



## **Filtration continue et discontinue d'un aérosol liquide et de mélanges d'aérosols solide et liquide par un filtre à fibres**

Sandrine Callé-Chazelet, Tom Frising, Dominique Thomas, Denis Bemer

### **► To cite this version:**

Sandrine Callé-Chazelet, Tom Frising, Dominique Thomas, Denis Bemer. Filtration continue et discontinue d'un aérosol liquide et de mélanges d'aérosols solide et liquide par un filtre à fibres. 1ères Journées Filtration des Aérosols, Jun 2007, Nancy, France. pp.C9. [hal-00874462](https://hal.science/hal-00874462)

**HAL Id: hal-00874462**

**<https://hal.science/hal-00874462v1>**

Submitted on 17 Oct 2013

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

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



HAL Authorization

## **FILTRATION CONTINUE ET DISCONTINUE D'UN AEROSOL LIQUIDE ET DE MELANGES D'AEROSOLS SOLIDE ET LIQUIDE PAR UN FILTRE A FIBRES**

S. CALLE-CHAZELET<sup>a</sup>, T. FRISING<sup>a,b</sup>, D. THOMAS<sup>a</sup>, D. BEMER<sup>b</sup>

(a) Nancy Université, LSGC/CNRS, BP 20451, 54001 Nancy cedex  
e-mail : sandrine.calle@ensic.inpl-nancy.fr

(b) Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), BP 27, 54500 Vandoeuvre les Nancy  
e-mail : denis.bemer@inrs.fr

### **Résumé**

L'étude présente les résultats d'expériences de filtration d'un aérosol de DiEthylHexylSebaçate par un filtre à fibres à Très Haute Efficacité, illustrant le scénario particulier du colmatage d'un filtre par un aérosol liquide. L'évolution des performances des filtres au cours du colmatage est de plus très différente du profil connu obtenu avec un aérosol solide : la perte de charge et la perméance atteignant un palier au moment où un drainage apparaît à la surface aval du filtre. Un fonctionnement cyclique du filtre avec des périodes d'arrêts de colmatage a donné des résultats intéressants quant à l'éventuelle régénération de celui-ci. Ces mesures ont permis de développer un modèle de colmatage de ces filtres basé sur la structure du dépôt des gouttelettes sur les fibres. Quelques résultats expérimentaux du colmatage de filtres par des mélanges de compositions différentes d'aérosol solide et liquide sont également présentés, sans mettre clairement en évidence les contributions de chacun des aérosols sur l'évolution des performances des filtres.

**Mots Clés.** Aérosol liquide, Filtration, Colmatage, Perméance, Modèle

## **INTRODUCTION**

Les aérosols liquides sont à l'heure actuelle de plus en plus incriminés dans les problèmes de santé des opérateurs et de sécurité des conditions de travail. Mais la filtration de ces aérosols liquides par des filtres à fibres est un problème très complexe puisqu'il dépend, outre des propriétés respectives du filtre et de l'aérosol, des conditions dans lesquelles l'aérosol est généré et transporté à travers le filtre. L'étude présentée se limite à la filtration d'aérosols liquides, non volatils dans les conditions de filtration, avec un domaine d'utilisation ciblé qui est l'industrie mécanique. Si les performances des filtres à fibres vis-à-vis de la filtration des aérosols solides sont bien connues, il n'en est pas de même vis-à-vis des aérosols liquides [1, 2].

Ce travail a pour objectifs d'une part la compréhension des phénomènes à l'origine des modifications des performances d'un filtre à fibres lors de son colmatage par un brouillard d'huile et d'autre part l'étude de l'influence des conditions de fonctionnement de ces filtres dans l'industrie, à savoir l'existence de cycles de filtration et la présence dans l'effluent à traiter d'aérosol solide mélangé à l'aérosol liquide. Pour cela un aérosol d'huile entière de DiEthylHexylSebaçate (DEHS) a été généré et sa filtration par un filtre à Très Haute Efficacité a été suivie et modélisée dans le cas de colmatages en continu ou en discontinu et en présence ou non d'un aérosol solide modèle d'alumine.

