



HAL
open science

Etude du décolmatage pneumatique des dépoussiéreurs à manches

Xavier Simon, Dominique Thomas, Denis Bemer, Sandrine Chazelet, Roland
Regnier

► **To cite this version:**

Xavier Simon, Dominique Thomas, Denis Bemer, Sandrine Chazelet, Roland Regnier. Etude du décolmatage pneumatique des dépoussiéreurs à manches. 1ères Journées Filtration des Aérosols, Jun 2007, Nancy, France. pp.C6. hal-00874459

HAL Id: hal-00874459

<https://hal.science/hal-00874459>

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.

ETUDE DU DECOLMATAGE PNEUMATIQUE DES DEPOUSSIÉREURS A MANCHES

X. SIMON^{a,b}, D. THOMAS^b, D. BEMER^a, S. CHAZELET^b, R. REGNIER^a

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

(b) Nancy Université, LSGC/CNRS, BP 20451, 54001 Nancy cedex
e-mail : Dominique.Thomas@ensic.inpl-nancy.fr

Résumé. Le bon fonctionnement des dépoussiéreur à manches, en terme de dépenses énergétiques (perte de charge) et de respect des normes de rejet (concentrations en particules à l'aval), dépend grandement de la qualité du décolmatage pneumatique. Cette étape essentielle de la filtration sur medium fibreux permet la régénération périodique des éléments filtrants et conditionne les valeurs et les évolutions de nombreux paramètres essentiels tels que la perte de charge résiduelle, la durée des cycles, l'efficacité de filtration ou encore l'usure des manches. Un décolmatage pneumatique inadapté entraîne une dégradation des performances du système, dont la plus pénalisante d'un point de vue hygiène et environnement est le non-respect des valeurs limites réglementant les rejets particulaires. Cet article a pour objet de contribuer à une meilleure compréhension des conséquences d'un décolmatage pneumatique dans un dépoussiéreur.

Mots Clés. Filtration, Aérosols solides, Décolmatage pneumatique, Gâteau de particules.

INTRODUCTION ET PROBLEMATIQUE

Le dépoussiéreur à media filtrants est le système de filtration le plus utilisé dans l'industrie pour éliminer les particules solides présentes dans les effluents gazeux avant leur rejet dans l'atmosphère ou un recyclage dans les ateliers de travail. Il est constitué de media filtrants se présentant généralement sous la forme de manches ou de poches. Le fonctionnement cyclique des dépoussiéreurs consiste en une alternance de cycles de colmatage et de décolmatage. Le schéma d'un dépoussiéreur à manches est donné Figure 1.

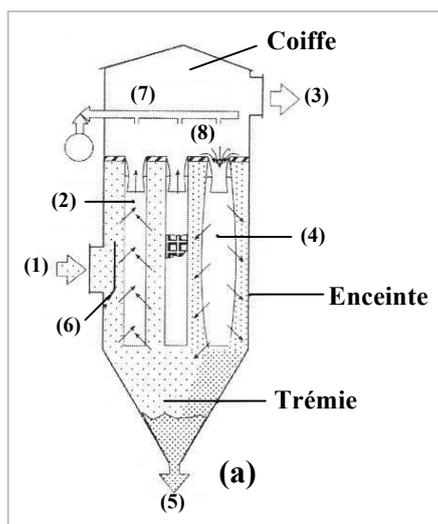


Figure 1 : Schéma d'un dépoussiéreur à media filtrants avec décolmatage pneumatique.

- | | |
|---|----------------------------|
| (1): Air + poussières | (2): Manche en colmatage |
| (3): Air dépoussiéré | (4): Manche en décolmatage |
| (5): Poussières sédimentées | (6): Déflecteur |
| (7): Rampe de distribution d'air comprimé | |
| (8): Injection d'air comprimé. | |

L'air chargé en poussières pénètre dans l'enceinte de filtration et rencontre généralement un déflecteur sur lequel s'impactent les plus grosses particules. L'air traverse les manches de l'extérieur vers l'intérieur. Pendant la phase de colmatage, les poussières sont retenues sur la surface externe des manches et s'accumulent sous forme d'une couche appelée gâteau de filtration. L'air filtré remonte à l'intérieur des manches et est évacué par la partie supérieure du caisson, la coiffe. La filtration d'air empoussiéré s'accompagne inévitablement d'une augmentation de la perte de charge consécutive à la formation du gâteau.

Les éléments filtrants doivent donc être périodiquement régénérés par décolmatage pour récupérer des propriétés aérauliques voisines de celles du filtre neuf. Le décolmatage permet de diminuer la résistance à l'écoulement et d'éviter de s'exposer à une chute du débit de filtration ou d'augmenter la consommation d'énergie pour maintenir le débit traité initial.

