



Influence de l'humidité sur les performances de collecte de particules submicrométriques d'un filtre à manche

Rachid Boudhan, Aurélie Joubert, Kamal Gueraoui, Laurence Le Coq

► To cite this version:

Rachid Boudhan, Aurélie Joubert, Kamal Gueraoui, Laurence Le Coq. Influence de l'humidité sur les performances de collecte de particules submicrométriques d'un filtre à manche. Congrès Français sur les Aérosols, Jan 2018, Paris, France. 10.25576/ASFERA-CFA2018-12578 . hal-01937336

HAL Id: hal-01937336

<https://imt-atlantique.hal.science/hal-01937336>

Submitted on 20 Aug 2019

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.

INFLUENCE DE L'HUMIDITE SUR LES PERFORMANCES DE COLLECTE DE PARTICULES SUBMICROMETRIQUES D'UN FILTRE A MANCHE

R. Boudhan^{*1,2}, A. Joubert¹, K. Gueraoui², L. Le Coq¹

¹IMT Atlantique, GEPEA, CNRS, UMR 6144, 4 rue A. Kastler, BP 20722, 44307, Nantes cedex 03, France.

²Faculté des Sciences de Rabat, 4 Avenue Ibn Battouta, B.P. 1014 RP, Rabat, Maroc.

*rachid.boudhan@imt-atlantique.fr

TITLE

Influence of humidity on the filtration performance of submicronized particles by bag filter

ABSTRACT

Filtration performance of pulse-jet bag filters implemented in flue gas treatment of waste incineration plant was studied at laboratory scale in order to evaluate the influence of humidity during clogging/unclogging cycles. Several cycles of clogging/unclogging with on-line cleaning were done with submicronic particles with a nanosized fraction at the operating conditions as similar as possible to those found in flue gas treatment of waste incineration plants (150°C – 3% RH) and in dry conditions (150°C - 0% RH).

The experimental results revealed a significant influence of humidity on the filtration performance mainly due to capillary condensation, namely faster increase of bag filter pressure drop, lower efficiency of particulate cake dislodgment and better collection efficiency of particles between 110 and 300 nm.

RESUME

Les performances de filtration des filtres à manche mis en œuvre dans les lignes de traitement des fumées d'incinération de déchets ont été étudiées à l'échelle du laboratoire afin d'évaluer l'influence de l'humidité. Plusieurs cycles de colmatage et décolmatage ont été réalisés à l'aide d'un aérosol représentatif des émissions d'incinération de nanodéchets, d'une part pour des conditions opératoires représentatives de celles rencontrées dans les lignes de traitement des fumées d'incinération (150°C- 3% HR) et d'autre part en conditions d'air sec (150°C- 0% HR).

Les résultats expérimentaux ont montré une influence significative de la présence d'humidité sur les performances de filtration principalement en raison de la condensation capillaire, à savoir une augmentation plus rapide de la perte de charge du filtre, un décolmatage moins efficace du gâteau de particules et une efficacité de collecte des particules entre 110 et 300nm plus importante.

KEYWORDS: bag filter, clogging/unclogging cycles, submicronic and nanosized particles, capillary condensation / **MOTS-CLÉS :** filtre à manche, cycles colmatage/décolmatage, particules submicroniques et nanométriques, condensation capillaire

1. INTRODUCTION

Il n'existe à ce jour aucune réglementation française ou européenne sur la gestion des nanomatériaux manufacturés, que ce soit au niveau de la fabrication, de l'usage ou de la fin de vie. De tels produits ou nano-déchets peuvent se retrouver en unités d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) réservées aux déchets ménagers et assimilés. Les nanoparticules sont pourtant responsables de problèmes sanitaires et environnementaux. En effet, des études toxicologiques démontrent clairement que leur très petite taille est un élément clé au niveau de la toxicité, en particulier les particules non ou peu solubles (Ostiguy *et al*, 2006). C'est pourquoi une attention particulière est portée sur le traitement des fumées d'incinération, en particulier sur l'efficacité des filtres à manches, éléments clefs des lignes de traitement des fumées par voie sèche dédiés à l'abatement des particules.

Le Bihan *et al* (2014) ont quantifié les performances de collecte de nanoparticules d'une manche filtrante de laboratoire en conditions représentatives de ligne de traitement des fumées d'incinération, mais des incertitudes demeurent quant à l'influence de paramètres opératoires tels que le taux d'humidité dans les gaz.