## **MATERIEL ET METHODES**

### **Description du banc d'essais**

Le banc d'essais présenté sur la figure 1 est constitué d'une zone de génération, d'une zone de filtration et d'une zone de régulation de débit de filtration.

La zone de génération comprend trois lignes en parallèle :

- la première est équipée d'un générateur d'aérosol solide à brosse tournante (Palas RBG1000) qui servira lors de l'étude de la filtration des mélanges
- la seconde est équipée d'un générateur d'aérosol liquide (Palas PLG 2000-HC) qui fournit une distribution polydispersée de l'aérosol
- la troisième est une ligne de dilution de l'aérosol produit ne comportant qu'un débitmètre massique régulé

La zone de filtration est composée d'un porte-filtre contenant le filtre plan testé, de surface filtrante égale à 95 cm<sup>2</sup>, d'un filtre de sécurité placé en aval du filtre test, de capteurs de pression et température de l'effluent et de deux lignes de prélèvement en amont et en aval du filtre test. Des mesures des concentrations en gouttelettes en amont et en aval du filtre peuvent ainsi être réalisées par prélèvements isocinétiques sur un impacteur en cascade basse pression DEKATI (ELPI). Elles permettront de déterminer la perméance du filtre test par tranche granulométrique entre 0,03 et 10 µm, définie par le rapport des concentrations aval sur amont. La perte de charge du filtre testé est également enregistrée au cours du temps.

Enfin la zone de régulation est constituée d'un débitmètre massique placé en sortie du filtre testé, d'un régulateur et d'une vanne de régulation sur une ligne de dérivation en amont du filtre testé. Cet ensemble permet de travailler à vitesse de filtration constante pendant une expérience de colmatage.

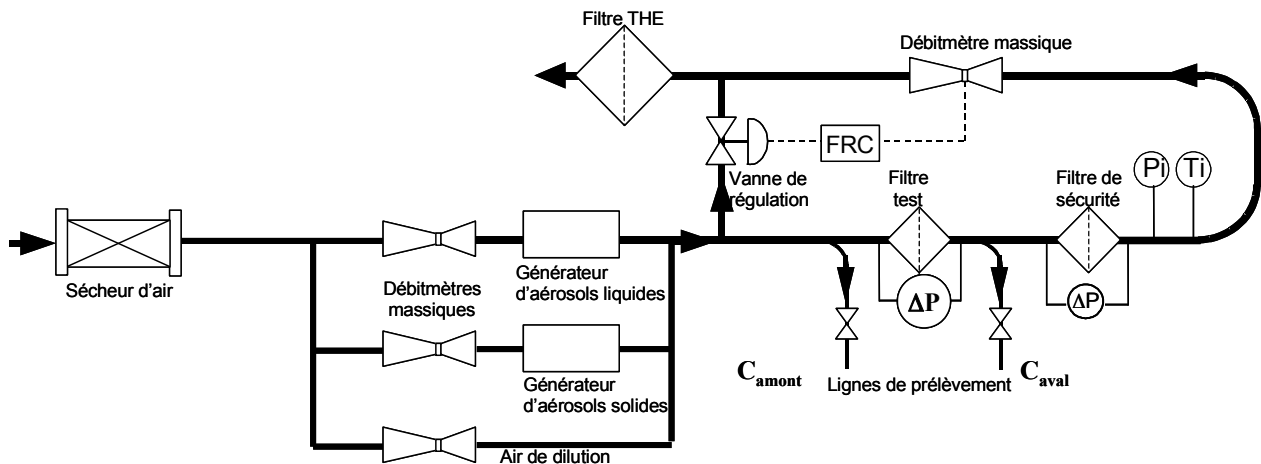


Figure 1 :Banc d'essais pour l'étude de la filtration d'aérosol liquide et de mélanges d'aérosol solide et liquide

### Aérosols testés

Les propriétés de l'aérosol liquide testé (Di Ethyl Hexyl Sébaçate) ainsi que celles de l'aérosol solide ajouté lors de l'étude de la filtration des mélanges (alumine) sont données dans le tableau 1.

