électrovanne temporisée. Lorsque la perte de charge atteint une valeur maximale, fixée au préalable, le décolmatage est déclenché, le débit de filtration étant maintenu (système « on line »). La durée d'ouverture de la vanne a été fixée à 1 seconde, l'impulsion ainsi générée est de l'ordre de 10^4 Pa.s^{-1} .

La perte de charge du média est suivie de manière continue au cours des cycles. L'efficacité fractionnelle de filtration est déterminée à partir des prélèvements d'un aérosol test amont/ aval par comptage optique (PMS Lasair® 310 et 1001). Le domaine granulométrique couvert s'étend de $0,1$ à $10 \mu\text{m}$ environ. L'aérosol test choisi est un aérosol de chlorure de potassium (KCl), généré au moyen d'un nébuliseur De Vilbiss® 40 puis neutralisé électriquement (électrodes à effet Corona – Elcowa® Eco 8).

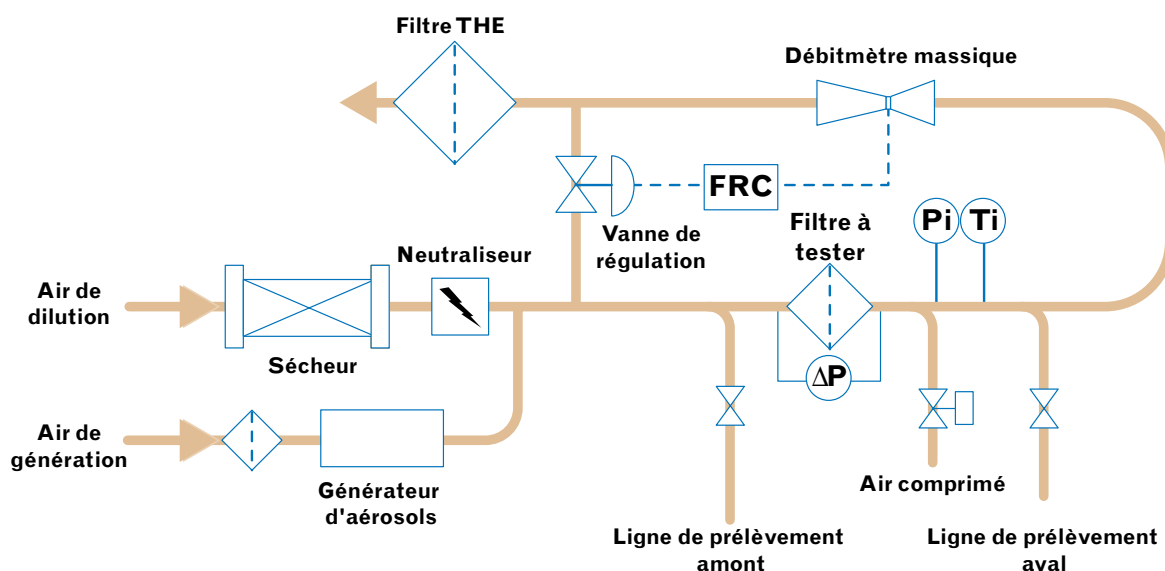


Fig. 1. Représentation schématique du banc d'essai

- Schematic diagram of the test set-up

2. Médias filtrants étudiés

Trois médias filtrants (notés *C*, *CN* et *T*), dont les caractéristiques physiques sont données dans le [tableau 1](#), ont été étudiés. La compacité α est définie comme le rapport du volume occupé par les fibres par le volume du média. Le module d'Young (*E*) traduit l'élasticité du média. Il relie la contrainte exercée sur le média σ (Pa) à la déformation subie par celui-ci e (m) selon la relation: $\sigma = E.e$.

■ ■ *Le média C*, employé pour la confection des manches filtrantes, présente sur sa surface de filtration un traitement anti-colmatant par calandrage thermique.

■ ■ *Le média CN* a les mêmes caractéristiques que le *C*, mais ne possède aucun traitement anti-colmatant.

■ ■ *Le média T*, utilisé pour la confection de cartouches, dispose sur sa surface filtrante d'une fine membrane de polymère (en polytétrafluoroéthylène, PTFE) aux propriétés également anti-colmatantes. Le média *T* est également beaucoup plus rigide que le média *C*. Des observations au microscope électronique à balayage permettent de distinguer l'état de surface des trois médias testés ([fig. 2](#)).