Il existe des études dans la littérature sur l'influence de l'humidité de l'air sur les performances de filtration de médias en géométrie plane ou plissée pour des températures ambiantes. Selon les auteurs (Gupta *et al*, 1993 ; Miguel, 2003 ; Joubert *et al*, 2010), la présence de vapeur dans l'air conduirait à une diminution de la résistance du gâteau de particules à l'écoulement d'air, d'autant plus significative pour des particules hygroscopiques submicrométriques, et pas d'influence sur l'efficacité de collecte de particules nanométriques (Kim *et al*, 2006). Néanmoins, il n'existe à notre connaissance

pas d'étude réalisée sur l'influence de l'humidité sur les performances de filtres à manches en conditions opératoires rencontrées sur les lignes de traitement des fumées d'incinération de déchets (150 à 200°C et teneur en eau de 10-12%) et vis-à-vis de particules nanométriques (aérosol de combustion).

Cette étude s'intéresse aux performances de filtration des filtres à manches mis en œuvre dans les lignes de traitement des fumées d'incinération. L'objectif est d'étudier au laboratoire l'influence des conditions opératoires, et plus précisément la teneur en eau dans les fumées d'incinération, sur les performances des filtres, afin notamment d'aider à l'élaboration de préconisations techniques.

2. MATERIEL ET METHODES

L'unité pilote de filtration utilisée, décrite par Boudhan *et al.* (2017), permet d'étudier les performances de filtration d'une manche filtrante de taille réduite (hauteur 440 mm, diamètre 150 mm) au cours de cycles de colmatage/décolmatage par des aérosols en maîtrisant la température (jusqu'à 150°C) et l'humidité de l'air. Les performances du filtre à manche ont été étudiées à une vitesse de filtration représentative des lignes de traitement des fumées d'incinération de 1,9 cm/s durant 10 cycles successifs de colmatage/décolmatage pour deux conditions opératoires, à savoir (150°C - 0% HR) et (150°C - 3% HR) soit une teneur en eau respectivement de 0 et environ 100 g d'eau/kg d'air sec. La perte de charge maximale du filtre avant décolmatage a été fixée à 150 Pa pour chaque cycle. L'étude se concentre sur les performances de filtration au début de la durée de vie du filtre, avant stabilisation de la perte de charge résiduelle du filtre résultant des précédents cycles de filtration.

La manche filtrante testée, constituée de fibres de Téflon (polytétrafluoroéthylène PTFE) a été réalisée à partir d'une manche industrielle lavée, en cours de vie, et fournie par l'entreprise Trédi. Les paramètres structuraux sont : porosité de 0,64, épaisseur de 1,21 mm et diamètre modal de fibres de 19,5 μm .

Un aérosol représentatif d'une fumée d'incinération a été généré en amont de la manche filtrante (générateur DNP-2000, Palas, électrodes de carbone). La distribution granulométrique et la concentration numérique de l'aérosol ont été déterminées en ajustant les caractéristiques du générateur afin d'être représentatif de la fumée obtenue durant l'incinération d'un déchet composé de noir de carbone dans un four pilote d'incinération (projet NANOFlueGas, Le Bihan *et al.*, 2014). Les distributions granulométriques des particules de carbone exprimées en nombre, déterminées par mesures SMPS (Grimm) en amont de la manche filtrante pour les deux conditions opératoires étudiées (150°C - 0% HR) et (150°C - 3% HR), présentent respectivement un diamètre médian de mobilité électrique de 45 et 51 nm.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Influence de l'humidité sur l'évolution de la perte de charge

Les évolutions de la perte de charge du filtre à manche en fonction du temps sont présentées sur la Figure 1 pendant les 10 cycles de filtration pour les 2 conditions opératoires.

Les résultats indiquent tout d'abord que quelles que soient les conditions d'humidité, la durée de colmatage par cycle diminue au cours du temps et la perte de charge résiduelle de filtre (perte de charge résultant des cycles de filtration précédents) augmente graduellement. Cela s'explique par un décolmatage non complet du gâteau de particules à la surface du filtre et par conséquent une accumulation du gâteau résiduel au cours des cycles de filtration.