Tableau 1 : Propriétés des aérosols testés

	Aérosol solide	Aérosol liquide
	Alumine	Di Ethyl Hexyl Sebaçate (DEHS)
Masse volumique (kg.m <sup>-3</sup> )	3850	983

Diamètre médian $d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	4,75	0,18
--	------	------

**Filtre testé et protocole opératoire**

Le filtre testé est un filtre en fibres de verre qualifié de filtre à très haute efficacité et dont les principales propriétés sont données dans le tableau 2.

*Tableau 2 : Propriétés du filtre à fibres testé*

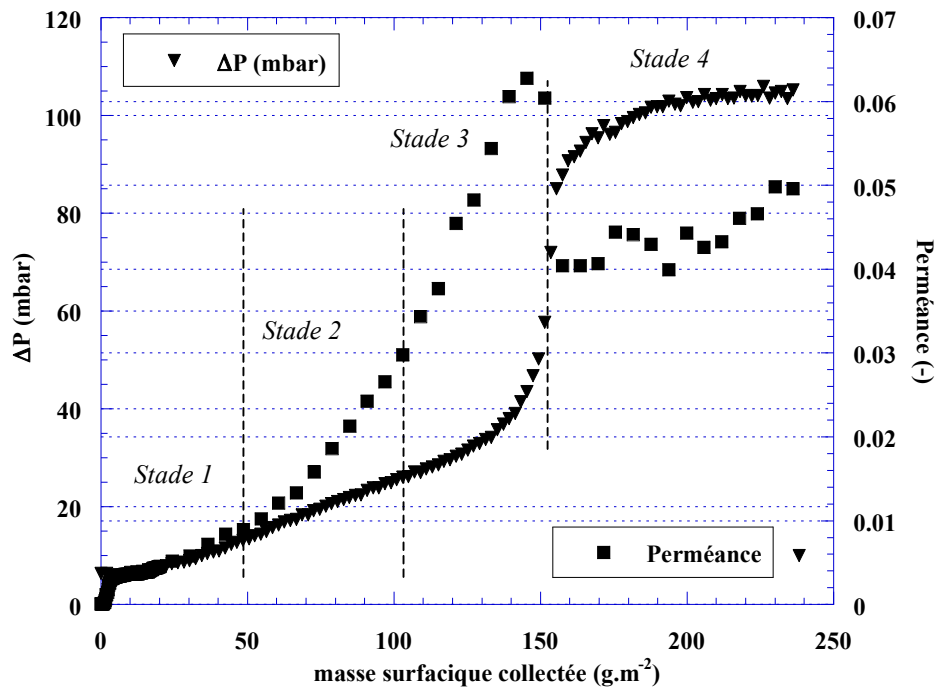
Paramètre	Masse surfacique ( $\text{g.m}^{-2}$ )	Diamètre moyen des fibres ( $\mu\text{m}$ )	Compacité (-)	Epaisseur ( $\mu\text{m}$ )
Valeur	68	5,1	0,065	420

Différents essais de colmatage de ce filtre ont été mis en œuvre à des vitesses de filtration variables d'une part avec l'aérosol de DEHS seul et d'autre part avec des mélanges d'aérosols d'alumine et de DEHS. La perte de charge du filtre est suivie en continu et les concentrations en amont et en aval du filtre mesurées à intervalles de temps réguliers.

## RESULTATS EXPERIMENTAUX

### Evolution des performances des filtres lors du colmatage par l'aérosol liquide

Des courbes caractéristiques de l'évolution de la perte de charge et de la perméance du filtre sont présentées sur la figure 2.