Les performances de ces trois médias ont été suivies pendant quarante cycles. Chaque cycle comprend un colmatage et un décolmatage par à-coup de pression à

TABLEAU 1
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES MÉDIAS FILTRANTS TESTÉS
- Physical properties of the filter media tested

| Média | Épaisseur Z (mm) | Compacité α | Diamètre moyen des fibres d_f (μm) | Module d'Young <i>E</i> (MPa.m^{-1}) | Traitement de surface |
|-------|------------------|--------------------|---|---|-----------------------|
| C | 1,4 | 0,25 | 18,4 | 3 100 | calandrage thermique |
| CN | 1,4 | 0,25 | 18,4 | 3 100 | aucun |
| T | 0,5 | 0,42 | 17,8 | 70 300 | membrane PTFE |

contre-courant. La vitesse de filtration est maintenue constante à la valeur :

$U_f = 2 \text{ cm.s}^{-1}$ (soit $72 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ de débit surfacique).

Le décolmatage est activé lorsque la perte de charge maximale est atteinte. Celle-ci est fixée à 325 Pa au-dessus de la perte de charge initiale (ΔP_0).

(¹) En faisant l'hypothèse d'une efficacité égale à 1, la masse surfacique de particules collectées par le média est égale à la masse surfacique de particules générées.

3. Résultats

3.1. Evolution de la perte de charge aux cours des cycles

L'évolution de la perte de charge des trois médias a été suivie au cours des cycles. Les résultats sont exprimés en fonction de la masse surfacique des particules générées (¹). La [figure 3](#) ([page suivante](#)) montre, à titre d'exemple, l'évolution enregistrée dans le cas du média *C*. Un cycle se compose d'une phase de croissance de la perte de charge corres-

Fig. 2. Observations au microscope électronique à balayage de la surface des trois médias filtrants
- Observation of the surface of the three filter media using scanning electron microscopy

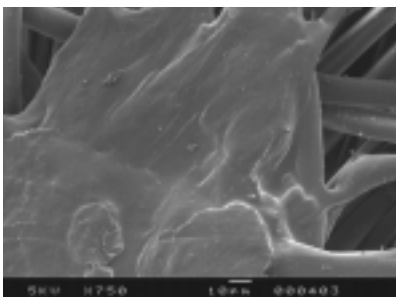


Fig. 2a. Média C
(calandrage thermique)
- Medium C (thermal lining)

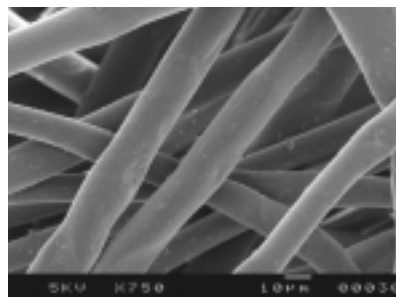


Fig. 2b. Média CN
(sans traitement de surface)
- Medium CN (no surface treatment)

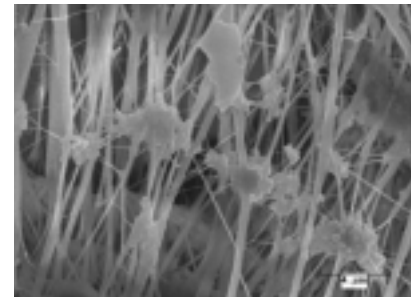


Fig. 2c. Média T (membrane PTFE)
- Medium T (PTFE membrane)

Fig. 3. Evolution de la perte de charge du média C avec les cycles (la courbe située en partie basse représente la variation de la perte de charge résiduelle)
 - Change in pressure drop of medium C with the cycles -
 the curve in the lower section represents the variation in residual pressure drop