Les résultats révèlent également que l'évolution de la perte de charge en condition humide (100 g d'eau/kg d'air sec) est plus rapide qu'en condition d'air sec. Cela peut s'expliquer par la formation d'un gâteau de particules plus résistant à l'écoulement d'air, avec donc une porosité du gâteau de particules qui diminuerait lorsque le colmatage se fait en présence d'humidité. En effet, la présence d'humidité dans l'air conduit à une condensation capillaire entre les particules qui augmente les forces d'adhésion entre les particules. La baisse de la porosité du gâteau de particules en présence d'humidité s'explique donc par la formation d'un dépôt plus compact en raison des forces capillaires, mais également la possible formation de ponts liquides entre les particules en conditions importantes d'humidité (100 g d'eau/kg d'air sec et surtout une pression de vapeur $>10^4$ Pa contre environ 10^3 Pa à 20°C et 50% HR) (Feng and Yu, 1998 ; Butt and Kappl, 2009).

L'augmentation plus rapide de la perte de charge résiduelle du filtre pour les cycles de colmatage/décolmatage en présence d'humidité peut s'expliquer par une moins bonne efficacité de

détachement du gâteau de particules par rétro-soufflage en raison de l'augmentation des forces d'adhésion des particules due aux forces capillaires.

Ces résultats diffèrent de ceux observés dans la littérature mais pour des conditions opératoires différentes (Gupta *et al*, 1993; Miguel, 2003 ; Joubert *et al*, 2010). Cela révèle vraisemblablement l'importance de la teneur en eau de l'air (bien plus importante dans notre étude) sur son influence sur les performances de filtration, ainsi que de la taille des particules ici majoritairement nanométriques.

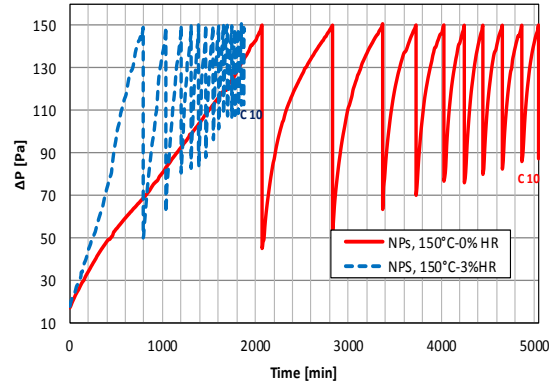


Figure 1. Influence de l'humidité de l'air sur l'évolution de la perte de charge du filtre à manche au cours des cycles de colmatage/décolmatage à 150°C

3.2 Influence de l'humidité sur l'efficacité de collecte des particules

La Figure 2 présente les évolutions en conditions d'air humide (150°C - 3% HR) et sec (150°C - 0% HR) de l'efficacité fractionnelle de collecte des particules en fonction de leur diamètre, pour 3 valeurs de nombre de particules collectées durant le premier cycle de colmatage/décolmatage.

Deux gammes de diamètre de particule peuvent être distinguées dans la Figure 2. Tout d'abord, pour les particules de 16 à 100 nm de diamètre, il n'y a pas de différence significative de l'efficacité de filtration observée pour les deux conditions d'humidité. Ces résultats sont en cohérence avec ceux de Kim *et al* (2006) obtenus avec un filtre en fibres de verre et des particules de 3 à 70 nm. Deuxièmement, pour les particules submicroniques entre 110 et 300 nm, une efficacité de filtration supérieure est rapportée pour les essais en présence d'humidité et pour les nombres de particules collectés égaux à 10^{14} et $3.5 \cdot 10^{14}$. Pour cette taille de particules, la collecte se fait principalement par les mécanismes d'interception et d'impaction inertielle. L'influence de l'humidité sur l'efficacité de collecte des particules peut ainsi s'expliquer par l'effet de la condensation capillaire sur les particules transportées dans l'air humide, conduisant à une augmentation de leur masse volumique apparente et donc une augmentation de l'efficacité de collecte par le mécanisme d'impaction inertielle.