Parmi les procédés existants, le décolmatage pneumatique ou à-coup de pression d'air comprimé à contre-courant est largement utilisé. La possibilité de recourir à des vitesses de filtration

plus grandes (3 à 8 cm.s⁻¹ - diminution de la taille des installations), la mise en œuvre qui ne nécessite pas un arrêt du procédé de filtration (décolmatage « on-line ») et la présence en continue d'un gâteau de particules résiduel (maintien d'une efficacité de filtration minimum) sont des atouts majeurs. L'injection d'air comprimé à l'intérieur des manches, à contre-courant du sens de filtration et pendant un temps très court, provoque le détachement du gâteau de particules qui tombe sous forme d'agglomérats de différentes tailles dans la trémie constituant la partie basse de l'enceinte et qui sont ensuite évacués par une écluse rotative.

Le décolmatage est inévitable mais reste l'étape de la filtration sur media fibreux qui est la moins bien maîtrisée. Il conduit à une baisse de l'efficacité moyenne de filtration et peut également entraîner, à terme, une dégradation des éléments filtrants ou une augmentation trop importante de la perte de charge résiduelle. Seules les connaissances empiriques et l'expérience du terrain rassemblées par les constructeurs de dépoussiéreurs industriels permettent actuellement d'orienter les choix de techniques de filtration et de décolmatage pour une application donnée.

Ce document a pour vocation de présenter les sujets et non pas de les décrire de façon approfondie. Le lecteur est donc invité à consulter les articles indiqués en référence s'il veut s'informer de manière plus complète et plus détaillée sur les sujets abordés dans ce document.

ETUDE DES MECANISMES LIES AU DETACHEMENT DU GATEAU

On distingue les manches filtrantes avec ou sans anneaux. Les anneaux, cousus et répartis régulièrement sur la hauteur, confèrent aux manches une certaine rigidité qui évite leur écrasement lorsque l'air les traverse. Pour les manches sans anneaux, c'est une cage support métallique, glissée à l'intérieur de l'élément sur toute sa hauteur, qui assure son maintien en forme. Les travaux de la littérature sont exclusivement axés sur les manches bénéficiant d'une cage support ; ils montrent que les effets du décolmatage pneumatique proviennent d'une combinaison entre un choc brutal subit par le medium et une courte perméation d'air à contre-courant [1-3]. Un travail bibliographique [4] a mené à quelques constats et réflexions :

- les descriptions des mécanismes de détachement du gâteau sont parfois contradictoires, notamment concernant la participation et l'influence d'un flux d'air de décolmatage à contre-courant ;
- les bancs d'essais comportent généralement 1 à 3 éléments filtrants et ne sont donc pas représentatifs d'un dépoussiéreur industriel à media filtrants ;
- aucune information concernant le comportement de manches équipées d'anneaux de renfort n'existe, alors même que leur utilisation se généralise ;
- la grande variabilité rencontrée dans le matériel utilisé et dans les conditions opératoires employées conduit à de nombreux résultats, qui ne sont pas toujours comparables et qui ne permettent pas toujours de se forger une opinion claire sur les conséquences d'un décolmatage pneumatique.

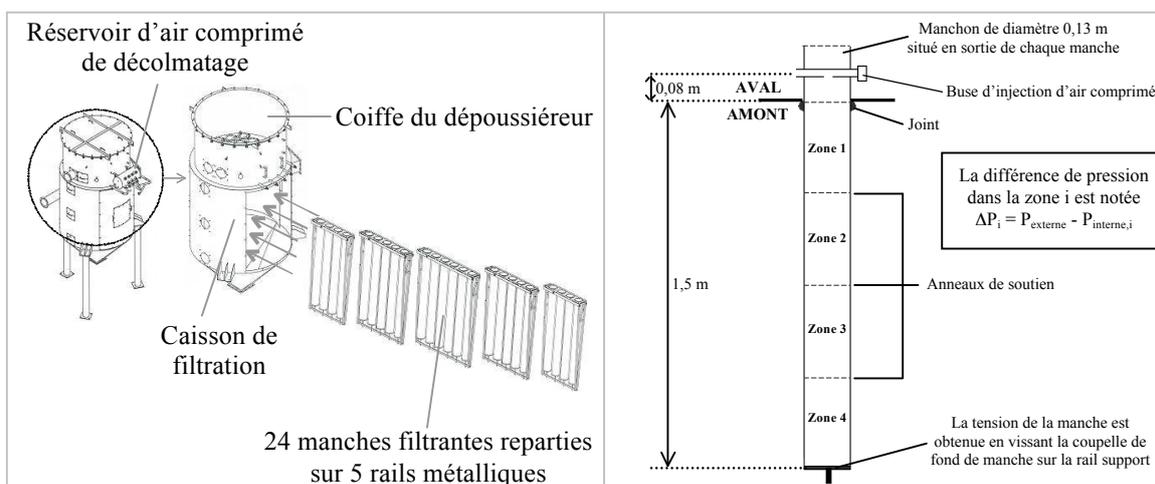


Figure 2 : Schémas du dépoussiéreur pilote et d'une manche filtrante avec sa buse de décolmatage pneumatique.

