

MODÉLISATION DU COLMATAGE DES FILTRES PLISSÉS THE

Youssef Alilou^{1,2,3}, Soleiman Bourrous¹, Thomas Gélain¹, Nathalie Bardin-Monnier^{2,3}, Dominique Thomas^{2,3}

¹ Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN), PSN-RES, SCA, Gif-Sur-Yvette, 91192, France

² CNRS, Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (LRGP), UMR 7274, F-54000, Nancy, France

³ Université de Lorraine, Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (LRGP), UMR 7274, F-54000, Nancy, France

Courriel de l'orateur : youssef.alilou@irsn.fr

TITLE

Modelling of the HEPA pleated filters clogging

ABSTRACT

During clogging, the structure of the cake build-up on the filter surface determines the evolution of its pressure drop. In the present work, numerical simulation of HEPA filters clogging with poly-disperse particles have been carried out with the GeoDict® software at the pleat scale. In the simulated cake, an apparition of dendrites all along the pleat cake has been observed inducing an important increase of pressure drop. A pressure drop model has been developed taking into account the loss of filtration surface derived from simulation. Comparisons between the numerical results and experimental data have been realized.

RESUME

Au cours du colmatage, la structure du dépôt formé au sein d'un filtre conditionne l'évolution de sa perte de charge. Dans le présent travail, des simulations numériques de colmatage de filtres plissés THE par des particules poly-dispersées ont été réalisées en utilisant le code de calcul GeoDict®. Dans le dépôt ainsi simulé, la formation de dendrites est observée le long du pli, ce qui engendre une obstruction prématurée de ce dernier et augmente la perte de charge du filtre. Une comparaison avec des résultats expérimentaux a été réalisée. Un modèle de perte de charge a été développé en prenant en compte la perte de surface de filtration déduite des simulations numériques réalisées.

KEYWORDS: HEPA filters, clogging, pressure drop, modelling

MOTS-CLÉS: Filtres THE, colmatage, perte de charge, modélisation

1. INTRODUCTION

Au cours du colmatage à faible vitesse de filtration, la perte de charge d'un filtre plissé THE augmente rapidement (Mocho et Ouf, 2011). Bourrous (2015) a mis en évidence, selon une approche expérimentale, l'apparition de dendrites en entrée de pli engendrant une obstruction de ce dernier et conduisant à une augmentation rapide de la perte charge. D'autres travaux numériques (Fotovati et al. 2011) ont montré la possible occurrence d'un tel phénomène.

L'objectif de ce travail est de simuler, à l'aide du code de calcul GeoDict®, la formation du dépôt de particules au sein d'un filtre plissé THE et l'évolution de la perte de charge du filtre. Les résultats numériques sont dans un premier temps comparés à des résultats expérimentaux, puis utilisés dans un second temps pour évaluer la valeur d'un paramètre de porosité intervenant dans le modèle de colmatage proposé.

2. SIMULATION DU COLMATAGE AU SEIN D'UN FILTRE PLISSÉ THE

2.1. Mise en place de la simulation GeoDict®

Les différents paramètres d'entrée de la simulation sont listés dans le tableau 1. La distribution granulométrique des particules est celle de l'aérosol d'alumine utilisé lors des essais de colmatage (figure 1a). La porosité du dépôt formé par ces particules a été mesurée expérimentalement pour différentes vitesses de filtration et implémentée dans le logiciel. L'évolution de la porosité en fonction du nombre de Stokes est tracée sur la figure 1b.

Tableau 1 : paramètres d'entrée de la simulation numérique

Hauteur du pli	19 mm	Taille du Voxel	10 µm
Pas du pli	2,5 mm	Modèle d'écoulement	Stokes Brinkmann
Angle d'ouverture du pli	4,7°	Particules par batch	1000
Porosité du medium	92 %	Résistance aéraulique des Voxels poreux	Modèle d'Endo
Perméabilité du medium	$1,19 \cdot 10^{-12} m^2$	Modèle de collision	Caught at first touch

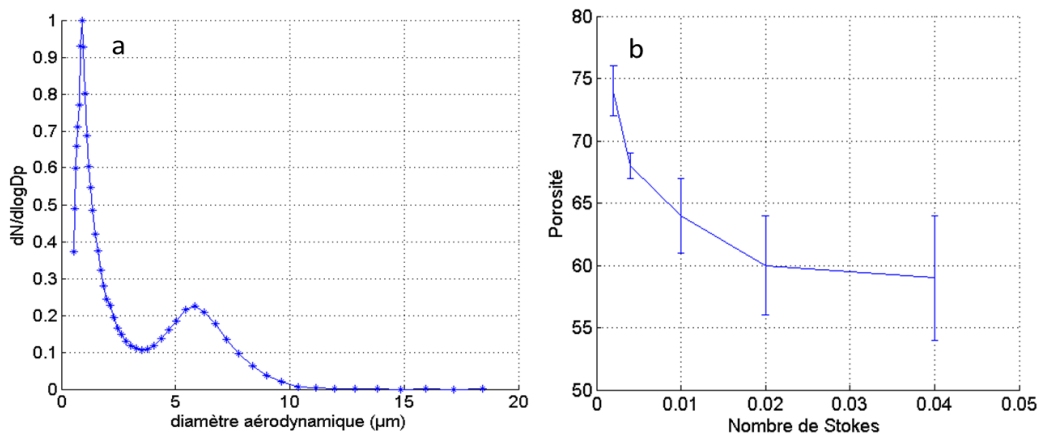


Figure 1 : Distribution granulométrique des particules d'alumine utilisée dans la simulation numérique (a). Évolution de la porosité du dépôt de ces particules en fonction du nombre de Stokes (b)