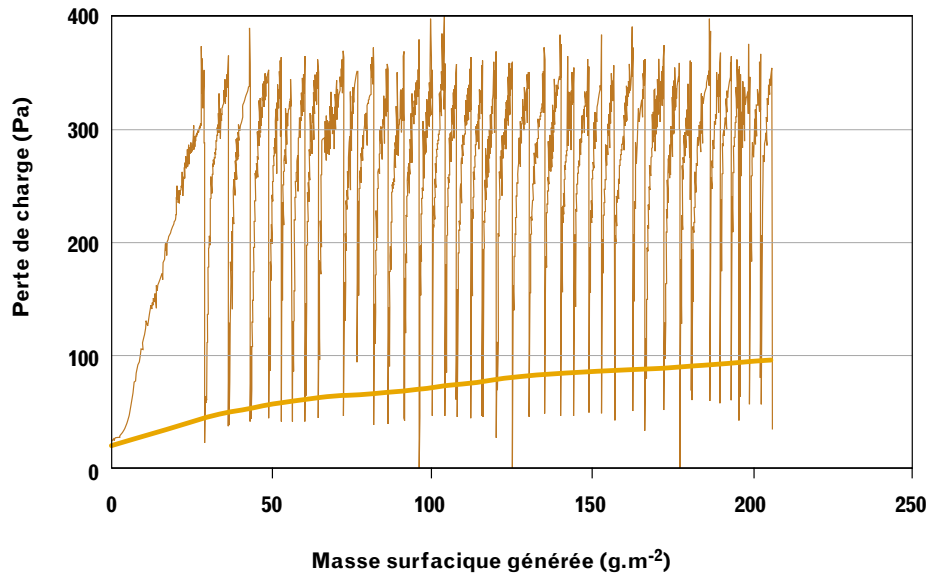
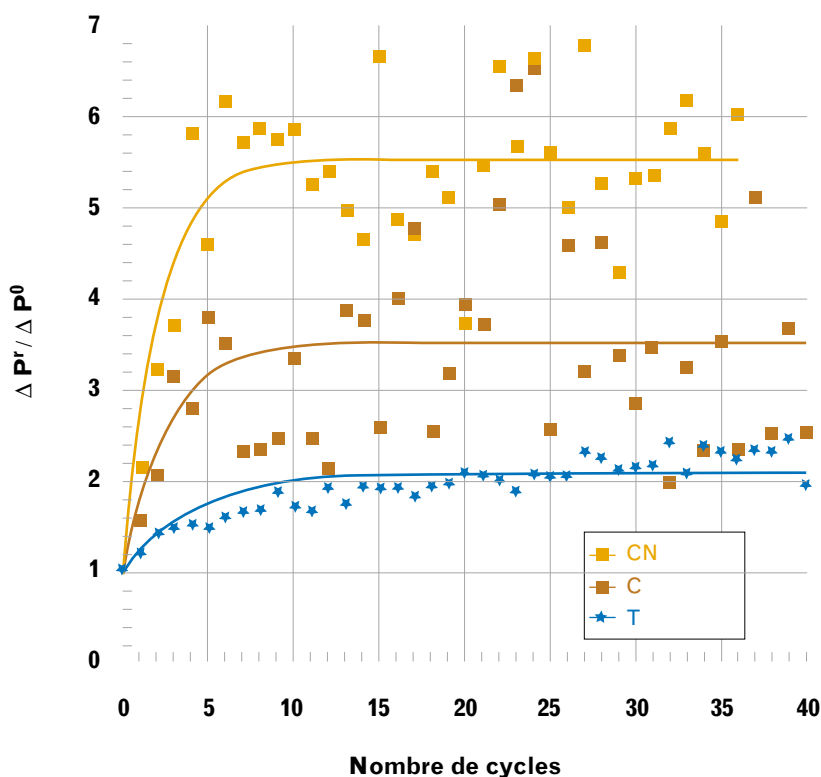


Fig. 4. Evolution de la perte de charge résiduelle avec les cycles pour les trois médias
 - Change in residual pressure drop with the cycles for the three media



pendant au colmatage et d'une phase de régénération par décolmatage se traduisant par une chute de la perte de charge jusqu'à une valeur appelée perte de charge résiduelle (ΔP_r).

La *figure 4* représente l'évolution du rapport $\Delta P_r / \Delta P_0$ pour les trois médias au cours des cycles. L'absence de traitement anti-colmatant du média CN conduit à une perte de charge résiduelle plus élevée que celle des autres médias égale à environ 6 fois la perte de charge initiale. Le décolmatage imparfait de ce média est à l'origine de la formation d'un « gâteau de particules » présentant une structure en plaques. Cette formation est responsable de l'augmentation brusque de la perte de charge à la reprise du colmatage et par conséquent, de la courte durée des cycles de ce média (*fig. 5*) [7 à 9]. Le décolmatage quasi-total obtenu avec le média T conduit, par contre, à un accroissement linéaire et relativement lent de la perte de charge lors du colmatage, qui suit un décolmatage augmentant de ce fait la durée moyenne des cycles.