Suite à cet état des lieux, une étude visant à comprendre et identifier les mécanismes qui contribuent au détachement du gâteau de particules a été menée. Les essais se déroulent sur un dépoussiéreur pilote de taille industrielle, doté de 24 manches et spécialement équipé pour assurer le suivi des comportements mécaniques et aérauliques des éléments filtrants pendant un décolmatage pneumatique (Figure 2). Le dépoussiéreur pilote comporte à la fois les avantages d'un procédé de laboratoire (instrumentation, flexibilité, accessibilité) et d'un matériel industriel (représentativité, conditions opératoires réalistes), ce qui fait toute son originalité et son intérêt. Le lecteur pourra se référer à d'autres publications [4,5] pour une description plus complète du banc d'essais.

Les conséquences d'un décolmatage sont appréciées par différents capteurs qui équipent certaines manches filtrantes et qui permettent de mesurer les grandeurs suivantes en quatre points sur la hauteur : perte de charge, accélération du medium, vitesse d'air sur l'axe intérieur de la manche et vitesse d'air frontale au niveau de la surface filtrante.

A titre d'exemples, des résultats obtenus à partir de ces capteurs sont fournis sur la Figure 3 ; ces essais ont été réalisés dans des conditions opératoires représentatives de conditions industrielles.

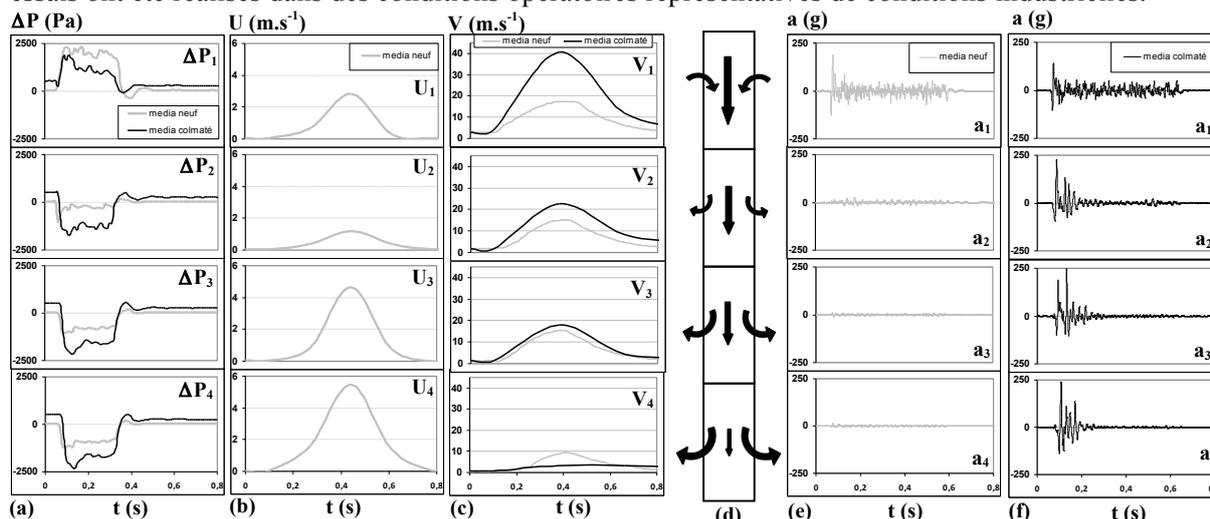


Figure 3 : Profils de perte de charge ($\Delta P_i - a$), de vitesse frontale ($U_i - b$), de vitesse axiale ($V_i - c$) et d'accélération du medium ($a_i - e$ et f) le long d'une manche filtrante pendant un décolmatage pneumatique en fonction de l'état de colmatage (media colmaté = après 200 cycles, $\Delta P_{max} = 10 \cdot \Delta P_0$, $U_f = 5$ cm/s). Synthèse du comportement aéraulique enregistré sur une manche pendant un décolmatage pneumatique (d).

L'à-coup de pression entraîne pour une manche neuve une dépression importante ($P_{externe} > P_{interne,1}$ d'où un $\Delta P > 0$) dans le premier quart supérieur (au plus près de la buse) (Figure 3a). Cela induit dans la zone 1 une aspiration brutale d'air vers l'intérieur de la manche (Figure 3d). Ce phénomène est lié à l'entraînement d'air par induction à proximité immédiate de l'orifice de la buse d'injection. Le jet d'air en phase d'expansion dans le quart supérieur de la manche provoque une aspiration d'air propre, émanant de l'aval du filtre via la coiffe, mais également d'air empoussiéré de l'enceinte du dépoussiéreur. Une inversion de pression s'opère ensuite dans le deuxième quart supérieur de la manche. Sur le reste de la hauteur de la manche, on observe une surpression intérieure dominante et des pics négatifs pour ΔP_3 et ΔP_4 . Pour le medium colmaté, les courbes sont similaires à celles relatives à la manche neuve. Cependant, la valeur de dépression en haut de manche est moins grande et les valeurs de surpression en bas de manches sont beaucoup plus importantes, comparativement à la manche neuve. La valeur de la surpression intérieure s'accroît au fur et à mesure que l'on se rapproche du fond de la manche. Le phénomène de surpression est accentué dans la zone 4 par la réflexion de l'air de décolmatage sur la coupelle métallique du fond de la manche [2].