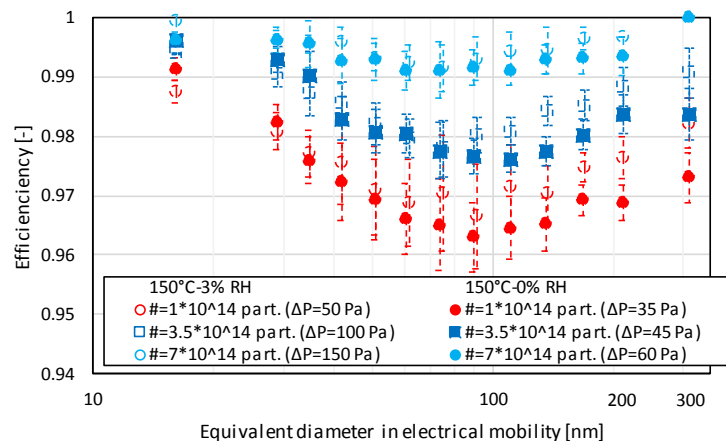


Figure 2. Influence de l'humidité sur l'efficacité fractionnelle de collecte des particules en fonction de leur diamètre et pour 3 valeurs de nombre de particules collectées durant le premier cycle de colmatage/décolmatage

CONCLUSIONS

Les performances de filtration d'un filtre à manche vis-à-vis de particules submicroniques et nanométriques ont été évaluées à l'échelle du laboratoire durant plusieurs cycles de colmatage/décolmatage. Le filtre à manche opérait d'une part en conditions réalistes, représentatives de celles rencontrées dans les lignes de traitement des fumées d'incinération de déchets en termes de température (150°C), vitesse de filtration (1,9 cm.s⁻¹) et d'humidité (3% HR) et d'autre part en condition d'air sec (150°C – 0% HR).

Les principaux résultats de cette étude sont : 1) augmentation plus rapide de la perte de charge du filtre à manche en présence d'humidité (150°C – 3% HR) qu'en conditions d'air sec (150°C – 0% HR), 2) influence significative de l'humidité de l'air sur la résistance à l'écoulement d'air du gâteau de particules due à l'augmentation des forces d'adhésion entre les particules et à la condensation capillaire en présence d'humidité (150°C – 3% HR soit environ 100 g d'eau par kg d'air sec), 3) augmentation de l'efficacité de collecte des particules de 110-300 nm en présence d'humidité expliquée par une augmentation de leur masse volumique apparente dans l'air humide par condensation capillaire.

REMERCIEMENTS

Un remerciement spécial est exprimé à l'entreprise Trédi, pour le soutien financier et les échanges scientifiques et techniques au cours de ce projet de recherche, ainsi qu'au programme Partenariat Hubert Curien «TOUBKAL» pour son soutien financier.

REFERENCES

- Boudhan, R., Joubert, A., Gueraoui, K., Durécu, S., Venditti, D., Tran, D.T., Le Coq, L. (2017) Pulse-Jet Bag Filter Performances for Treatment of Submicronic and Nanosized Particles from Waste Incineration, Waste and Biomass Valorization. 1-7.
- Butt, H.J., Kappl, M. (2009) Normal capillary forces. *Advances in Colloid and Interface Science*, (146):48-60.
- Feng, C.L., Yu, A.B. (1998). Effect of Liquid Addition on the Packing of Mono-Sized Coarse Spheres, *Powder Technol.* 99(22)–28.
- Gupta, A., Novick, V. J., Biswas, P., Monson, P. R. (1993) Effect of Humidity and Particle Hygroscopicity on the Mass Loading Capacity of High Efficiency Particulate Air (HEPA) Filter, *Aerosol Sci. Tech.* 19(94)–107.
- Joubert, A., Laborde, J. C., Bouilloux, L., Callé-Chazelet, S., & Thomas, D. (2010) Influence of humidity on clogging of flat and pleated HEPA filters, *Aerosol Science and Technology*, 44(12), 1065-76.
- Kim, C., Bao, L., Okuyama, K., Shimada, M., & Niinuma, H. (2006) Filtration efficiency of a fibrous filter for nanoparticles. *Journal of Nanoparticle Research*, 8 (2), 215-21.
- Le Bihan, O., Durécu, S., Venditti, D., Meunier, T., Joubert, A., Le Coq, L (2014). Caractérisation et réduction des émissions particulaires issues des déchets contenant des matériaux manufacturés. Rapport Ademe Cortea NANOFlueGas, 22 juillet 2014.
- Miguel, A.F. (2003) Effect of Air Humidity on the Evolution of Permeability and Performance of a Fibrous Filter during Loading with Hygroscopic and Non-Hygroscopic Particles. *Journal of Aerosol Science*, 34(6), 783-99.
- Ostiguy, C., Lapointe, G., Trottier, M., Ménard, L., Cloutier, Y. (2006). Les effets à la santé reliés aux nanoparticules, rapport IRSST, Montréal.