2.2. Résultats

La figure 2 présente l'évolution de la perte de charge simulée par le code de calcul GeoDict®, comparée aux résultats expérimentaux obtenus dans les mêmes conditions.

Comme attendu, l'évolution de la perte de charge est plus importante pour les faibles vitesses de filtration (faible nombre de Stokes), compte tenu de la porosité du dépôt de particules qui est plus grande. En effet, pour les faibles vitesses de filtration, une même masse d'aérosols déposés occupe un volume plus important dans le pli du filtre et conduit à une réduction plus rapide de la surface effective de filtration. De même, la structure du dépôt peut contenir des espaces vides augmentant le volume apparent du dépôt et occasionnant par conséquent une réduction supplémentaire de la surface de filtration. Ce dernier point est mis en évidence sur la figure 3 par la formation de « dendrites » tout le long du pli, dont la distribution dépend de la vitesse moyenne de filtration.

La figure 2 montre un assez bon accord entre l'expérience et la simulation en début de colmatage. Cependant, à partir d'une certaine masse surfacique de particules collectées ($\sim 225 \text{ g/m}^2$ à $0,2 \text{ cm/s}$ et $\sim 265 \text{ g/m}^2$ à $1,78 \text{ cm/s}$), les évolutions de perte de charge expérimentales et numériques divergent. L'écart constaté peut être imputé à une éventuelle réorganisation du dépôt au cours du colmatage, non prise en compte dans la simulation. En effet, l'augmentation de la taille des dendrites les fragilise et peut conduire à un arrachement partiel de ces dernières. Des fragments de dendrites peuvent ainsi être entraînés au fond du pli et limiter la réduction de la surface de filtration (Bourrous, 2015).

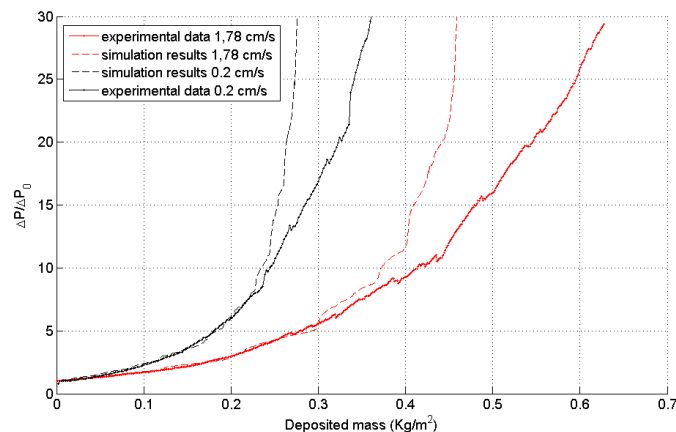


Figure 2 : Evolution de la perte de charge du pli simulée par GeoDict® en fonction de la masse déposée sur le filtre

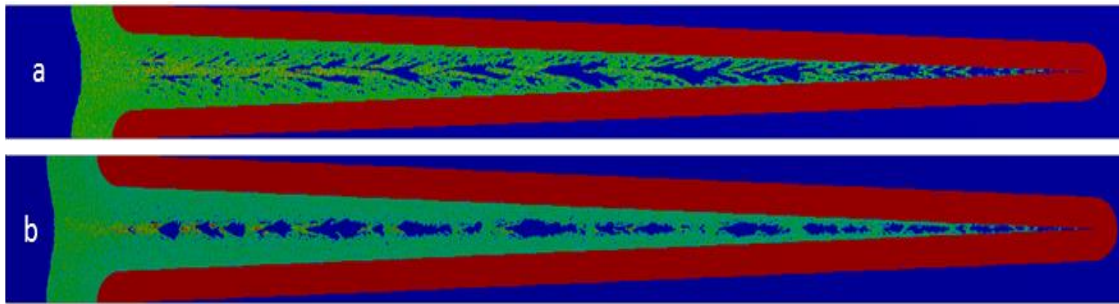


Figure 3 : Forme du dépôt simulé (en vert le dépôt de particules et en rouge le medium filtrant) avec GeoDict® au sein d'un pli de filtre THE, à la fin de la simulation numérique, pour une vitesse de filtration de 2 cm/s (a) et de 0,2 cm/s (b)

3. MODÉLISATION DE LA PERTE DE CHARGE

En raison des temps de calcul importants liés à la simulation numérique, une deuxième approche a été envisagée pour prédire l'évolution de la perte de charge d'un filtre plissé au cours du colmatage. Dans un premier temps toutefois, le modèle de perte de charge ne prendra pas en compte le réentraînement des dendrites, l'objectif étant ici de reproduire les résultats issus de la simulation numérique.