La Figure 3b représente l'évolution du profil de vitesse frontale en 4 points le long d'une manche filtrante neuve lors d'un à-coup de pression à contre-courant. Le jet d'air crée une aspiration d'air empoussiéré et provoque une brutale augmentation de la vitesse de l'air, U_1 , dans le sens de filtration pour la partie supérieure du medium (cf. Figure 3d - déduction provenant de la dépression enregistrée dans cette zone lors de l'enregistrement de ΔP_1). Cette vitesse frontale passe brutalement de 0,05 m.s⁻¹ à environ 2,8 m.s⁻¹ pendant la durée d'injection de l'air comprimé. Il s'opère ensuite une inversion du sens de la vitesse U entre le haut et le bas de la manche. Les pics observés pour les signaux U_2, U_3 et

U_4 atteignent des valeurs de plus en plus importantes au fur et à mesure que l'on se rapproche du bas de la manche et correspondent à une augmentation de la vitesse d'air à contre-courant. Sur cet exemple, les vitesses maximales des zones 3 et 4 sont supérieures à 4 m.s^{-1} soit 80 fois U_f . Il est donc légitime de penser qu'elles joueront un rôle non négligeable dans le décolmatage du gâteau de particules en bas de la manche. Ces observations concordent avec les résultats d'autres auteurs [6] qui concluent que la vitesse de perméation de l'air comprimé de décolmatage à travers la surface propre du medium est comprise entre 10 et 100 fois la vitesse de filtration.

Les vitesses locales axiales, V , ont des allures identiques pour une manche neuve ou colmatée (Figure 3c). La vitesse V_1 du jet d'air comprimé atteint des valeurs élevées en partie haute de la manche : près de 20 m.s^{-1} pour un medium neuf et plus de 40 m.s^{-1} pour une manche colmatée. La vitesse verticale chute le long de son trajet à l'intérieur de la manche et de son éloignement de la buse d'injection, pour atteindre des vitesses inférieures à 10 m.s^{-1} pour la position de mesure la plus basse.

Les Figures 3e et 3f représentent les évolutions temporelles de l'accélération du medium à l'état neuf (e) et à l'état colmaté (f) en fonction de la hauteur sur la manche. Pour un medium neuf, les plus fortes accélérations sont enregistrées dans la zone 1, au plus près de la buse. Dans cette zone, les valeurs d'accélération maximale du medium atteignent plus de 180 g. Sur le reste de la manche, les accélérations restent faibles et ne conduisent pas à un mouvement du medium. Les signaux d'accélération du medium à l'état colmaté sont très différents du comportement du medium neuf. De fortes accélérations sont enregistrées sur l'ensemble de la hauteur de la manche. Chaque début de signal est similaire quel que soit le point de mesure considéré : le medium subit d'abord une accélération centripète de valeur maximale proche de 100 g avant d'être très soudainement soumis à une accélération centrifuge de valeur maximale supérieure à 150 voir 200 g.

L'allure du signal d'accélération a_1 est différente de celles des trois autres zones du medium (Figures 3e et 3f). L'accélération ne s'amortit pas au bout de 200 ms mais perdure environ trois fois plus longtemps (perturbations de $\pm 50 \text{ g}$), jusqu'à la fin de la durée d'action du jet. Ce résultat indique que dans la zone la plus proche du point d'injection de l'air de décolmatage, le medium est soumis à des forces de tension particulièrement importantes. L'observation de la surface du filtre dans cette zone révèle que le medium subit une action de secouage intense pendant environ 600 ms, qui sollicite ses forces d'élasticité et de flexibilité. D'autres auteurs avaient déjà effectué ce constat [6,7].

Les effets du colmatage sur ΔP et a sont importants. Ils changent profondément le comportement de la manche lors de l'envoi d'un à-coup de pression d'air comprimé à contre-courant. Ces différences peuvent provenir de la prise de masse du medium (colmatage interne) et de son changement de porosité, et donc de ses propriétés mécaniques, durant sa mise en régime pendant plus de 200 cycles. L'observation régulière du medium au cours des cycles de filtration a permis de s'assurer qu'aucun mouvement du medium en bas de manche n'était effectif au cours des premiers cycles, même pendant le décolmatage. Le phénomène d'accélération est apparu progressivement sur l'ensemble de la hauteur de la manche pour finalement atteindre des valeurs maximales supérieures à 200 g pour les quatre zones étudiées.

L'analyse du profil de masse surfacique du medium à l'état décolmaté a permis de confirmer les résultats obtenus concernant les zones d'action des mécanismes de décolmatage : le medium semble être nettoyé plus efficacement dans les parties haute et basse de la manche. C'est en effet dans ces zones que les mécanismes de décolmatage sont les plus influents.