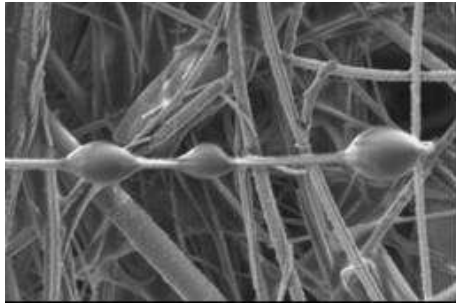
*Figure 2 : Evolution de la perte de charge du filtre à fibres au cours de son colmatage par un aérosol de DEHS à  $2,5 \text{ cm.s}^{-1}$ .*

Un premier résultat remarquable est l'évolution de la perméance du filtre au cours de la masse de liquide collectée. Si la croissance observée de la perte de charge lors du colmatage est en accord avec les théories classiques de la filtration, la perméance suit une évolution contraire avec une augmentation dès le début du colmatage alors qu'elle décroît dans le cas de la filtration d'aérosols

solides.

Un second résultat particulier est l'apparition à partir d'une certaine masse de liquide collectée d'un régime permanent caractérisé par une valeur constante de la perte de charge et de la perméance. On observe en aval du filtre à ce moment là un drainage du liquide collecté, qui pourrait expliquer que la quantité de liquide dans le filtre atteint un niveau constant pour des conditions de pression et température données.

Plus précisément un scénario de dépôt des gouttelettes a été établi à partir de ces courbes et d'observations au microscope électronique à balayage. Il se décompose en 4 stades présentés ci-dessous.

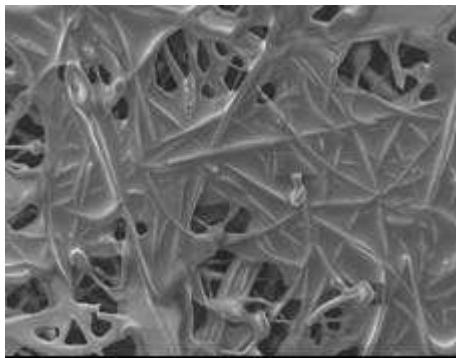


Stade 1 : dépôt des gouttelettes sur les fibres

- augmentation de la perte de charge due à l'augmentation de la surface de frottements
- augmentation de la perméance du fait de la réduction de surface effective de collecte des gouttelettes par les fibres

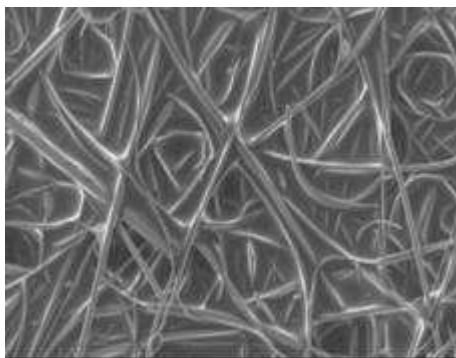
Stade 2 : coalescence des gouttelettes et mouillage des fibres

Point d'inflexion observé sur les courbes



Stade 3 : formation de ponts liquides aux interstices des fibres

- augmentation exponentielle de la perte de charge due à l'augmentation de la vitesse interstitielle de passage de l'air
- diminution de la perméance du fait de l'augmentation de la vitesse qui favorise le mécanisme de capture par impaction



Stade 4 : film liquide en surface du filtre

Etat pseudo-stationnaire de la perte de charge et de la perméance caractérisé par une quantité de liquide constante dans le filtre obtenu à partir d'un équilibre entre la collection du liquide par le filtre et le drainage

*Figure 3 : Observations au Microscope Electronique à Balayage de la surface du filtre colmaté par un aérosol liquide de DEHS à différents stades de filtration*

Ces résultats ont été obtenus sur un filtre à Très Haute Efficacité pour un aérosol liquide donné. Le scénario établi ainsi que les allures de courbes de perte de charge et de perméance sont bien sûr dépendants des propriétés du filtre et de l'aérosol et pourraient être modifiés si ces paramètres étaient différents.

### Influence d'un fonctionnement discontinu du filtre sur ses performances de filtration

L'objectif de ce point de l'étude est de prendre en compte le mode de fonctionnement des filtres utilisés dans les systèmes de dépoussiérage industriel lors de la caractérisation expérimentale des performances de filtration. Ces systèmes fonctionnent de manière discontinue avec des périodes d'arrêt de durée plus ou moins longues pendant lesquelles le filtre n'est a priori pas balayé par un flux d'air. Ce fonctionnement a été mis en œuvre sur le filtre THE testé.