Ces résultats mettent en évidence des différences de comportement assez marquées entre les médias. Deux paramètres ont été retenus afin de comparer leurs performances :

- la masse moyenne de particules collectées par cycle en fin d'essai (moyenne effectuée sur les dix derniers cycles), θ_∞ ($\text{g.m}^{-2}/\text{cycle}$),
- la variation relative de la perte de charge résiduelle en fin d'essai : $\Delta P_{rx} / \Delta P_0$.

Les valeurs de ces paramètres, déterminés pour les trois médias, sont données dans le *tableau II* (les paramètres d'efficacité de filtration également présentés seront discutés dans le paragraphe suivant). Ils montrent que le décolmatage du média T est supérieur à celui du média C, lui-même supérieur à celui du média CN.

3.2. Evolution de l'efficacité fractionnelle au cours des cycles

On a procédé à la mesure de l'efficacité fractionnelle des trois médias filtrants à différents stades : à l'état initial (ΔP_0), colmaté (ΔP_{max}) et décolmaté après le 40^e cycle ($\Delta P_{r,n}$; $n = 40$). Celle-ci est définie par :

$$E_i = 1 - \frac{N_{si}}{N_{ei}} \quad (1)$$

avec N_{si} , N_{ei} : les concentrations en nombre mesurées à l'aval et à l'amont du

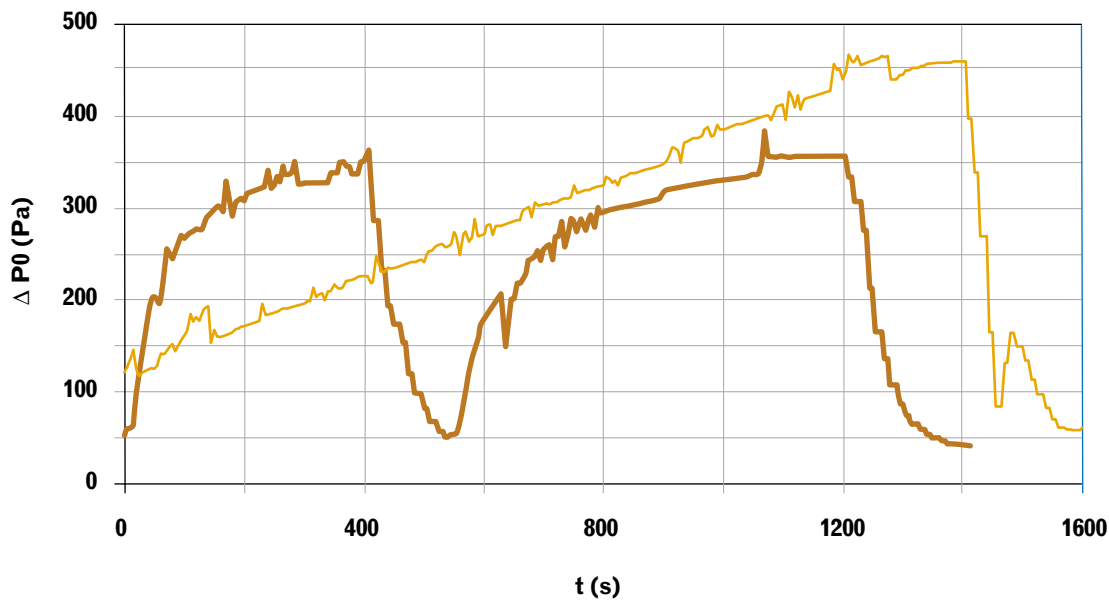


Fig. 5. Evolution de la perte de charge après décolmatage des médias C (—, 2 cycles) et T (—, 1 cycle)
 - Change in pressure drop after cleaning media C (— 2 cycles) and T (— 1 cycle)

filtre, correspondant à la « ième » classe granulométrique du compteur optique.

Les résultats obtenus pour le média C sont représentés sur la *figure 6*. Par souci de simplification les courbes donnant l'efficacité des deux autres médias n'ont pas été représentées. On trouvera dans le tableau II les valeurs de l'efficacité des trois médias correspondant à deux classes granulométriques du compteur optique : 0,3 – 0,4 μm et 5 – 10 μm . E_0 désigne l'efficacité initiale (média neuf) et $E_{r,40}$ l'efficacité après décolmatage au 40^e cycle.