Le lecteur intéressé par un approfondissement de ce sujet et par les influences de différents paramètres opératoires sur les performances de décolmatage de manches filtrantes peut se référer à un article plus complet de l'auteur [5].

ETUDE DES BOUFFEES DE CONCENTRATION EN PARTICULES EMISES A L'AVAL

Le fonctionnement des dépoussiéreurs à media filtrants repose sur un effet d'auto-filtration des particules, c'est-à-dire que la filtration des poussières s'effectue par elle-même sur un support qui est le filtre. Le détachement du gâteau lors du décolmatage doit donc être suffisamment important pour faire baisser la perte de charge mais il ne doit pas être total afin de préserver les bénéfices sur l'efficacité de filtration de la présence de cette couche de particules.

La concentration en particules à l'aval est le principal indicateur des performances d'un dépoussiéreur à media filtrants. Grâce à elle, il est possible de calculer l'efficacité de filtration d'une installation ou de s'assurer de la conformité des rejets particulaires aux regards des normes en vigueur. Par exemple, depuis le 1^{er} juillet 2005, la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP - valeur réglementaire) en présence d'aérosol de bois est fixée en France à 1 mg.m^{-3} pour la fraction inhalable (au lieu de 5 mg.m^{-3} dans le passé). Pour atteindre cette valeur, il est recommandé que la concentration dans les conduits de recyclage de l'air à l'aval du dispositif de dépoussiérage soit inférieure au cinquième de la valeur limite soit $0,2 \text{ mg.m}^{-3}$. Ces nouvelles dispositions concernant la VLEP nécessitent un contrôle strict des performances des installations.

L'évolution de la concentration mesurée à l'aval au cours des cycles a été étudiée sur le dépoussiéreur à manches pilote. Il est conçu de manière à pouvoir effectuer des cycles de colmatage par des aérosols solides microniques (aérosols d'alumine, de bois ...) et décolmatage par à-coup de pression à contre-courant. Les évolutions de la perte de charge et de la concentration en particules à l'aval au cours des cycles sont enregistrées, respectivement, par des capteurs de pression différentielle et un compteur optique (Grimm® 1.108, 15 canaux de $0,3$ à $20 \mu\text{m}$).

De brutales augmentations de la concentration numérique en particules à l'aval apparaissent juste après chaque décolmatage. Plusieurs mécanismes, qui ont fait l'objet d'une description détaillée par ailleurs [4,8], sont à l'origine de la formation de ces pics de concentration. Ces pics traduisent notamment la brutale chute de l'efficacité de filtration lorsque le gâteau de filtration est décroché. On note également la diminution progressive de la concentration à l'aval au cours d'un colmatage, lorsque le gâteau se constitue, jusqu'à atteindre des valeurs basses pour lesquelles l'efficacité de filtration est proche de 100 %. Rapidement au cours d'un cycle, le medium fibreux ne joue plus qu'un rôle de support au gâteau de filtration qui devient le principal collecteur de particules.

Les résultats de nos nombreuses mesures montrent que les particules retrouvées à l'aval, notamment celles qui composent les bouffées, possèdent une répartition granulométrique bien plus fines que les particules sources provenant de l'amont. Dans le cas d'un recyclage de l'air, ce constat se traduit par la réintroduction d'un grand nombre de particules de petites tailles ($< 0,5 \mu\text{m}$) dans le local de travail pour lesquelles les effets sur la santé sont encore indéterminés. Les normes en vigueur, basées sur un calcul massique, peuvent donc parfois être respectées tout en relevant d'importantes concentrations numériques en particules submicroniques.

Solutions pour réduire les bouffées de concentration en particules

Selon les auteurs, 60 à 90 % des émissions particulaires mesurées à l'aval des dépoussiéreurs à manches proviennent de la contamination issue du décolmatage. Concernant les essais menés sur le dépoussiéreur pilote, il apparaît qu'environ 35 à 70 % (suivant les conditions opératoires) de la concentration massique mesurée à l'aval provient de la seule phase de décolmatage. Au regard de ces chiffres, il ne fait aucun doute que la réduction de la concentration en particules à l'aval passe par la réduction de l'émission particulaire émise au cours des décolmatages. Techniquement, il existe deux possibilités pour réduire les bouffées de particules dans le cas d'un recyclage de l'air :

- Evacuer les bouffées vers l'extérieur, en basculant automatiquement de la position recyclage de l'air vers la position rejet extérieur au moment de chaque décolmatage (système Rotocyclair, breveté par la société Disa-Cattinair).

- Remplacer les media moyenne efficacité dont sont habituellement dotés les dépoussiéreurs par des media dont l'efficacité initiale est très supérieure. Plus efficace à l'état décolmaté et moins enclin au colmatage interne, ces media permettraient certainement de réduire considérablement l'émission particulaire consécutive au décolmatage. Cependant leur coût élevé et la fragilité de certaines membranes font qu'ils sont assez peu employés dans le domaine du dépoussiérage.