Des interruptions de filtration ont été effectuées aux différents stades caractéristiques de la croissance de la perte de charge du filtre. La reprise de la filtration s'est toujours accompagnée d'une valeur de la perte de charge identique à celle mesurée avant l'interruption, sauf dans le cas d'une interruption au niveau du palier de drainage. L'étude s'est donc plus particulièrement portée sur cette phase critique. Différents essais ont donc été réalisés en imposant un flux d'air propre, de débit variable dans le sens de filtration lors d'arrêts de colmatage au niveau du palier de drainage, avant une reprise de la filtration. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 4. La phase de repos n'est pas représentée. Seules les évolutions de la perte de charge avant l'arrêt et à la reprise de la filtration sont représentées.

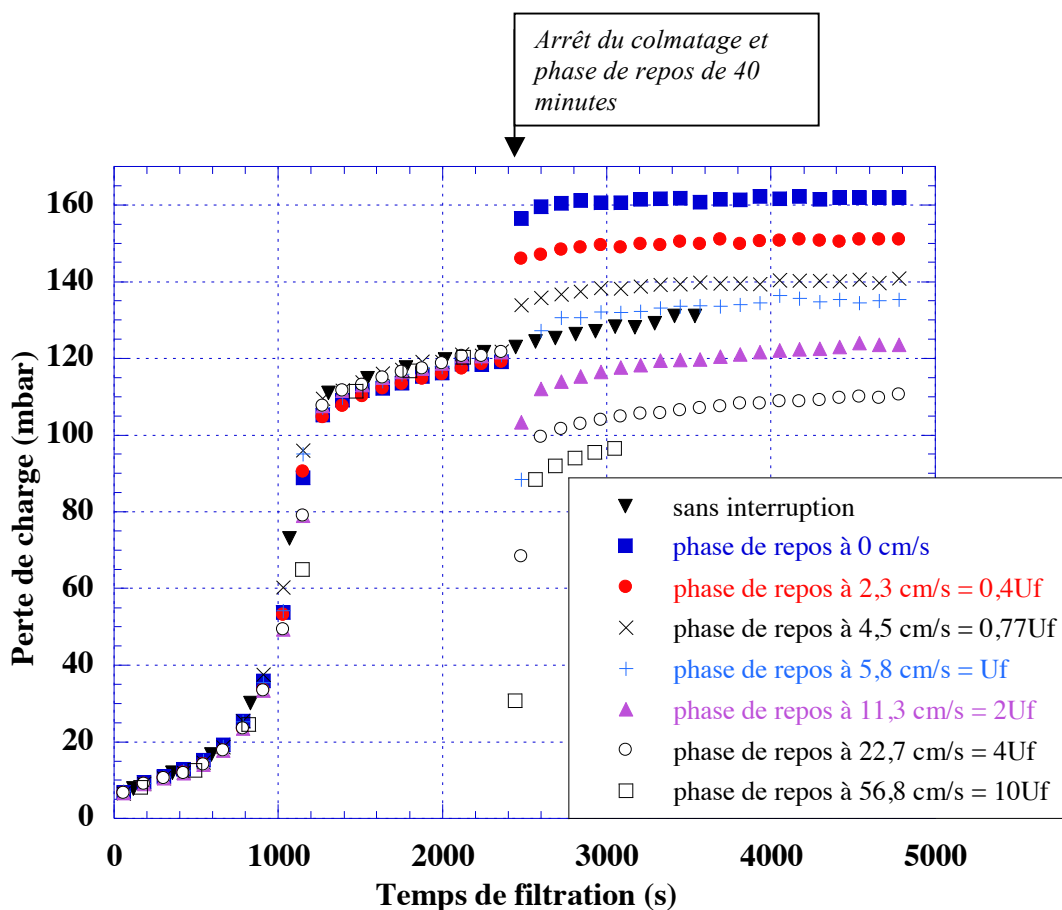


Figure 4 : Evolution de la perte de charge du filtre THE soumis à une interruption de filtration sur le palier de drainage et à différents débits d'air de balayage,  $U_f = 5,8 \text{ cm.s}^{-1}$