On remarque que le média C présente une efficacité initiale faible, qui n'est pas modifiée par le traitement thermique. En revanche, la membrane en PTFE confère au média T une efficacité élevée à l'état neuf. Lors du colmatage, les particules collectées se comportent comme autant de nouvelles fibres augmentant l'efficacité de filtration. En fin de cycle, l'efficacité atteint des valeurs très élevées, quasi identiques pour les trois médias, la filtration étant à ce stade contrôlée essentiellement par le gâteau de particules déposé à la surface du filtre.

Après décolmatage, l'efficacité chute plus ou moins selon le média, du fait de la suppression partielle ou totale du gâteau ($E_{r,40}$, cf. tableau II). Le média C présente une moins bonne efficacité après décolmatage que le filtre CN du fait de son meilleur décolmatage. Le décolmatage très efficace obtenu avec le média T permet à celui-ci de retrouver les valeurs de son efficacité initiale.

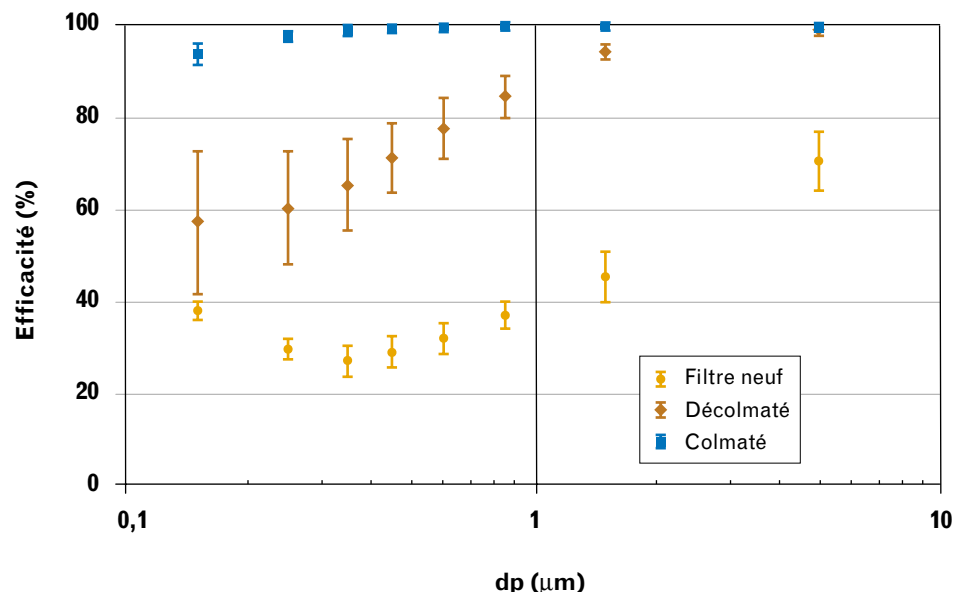
TABLEAU II

CRITÈRES DE COMPARAISON – APPLICATION AUX MÉDIAS FILTRANTS CN, C ET T
 - Comparison criteria – Application to filter media CN, C and T

| Filtre | | CN | C | T |
|-----------|--|------|------|------|
| Critère 1 | ΔP_0 (Pa) | 28 | 28 | 122 |
| | E_0 0,3-0,4 μm (%) | 26,8 | 26,8 | 98,7 |
| | E_0 5-10 μm (%) | 70,0 | 70,0 | 99,8 |
| Critère 2 | $(\Delta P_{r\infty} / \Delta P_0)$ | 5,5 | 3,5 | 2,0 |
| | $E_{r,40}$ 0,3-0,4 μm (%) | 92,1 | 64,6 | 98,4 |
| | $E_{r,40}$ 5-10 μm (%) | 99,8 | 98,8 | 99,9 |
| Critère 3 | θ_∞ (g.m ⁻² /cycle) | 1,25 | 4,0 | 18,1 |

Fig. 6. Efficacité du média C à différents stades (résultats « colmatage/décolmatage » au 40^e cycle)

- Efficiency of medium C at different stages ("clogging/unclogging" results at the 40th cycle)