Influence du traitement de surface du medium sur les performances du dépoussiéreur

Pour vérifier les bénéfices réels que pourrait apporter un autre medium filtrant, un medium réputé plus performant (medium EM) a été testé et comparé à un medium filtrant couramment utilisé dans le milieu du bois (medium CT). Ces travaux avaient pour objectif de déterminer si l'un ou l'autre de ces deux media présentait des capacités de filtration significativement plus intéressantes à la fois du point

de vue de la réduction des bouffées de concentrations en particules consécutives aux décolmatages mais également en terme de concentration moyenne en particules au cours des cycles.

Les performances du medium EM ont été déterminées pendant 200 cycles de filtration. Les évolutions de la perte de charge du medium et des concentrations numérique et massique à l'aval au cours des cycles ont été analysées et comparées aux performances du medium CT, testé dans les mêmes conditions.

Les valeurs de concentration massique relative aux bouffées sont plus importantes pour le medium CT que celles correspondant au medium EM. Le medium EM est donc être plus performant pour réduire les bouffées de particules consécutives aux décolmatages pneumatiques. On peut supposer d'une part que son traitement de surface par enduction microporeuse limite considérablement la migration interne des particules (limitation du passage de particules vers l'aval par des mécanismes de relargage des particules piégées en profondeur). D'autre part, le medium EM possède une efficacité propre plus grande que le medium CT et il s'expose moins aux passages directs de particules en l'absence du gâteau.

Les valeurs moyennes de l'émission particulaire à l'aval pour le medium CT sont inférieures à $0,25 \text{ mg.m}^{-3}$. Pour ce medium, les valeurs de concentration massique moyenne en particules de bois dans l'air recyclé, calculées sur plusieurs cycles de colmatage et de décolmatage, sont donc proches ou inférieures à la limite de $0,2 \text{ mg.m}^{-3}$ recommandée dans les conduits de recyclage. Malgré la dégradation significative de l'efficacité de filtration lors des phases de décolmatage, causée par la brutale émission de particules sous forme de bouffées, les concentrations massiques moyennes, intégrant plusieurs cycles, restent faibles pour le medium en fibres de polyester non tissées avec traitement de surface par calandrage thermique. Le medium EM montre des valeurs de concentration massique moyenne en particules de bois dans l'air recyclé à la fois très inférieures à $0,2 \text{ mg.m}^{-3}$ et 25 à 32 fois inférieures aux valeurs obtenues avec le medium CT. Quels que soient le medium considéré ou les conditions opératoires utilisées, les pics de concentrations dans le conduit aval intervenant après chaque décolmatage dépassent systématiquement la valeur recommandée de $0,2 \text{ mg.m}^{-3}$. Les valeurs, correspondant aux seules bouffées, obtenus pour le medium EM sont entre 4 et 7 fois plus faibles.

En terme de performances de filtration, le medium EM est significativement plus intéressant que le medium CT sur la base de ces essais. Il possède des caractéristiques intéressantes en vue de réduire les émissions particulaires à l'aval des dépoussiéreurs à décolmatage pneumatique. Un suivi des performances du medium EM sur une longue durée doit débiter prochainement sur un dépoussiéreur industriel. Les deux questions suivantes seront au cœur des investigations : Les bonnes performances du medium EM subsistent-elles après de nombreuses heures de fonctionnement ? Son coût 2 fois plus élevé en moyenne que celui du medium CT se justifie-t-il d'un point de vue prévention et qualité de l'air dans les ateliers de travail fonctionnant en mode recyclage ?

Facteurs aggravants pour l'augmentation de la concentration en particules à l'aval

Outre une augmentation de la concentration particulaire mesurée à l'aval qui peut être engendrée par des défauts d'étanchéité dans les dépoussiéreurs (ou bien sûr par des fissures ou déchirures dans les manches filtrantes), les travaux pointent d'autres facteurs aggravants :

- L'effet d'induction d'air qui se produit en haut de manche lors du décolmatage lorsque la buse d'injection de l'air comprimé est trop rapprochée de l'ouverture de la manche (Figure 3d).

La zone supérieure de la manche, du fait de sa proximité avec la buse d'injection, est caractérisée par un comportement très différent du reste de la manche (Figure 3). Les contraintes imposées au medium dans cette zone, couplées à une importante augmentation de la vitesse de filtration, est certainement la cause d'une forte émission particulaire à l'aval des éléments filtrants. En effet, toutes les conditions sont réunies ici pour faciliter le passage de particules vers l'aval : une fragilisation importante des forces d'adhésion des particules, couplée à une augmentation de la probabilité d'entraînement des particules vers l'aval du fait de l'augmentation de la vitesse d'air. L'augmentation de la vitesse de filtration est clairement identifiée comme un facteur d'augmentation de la concentration en particules à l'aval [9,10]. Pour éviter ce phénomène à la fois néfaste pour la qualité de l'air à l'aval et l'usure des manches, la buse d'injection devrait systématiquement être éloignée de la partie supérieure de la manche [11].