Il apparaît une forte croissance de la perte de charge lorsque le colmatage est interrompu et que le filtre est balayé par un débit d'air propre de valeur inférieure ou égale au débit de filtration. Inversement le balayage à fort débit d'air génère une baisse importante de la perte de charge à la reprise de la filtration. Une réorganisation du liquide capturé par le filtre pourrait expliquer cette forte variation. Cette technique pourrait s'avérer intéressante pour régénérer en partie les filtres colmatés par un aérosol liquide.

### Filtration de mélanges d'aérosols solide et liquide

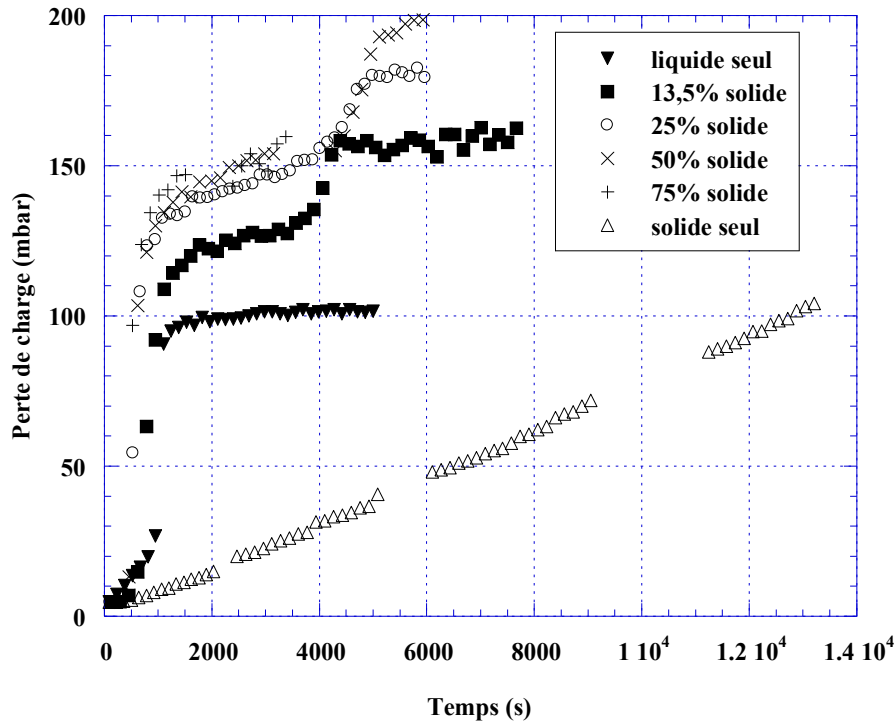
La réalité industrielle dans les ateliers de mécanique fait souvent cas de filtration de mélange d'aérosols, solide et liquide, par exemple brouillard d'huile + copeaux métalliques ou suie. Des essais ont été réalisés en générant en parallèle un aérosol de DEHS et un aérosol d'alumine à des pourcentages massiques variables [2,4]. Les conditions sont rappelées dans le tableau 3.

*Tableau 3 : Conditions opératoires des essais de colmatage par un mélange d'aérosol solide et liquide*

Paramètre	Valeur
Pourcentage massique de solide dans le mélange	Variable de 0 à 100 %
Débit volumique de filtration	30 NL.min <sup>-1</sup>
Débit massique de liquide généré	5,6.10 <sup>-5</sup> g.s <sup>-1</sup>

Les résultats obtenus en termes d'évolution de la perte de charge sont donnés sur la figure 5. Les allures obtenues sont encore différentes de celles caractéristiques du colmatage d'un filtre par un aérosol solide seul et par un aérosol liquide seul, avec deux paliers significatifs dans le cas du mélange.

La première remarque est qu'au niveau du premier palier, la perte de charge du filtre colmaté par un mélange est plus importante que celle du filtre colmaté par l'aérosol liquide seul, du fait de la présence des particules solides collectées. Cet écart est d'autant plus important que le pourcentage massique en solide est élevé. Ceci confirme les résultats de Rosati et al. [3].