La *figure 7* représente l'évolution de l'efficacité totale de filtration des médias C et T. L'efficacité totale, à la différence de l'efficacité fractionnelle, est établie en considérant l'ensemble de l'aérosol. Elle est définie par :

$$E = 1 - \frac{\sum N_{si}}{\sum N_{ei}} \quad (2)$$

L'efficacité mesurée vis-à-vis de l'aérosol d'alumine, moyennée sur les cinq premiers cycles (cf. *fig. 7*), est égale à :

$$\bar{E} = 95,64 \%$$

pour le média C et :

$$\bar{E} = 99,96 \%$$

pour le média T. Ces résultats montrent que l'efficacité moyenne du média C, assurée essentiellement par le gâteau de particules, dépend étroitement des phases de décolmatage au cours desquelles l'efficacité chute brutalement. En revanche, l'efficacité du média T ne présente pas ces fluctuations, son efficacité étant assurée par le média et non par le gâteau de particules.

Ces résultats mettent en évidence les propriétés remarquables des membranes PTFE améliorant considérablement les performances des médias à la fois en termes de perte de charge que d'efficacité de filtration [10].

4. Critères de performances

Différents critères ont été définis pour évaluer les performances de chaque média filtrant. Les grandeurs choisies doivent tenir compte des performances de chaque média (perte de charge et efficacité de filtration) à différents stades caractéristiques des cycles de colmatage et de décolmatage. Trois critères ont été retenus :

■ Critère 1 : performances à l'état initial

- perte de charge initiale : ΔP_0 ;
- efficacité de filtration initiale vis-à-vis des particules submicroniques : E_0 (0,3 – 0,4 μm) ;
- efficacité de filtration initiale vis-à-vis des particules microniques : E_0 (5 – 10 μm).

■ Critère 2 : performances à l'état décolmaté après n cycles ($n = 40$)

- Variation relative de la perte de charge résiduelle en fin d'essai: $\Delta P_{r\infty} / \Delta P_0$;
- Efficacité de filtration à l'état décolmaté vis-à-vis des particules submicroniques au 40^e cycle : $E_{r,40}$ (0,3 – 0,4 μm) ;
- Efficacité de filtration à l'état décolmaté vis-à-vis des particules microniques au 40^e cycle : $E_{r,40}$ (5 – 10 μm).

Ce critère permet de prendre en compte l'influence du colmatage interne irréversible et du décolmatage partiel du filtre sur la perte de charge et l'efficacité.

■ Critère 3 : capacité de colmatage (θ_∞)

Elle correspond à la masse surfacique totale des particules arrivant sur le filtre (ou masse retenue en considérant une efficacité égale à 1), divisée par le nombre de cycles. Ce paramètre, déterminé à partir des dix derniers cycles afin de se rapprocher d'un régime de fonctionnement permanent, est noté θ_∞ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}/\text{cycle}$). Ce critère est un indicateur de la durée moyenne des cycles de colmatage et décolmatage.

Les valeurs des paramètres correspondant aux différents critères ont été rassemblées dans le tableau II. Les critères retenus permettent de comparer facilement les performances des trois médias.

Ils montrent que le média T dispose d'une efficacité de filtration, d'une perte de charge, d'une capacité de colmatage et de régénération plus grandes que celles des autres médias. Le média CN présente une moins bonne capacité de régénération et une meilleure efficacité après décolmatage que le média C.

La capacité de colmatage est particulièrement importante car on peut, à partir de celle-ci, estimer la durée réelle d'un cycle pour une application donnée à condition de connaître certaines propriétés des particules, notamment le coefficient de résistance spécifique du gâteau k_2 ($\text{m}\cdot\text{kg}^{-1}$). Il est, en effet, possible de déterminer à partir de ce paramètre, la variation de la perte de charge avec la masse surfacique des