- Les premières manches décolmatées lors d'une séquence de décolmatage sont, pendant une période de temps plus ou moins longue, soumises à des vitesses d'air transitoires beaucoup plus grandes que la valeur moyenne de la vitesse de filtration. Nos études ont permis d'établir la manière dont se répartit le débit total filtré sur les 24 manches du dépoussiéreur pilote au cours des cycles de colmatage et de décolmatage [4,12]. Il apparaît que les vitesses transitoires peuvent atteindre des valeurs de plus de deux fois la vitesse de filtration usuelle mesurée pendant le colmatage (du fait de la différence de résistance aéraulique qui se crée entre les manches déjà décolmatées et les manches encore colmatées). Pour les mêmes raisons que celles décrites précédemment, ces fortes vitesses transitoires participent donc activement au passage de particules vers l'aval et contribuent à l'augmentation de la concentration en particules, notamment pendant le temps d'existence des bouffées.

CONCLUSIONS

L'objectif de cette étude était de collecter de nouveaux éléments concernant le décolmatage pneumatique des manches filtrantes des dépoussiéreurs. Pour ce faire, un dépoussiéreur pilote a été spécialement conçu et équipé afin de mener un grand nombre d'essais expérimentaux.

Les essais menés sur les mécanismes liés au détachement du gâteau ont permis de mieux comprendre les effets que provoque l'à-coup de pression d'air comprimé et d'identifier les zones où le décolmatage est le plus efficace. L'à-coup brutal provoqué par l'injection de l'air comprimé conduit à un mouvement initial de la manche caractérisé par de hautes valeurs d'accélération sur l'ensemble de la hauteur de la manche. Ce mouvement initial du medium correspond à une première contraction du medium vers l'intérieur suivi d'une brutale éjection vers l'extérieur. Il provoque les valeurs maximales d'accélération et conduit au décrochement du gâteau de particules en surface. Les mécanismes de propagations de ce mouvement ne sont pas encore parfaitement déterminés. Il existe ensuite deux autres phénomènes qui participent au nettoyage de la manche : un effet de secouage en haut de la manche du fait de la proximité de l'injection de l'air comprimé et un effet de flux à contre-courant dans la moitié inférieure de la manche provoquée par l'importante surpression en bas de manche. Le colmatage interne de la structure fibreuse du medium et de la présence du gâteau en surface des manches sont importantes. Les changements de porosité et de propriétés physiques du medium qu'ils induisent, modifient profondément le comportement de la manche pendant le décolmatage et provoque des modifications dans la réponse d'une manche colmatée par rapport à une manche neuve.

Ces essais sont les premiers à être menés sur des manches dotés d'anneaux de renfort. Au regard des profils identiques de masse surfacique obtenus à l'état décolmaté, il semble que le fait de remplacer les cages internes métalliques par des anneaux de renfort pour éviter l'écrasement des manches pendant le colmatage ne change pas fondamentalement les conséquences du décolmatage.

Ces nombreux résultats constituent un solide apport de connaissances des phénomènes liés au décolmatage pneumatique. Les essais ont été menés sur un dépoussiéreur de taille industrielle, avec des conditions opératoires tout à fait représentatives de ce que l'on peut trouver en entreprise. Cependant, il est à noter que les résultats de ces expériences dépendent grandement des media filtrants testés et des conditions expérimentales employées. Les phénomènes qui ont été décrit et les valeurs numériques qui ont été mentionnées peuvent être différents pour d'autres conditions.

Une brutale augmentation de concentration à l'aval est enregistrée consécutivement à chaque décolmatage pneumatique des manches d'un dépoussiéreur. Le recyclage de l'air s'accompagne également d'une réintroduction dans le local de travail de particules bien plus fines que les poussières sources à l'amont. Ce constat soulève donc une interrogation quant aux effets de ce type de particules sur la santé humaine et sur leur prise en considération dans le domaine de l'hygiène et de sécurité. La nature et la taille des particules sont des facteurs importants et l'efficacité du medium reste décisive au début du fonctionnement de l'installation comme après de nombreux cycles. Les media à moyenne efficacité, classiquement utilisés en dépoussiérage dans le secteur du bois par exemple, ont une trop faible efficacité de filtration propre pour pouvoir être performants en présence exclusive de fines particules ($d_p < 10 \mu\text{m}$ environ). Le colmatage interne joue un rôle particulièrement important dans l'émission de particules vers l'aval. C'est en effet lui qui conditionne en grande partie l'efficacité de collecte du medium à l'état décolmaté et la migration des particules au sein des fibres.