*Figure 5 : Evolution de la perte de charge du filtre soumis à des colmatages de mélanges d'aérosols solide et liquide de teneur variable*

Pour essayer d'interpréter ces courbes, des observations au microscope électronique à balayage du filtre à différents instants de son colmatage ont été réalisées. Il apparaît que lors du premier palier, le gâteau de particules solides est en cours de formation et qu'il recouvre la totalité de la surface au niveau du second palier. De plus les agglomérats observés à la surface du filtre laissent à penser que

les particules solides se sont agglomérées avant d'être collectées par le filtre du fait de la présence de liquide.

Il est très délicat de pouvoir identifier la part de l'aérosol solide et celle de l'aérosol liquide sur ce colmatage, ce qui limite les interprétations. Des essais complémentaires sont à prévoir pour comprendre ces phénomènes.

## **MODELISATION DES PERFORMANCES D'UN FILTRE LORS DE SON COLMATAGE PAR UN AEROSOL LIQUIDE**

L'objectif est de développer un modèle phénoménologique du colmatage d'un filtre THE par un aérosol liquide non volatil, basé sur les différentes observations réalisées, qui rende compte de l'évolution de la perte de charge et de la perméance au cours du colmatage.

### **Hypothèses du modèle**

Le filtre est initialement découpé en tranches d'épaisseur  $dZ$ . Dans chacune des tranches, on suppose que les gouttelettes collectées sur les fibres auront le même effet d'un point de vue perte de charge et perméance que la formation d'une gaine liquide autour de la fibre. Ainsi, au fur et à mesure du colmatage, on considère que le 'diamètre de la gaine' augmente jusqu'à une valeur maximale dépendant essentiellement des propriétés physico-chimiques du liquide. Cette limite 'd'enrobage des fibres' par le liquide est caractérisée par un pourcentage volumique maximal de liquide au sein de la tranche, noté  $\alpha_{\text{gaine}}$ .

Après cette étape le liquide collecté formera des ponts liquides entre les fibres entraînant une diminution de la surface de collecte des gouttelettes. Le colmatage se poursuit jusqu'à contenir un pourcentage volumique de liquide maximal noté  $\alpha_{\text{film}}$ . Par ailleurs, on suppose qu'il existe des transferts du liquide collecté en aval de la tranche considérée par transfert capillaire tant que  $\alpha_{\text{gaine}} < \alpha < \alpha_{\text{film}}$ . Lorsque  $\alpha > \alpha_{\text{film}}$ , le liquide collecté est supposé migrer sous l'action des forces capillaires ou celles liées à l'écoulement vers la tranche suivante, de sorte que la perméance et la perte de charge restent constantes.

Les relations théoriques utilisées pour calculer la perte de charge et la perméance dérivent de celles classiquement utilisées pour des filtres à fibres vierges. Le modèle choisi pour le calcul de l'efficacité est celui de Lee-Rubow-Gougeon (modèle LRG) [1].

Les autres hypothèses sont listées ci-dessous :

- le filtre est isotrope
- les diamètres des fibres sont assimilés au diamètre moyen (validé pour les filtres THE)
- le liquide est mouillant vis-à-vis des fibres

### **Comparaison entre modèle et expériences**

Des courbes d'évolution de la perte de charge en fonction de la masse de gouttelettes collectées obtenues par le modèle en fixant différents diamètres cohérents de fibres gainées de liquide sont comparées aux valeurs expérimentales sur la figure 6.

L'allure des courbes de perte de charge obtenue par le modèle rend bien compte de celle obtenue expérimentalement. L'accord est moins satisfaisant en ce qui concerne l'évolution de la perméance lors du colmatage, non représentée ici. Il apparaît que le diamètre de la gaine de liquide choisi comme paramètre ajustable influe fortement sur les résultats du modèle. Cette approche doit être affinée afin de bien prendre en compte les particularités de ce type de colmatage.