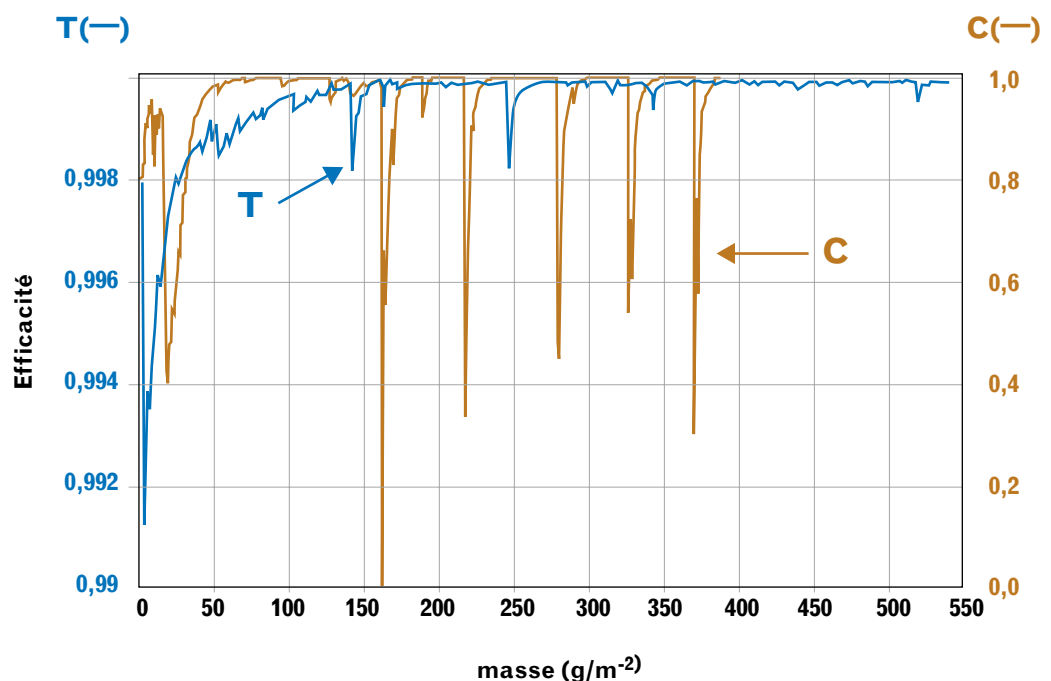


Fig. 7. Suivi de l'efficacité des médias C et T au cours des cinq premiers cycles
- Monitoring of the efficiency of media C and T during the first five cycles

particules collectées en utilisant la loi de Darcy en régime laminaire :

$$\Delta P = (k_2 \cdot \mu \cdot U_f \cdot M_s) + \Delta P_r \quad (3)$$

avec μ : la viscosité dynamique de l'air [kg.m⁻¹.s⁻¹],

M_s : masse surfacique de particules collectées [kg.m⁻²],

U_f : vitesse de filtration [m.s⁻¹].

Le coefficient k_2 , déterminé pour la poussière test d'alumine à la vitesse :

$U_f = 2 \text{ cm.s}^{-1}$, est égal à :

$$(k_2)_t = 2,4 \cdot 10^{10} \text{ m.kg}^{-1}.$$

A partir de la relation (3) et du coefficient de résistance spécifique de la poussière industrielle $(k_2)_r$, il est possible d'évaluer la durée d'un cycle de l'installation de dépoussiérage (t_{cycle}) en utilisant la relation suivante :

$$t_{\text{cycle}} = \frac{\theta_{\infty}}{q} \cdot \frac{(k_2)_t}{(k_2)_r} \quad (4)$$

Avec q [kg.s⁻¹.m⁻²] : le flux de particules collectées par unité de surface de filtration. En prenant : $q = 180 \text{ g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$, valeur classique pour un dépoussiéreur à bois, et un coefficient $(k_2)_r = 3,4 \cdot 10^9 \text{ m.kg}^{-1}$, déterminé en laboratoire à partir d'un échantillon de poussière de bois, on obtient, à partir de la capacité de colmatage :

$\theta_{\infty} = 18,1 \text{ g.m}^{-2}/\text{cycle}$ du média T (cf. tableau II), une durée de cycle :

$$t_{\text{cycle}} = \frac{18,1}{180} \cdot \frac{2,4 \cdot 10^{10}}{3,4 \cdot 10^9} \cdot 60 \approx 42 \text{ min}$$

Pour le média C, le temps de cycle serait de 9,3 min.

Ces fréquences de décolmatage sont du même ordre de grandeur que celles relevées sur des installations de dépoussiérage de l'industrie du bois. Cette estimation des fréquences est toutefois approximative car elle ne prend pas en compte certains paramètres pouvant avoir une influence sur la perte de charge résiduelle, tels que l'humidité de l'air et la taille des particules. De plus, elle est délicate à appliquer, les paramètres q et $(k_2)_r$ étant difficiles à établir et sujets à d'importantes variations. Néanmoins, une telle approche permet de fixer des ordres de grandeur du paramètre t_{cycle} ne pouvant être mesuré que sur site.