Les mesures de concentration en particules à l'aval des dépoussiéreurs étudiés montrent des valeurs faibles pour les poussières de bois, en grande majorité inférieures à la limite recommandée ($< 0,2 \text{ mg.m}^{-3}$). Aucune des installations étudiées ne présente de dysfonctionnement significatif. Cependant, les valeurs se trouvent très souvent à la limite de la valeur recommandée de $0,2 \text{ mg.m}^{-3}$; cette situation ne tolère alors aucune dérive telle qu'une augmentation de la production de poussières dans l'usine ou que le vieillissement des éléments filtrants. Néanmoins, sur certaines installations et lors du décolmatage, des pics de concentration dépassent systématiquement la valeur recommandée. De plus, des dégradations de la qualité de l'air recyclé au cours d'une journée de travail peuvent apparaître. Elles proviennent d'une augmentation temporaire de l'activité de l'entreprise et sont généralement associées au démarrage de machines qui génèrent de grosses quantités de poussières.

La diversité des conditions opératoires dans lesquelles le fonctionnement d'un dépoussiéreur semble conduire à des valeurs de concentrations satisfaisantes est grande. Dans ces conditions, il paraît délicat d'établir des recommandations sur les paramètres d'utilisation visant à optimiser le fonctionnement des dépoussiéreurs. Toutefois, les essais de laboratoire issus du dépoussiéreur pilote à manches semblent indiquer qu'il est préférable de travailler à des pertes de charge maximales élevées et à des pressions de décolmatage faibles. Cette configuration se justifie d'ailleurs car elle est susceptible d'apporter un bon compromis entre une fréquence de décolmatage des manches relativement faible et un bon maintien d'une filtration par le gâteau de particules. La vitesse de filtration doit toujours être la plus faible possible, en tenant bien sûr compte d'autres impératifs tels que les coûts financiers liés à la taille du dépoussiéreur et la vitesse d'entraînement des poussières en conduit. Ces recommandations, à compter même qu'elles puissent être considérées comme telles, ne sont valables que pour le dépoussiéreur pilote et pour les conditions dans lesquelles il a été testé.

Des facteurs aggravants pour l'émission particulaire ont été identifiés : une mauvaise étanchéité entre les compartiments amont et aval, les vitesses transitoires qui traversent les premières manches à être décolmatées lors d'une séquence de décolmatage et l'effet d'induction d'air qui se produit en haut de manche lors du décolmatage lorsque la buse d'injection de l'air comprimé est trop rapprochée de l'ouverture de la manche. Ces nouveaux éléments devront sans doute être considérés avec attention dans l'avenir car ils constituent certainement une voie d'amélioration pour réduire l'émission particulaire.

REFERENCES

- [1] LU H.C. et TSAI C.J., Influence of design and operation parameters on bag-cleaning performance of pulse-jet baghouse, *Journal of environmental engineering*, New York, 125, 6, pp. 583 – 591, (1999).
- [2] SIEVERT J. et LÖFFLER F., Dust dislodgement in pulse-jet fabric filters, *First World Congress on particle technology*, Part IV, Nurnburg, West Germany, pp. 111 – 126, (16 – 18 Avril 1986).
- [3] MORRIS W.J., Cleaning mechanisms in pulse jet fabric filters, *Filtration and Separation*, 21, 1, pp. 50–54, (1984).
- [4] SIMON X., Etude du décolmatage pneumatique des dépoussiéreurs à manches, Thèse INPL, (2005).
- [5] SIMON X., THOMAS D., BEMER D., CALLE S., REGNIER R. et CONTAL P., Influence of cleaning parameters on pulse-jet filter bags performances, *Powder Technology*, 172, 2, pp. 67 – 81, (2007).
- [6] KLIMCZACK W.J. et APPLEWHITE G., Optimize pulse-jet dust collector performance, *Chemical Engineering Progress*, 93, 8, pp. 56 – 61, (1997).
- [7] LU H.C. et TSAI C.J., A pilot-scale study of the design and operation parameters of a pulse-jet baghouse, *Aerosol science and technology*, 29, 6, pp. 510 – 524, (1998).
- [8] SIMON X., BEMER D., CALLE S., THOMAS D. et REGNIER R., Description of the particle puff emitted downstream of different dust separators consecutive to pulse-jet cleaning, *Filtration*, 5, 1, pp. 52 – 61, (2005).
- [9] DENNIS R. et WILDER J.E., Fabric filter cleaning studies; National Environmental Research Center, Report EPA 650/2-75-009, (1975).
- [10] TRAUB D.A., How to prevent dust leaks in a reverse pulsing dust collector?, *Powder and bulk engineering*, 14, 10, pp. 59 – 65, (2000).
- [11] LU H.C. et TSAI C.J., Numerical and experimental study of cleaning process of a pulse-jet fabric filtration system, *Environmental science and technology*, 30, 11, pp. 3243 – 3249, (1996).
- [12] SIMON X., CHAZELET S., THOMAS D., BEMER D. et REGNIER R., Filtered air flow distribution in pulse-jet baghouse dust collector during clogging and cleaning cycles, 5th European Meeting on Chemical Industry and Environment, Vienne, pp. 513 – 521, (2006).