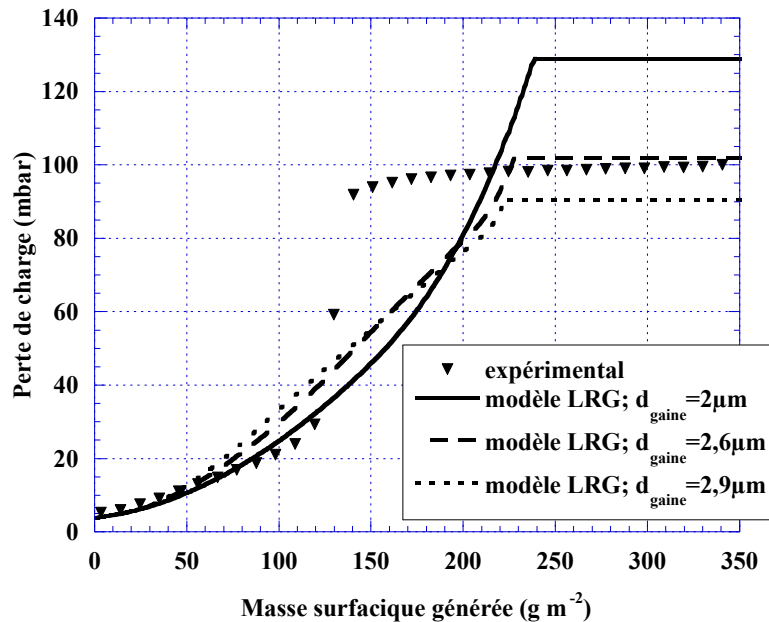


Figure 6 : Comparaison entre modèle et expérience, vitesse de filtration :  $5,8 \text{ cm.s}^{-1}$ , filtre THE

## CONCLUSION

Les travaux présentés ont permis dans un premier temps de mettre au point un scénario de colmatage des filtres à fibres par un aérosol liquide non volatil basé sur les évolutions de la perte de charge et de la perméance d'un filtre à fibres à Très Haute Efficacité lors de ce colmatage et sur des observations au microscope électronique à balayage. Les profils de perte de charge et de perméance obtenus lors de ces filtrations ont la particularité de présenter un palier à partir d'une certaine masse de liquide collectée et de croître dès le début du colmatage.

Ce palier de drainage constitue une phase clé du colmatage des filtres à fibres puisqu'il a été montré expérimentalement que des interruptions de la filtration à ce stade, accompagnée d'un balayage d'air propre à un débit supérieur au débit de filtration, pouvaient conduire à une réorganisation du liquide collecté au sein du filtre pour en réduire sa perte de charge.

L'étude de la filtration des mélanges d'aérosols solides et liquides a apporté de nouvelles questions sur la structure du dépôt formé et la part de chacun des aérosols sur le colmatage. Quoiqu'il en soit la perte de charge obtenue est toujours très supérieure à celle obtenue pour un liquide seul ou un solide seul.

Ces résultats ont permis de développer un modèle phénoménologique de l'évolution des performances des filtres à fibres à Très Haute Efficacité colmatés par un aérosol liquide. Les résultats sont prometteurs et pourraient certainement être améliorés en prenant par exemple en compte la distribution de tailles de fibres.

## REFERENCES

- [1] GOUGEON R., Filtration des aerosols liquides par les filtres à fibres en régime d'interception et d'inertie, Thèse de l'Université Paris XII, septembre 1994.
- [2] FRISING T., Etude de la filtration des aérosols liquides et des mélanges d'aérosols liquides et solides, Thèse de l'Institut nationale Polytechnique de Lorraine, Octobre 2004.
- [3] ROSATI J., LEITH D., RAYNOR O. C., Determinants of filter lifetimes, Filtration and Separation, (1999) , December 1999, 145-152
- [4] FRISING T., GUJISAITE V., THOMAS D., BEMER D., CONTAL P., LECLERC D., Filtration of solid and liquid aerosol mixtures: pressure drop evolution and influence of solid/liquid ratio, Filtration and Separation, (2004), march 2004, 37-39