CONCLUSION

Les critères préalablement définis permettent de comparer les médias entre eux et peuvent fournir des éléments de choix pour une application donnée. Ils fournissent des informations sur les performances du filtre qui tiennent compte de son mode de fonctionnement particulier par cycles de colmatage et décolmatage. La méthode proposée est, de ce fait, plus pertinente que la norme d'essai actuelle des médias utilisés en dépoussiérage industriel (classification en six classes : U, S, G, C, et K₁, K₂) fondée uniquement sur la mesure de l'efficacité totale de filtration des médias à l'état neuf [11, 12].

En effet, l'étude réalisée a montré l'importance de la prise en compte de ces cycles pour estimer les performances des médias utilisés en dépoussiérage industriel et l'insuffisance de la simple détermination de l'efficacité de filtration du média à l'état neuf.

En revanche, ces différents critères étant déterminés à partir d'une méthode

conventionnelle (les différents paramètres sont fixés), il n'est pas aisé de les exploiter directement dans le but de prédire les performances d'une installation qui utiliserait le même média mais dans des conditions de fonctionnement différentes.

Les essais réalisés ont permis également de mettre en évidence les propriétés très intéressantes des membranes en PTFE disposées sur la surface filtrante du média. Ces membranes en permettant un décolmatage optimum du média (récupération maximale de la perte de charge tout en préservant une efficacité élevée) mériteraient d'être employées plus couramment pour le traitement de l'air empoussiéré en relation avec l'hygiène industrielle.

Une installation pilote de dépoussiérage est en cours d'élaboration à l'INRS. Celle-ci permettra de valider les données acquises sur médias plans et surtout d'optimiser la technique de décolmatage qui constitue la phase critique du fonctionnement d'un dépoussiéreur.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BÉMER D., RÉGNIER R., CALLÉ S. – Separation efficiency of a wood dust collector - Field measurement using a fluorescent aerosol. *Annals of Occupational Hygiene*, 2000, 44, 3, pp. 173-183.
- [2] GÁNG P., LÖFFLER F. - New procedure and test-rig for the characterization of cleanable filter media. In : 9th World Clean Air Congress, Montréal, septembre 1992.
- [3] prEN ISO 15012-1 – Requirements, testing and marking of equipment of air filtration – Part 1 : Welding fume separation equipment. Genève, ISO, 2000.
- [4] NF X 44-060 – Epurateurs de brouillard d'huile avec ventilateur intégré pour l'industrie du décolletage – Méthode d'essai. Paris, AFNOR, 1993.
- [5] CALLE S. – Etude des performances des media filtrants utilisés en dépoussiérage industriel. Nancy, INPL, Thèse, 2000.
- [6] EN 779 – Filtres à air de ventilation générale pour l'élimination des particules. Bruxelles, CEN, 1993.
- [7] HUMPHRIES W. – Influence of cloth structure on dust dislodgement from fabric filters. *Powder Technology*, 1996, 86, pp. 21-29.
- [8] SCHMIDT E. – Experimental investigations into the detachment of differently structured particle layers from surfaces. *Chem. Eng. Technol.*, 1998, 21, pp. 26-29.
- [9] LEITH D., ALLEN R.W.K. – Dust filtration by fabric filters. In : WAKEMAN R.J. (éd.) – Progress in filtration and separation. Amsterdam, Elsevier, 1986, vol. 4, pp. 1-57.
- [10] POON W., STARK S. – Selective membrane bonding enhances bag & cartridge performance. *Filtration and Separation*, 2001, 38, 10, pp. 16-19.
- [11] Geprüfte filtermaterialien – Positivliste. *Sankt Augustin, BIA Handbuch* 26, 550210 Lfg, XI/9, 1995.
- [12] ENSOR D. S., KRAFTHFER B. C., OTTNEY T. O. – Changing Requirements for Air Filtration Test Standards. *ASHRAE Journal*, juin 1994, pp. 52-60.

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ - 30, rue Olivier-Noyer, 75680 Paris cedex 14

Tiré à part des Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail, 3^e trimestre 2002, n° 188 - ND 2178 - 1000 ex.
N° CPPAP 804/AD/PC/DC du 14-03-85. Directeur de la publication : J.-L. MARIÉ. ISSN 0007-9952 - ISBN 2-7389-1133-1

Imprimerie de Montligeon - 61400 La Chapelle Montligeon