3.1. Développement du modèle

La méthode utilisée pour la modélisation du colmatage repose sur une discrétisation du dépôt en couches contenant une masse dm et ayant une porosité ε (figure 4). La perte de charge du gâteau formant la couche i (ΔP_{ig}) est modélisée en suivant le modèle de Endo (1982).

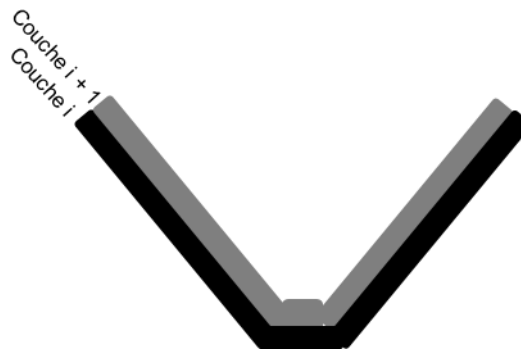


Figure 4 : Discrétisation du dépôt en couches au sein du pli

À cette perte de charge du gâteau s'ajoute une perte de charge due au plissage du média ΔP_{if} modélisée dans le cadre de travaux antérieurs (publication à venir). Elle dépend également de la géométrie du dépôt. La perte de charge de la couche i s'exprime donc par :

$$\Delta P_i = \Delta P_{ig} + \Delta P_{if}$$

Les simulations numériques ont montré que le dépôt ne se formait pas de manière homogène à la surface du filtre (figure 3). Afin de prendre en compte l'hétérogénéité du dépôt, une porosité macroscopique δ est introduite dans le modèle. Elle représente le taux de vide dans le pli dû à la formation des dendrites et dépend de la vitesse de filtration (Figure 5).

$$\delta = \frac{\text{volume de vide dans le dépôt}}{\text{volume total du dépôt}} = \frac{V_a}{V_a + V_p}$$

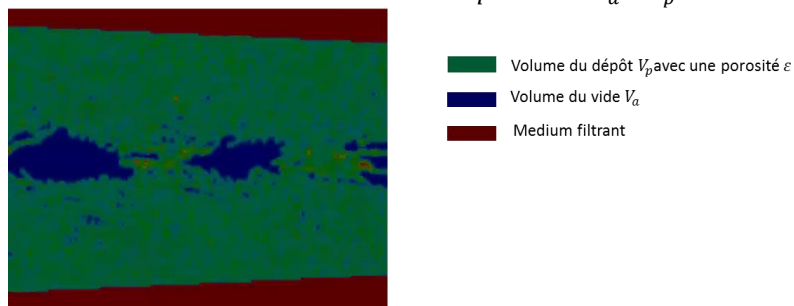


Figure 5 : Schéma expliquant la différence entre les deux porosités

La porosité macroscopique δ est évaluée à partir des simulations numériques. Dans cette étude, la porosité macroscopique est considérée constante et égale à sa valeur une fois le pli rempli. Cette hypothèse n'influence pas le point de colmatage du pli (la masse nécessaire pour le remplissage du pli). Le tableau 2 montre l'évolution de ce paramètre ainsi que la porosité du dépôt mesurée expérimentalement, en fonction de la vitesse moyenne de filtration. Contrairement à la porosité du dépôt ε , la porosité macroscopique δ augmente avec l'élévation de la vitesse de filtration.

Tableau 2 : évolution de la porosité macroscopique et de la porosité du dépôt en fonction de la vitesse de filtration

Vitesse de filtration	Porosité macroscopique δ	Porosité du dépôt ε
0,2 cm/s	36,7 %	72,9 %
1 cm/s	47,7 %	64,3 %
2 cm/s	51,3 %	60,9 %

Pour chaque couche i contenant la masse dm , l'épaisseur du dépôt est calculée en prenant en compte la porosité macroscopique. La perte de charge globale du filtre est obtenue en sommant la perte de charge de chacune des couches i .

3.2. Résultats et comparaisons

Le modèle décrit dans le paragraphe précédent a été appliqué à un filtre THE plissé pour deux vitesses de filtration différentes (0,2 cm/s et 2 cm/s). La figure 6 représente l'évolution de la perte de charge issue du modèle comparée à celle issue de GeoDict®. Le modèle ne reproduit pas finement les résultats simulés, surtout pour la vitesse de filtration la plus élevée : au début du colmatage, la perte de charge modélisée évolue modérément par rapport à celle issue de la simulation numérique. Cette évolution était attendue du fait de la prise en compte d'une porosité macroscopique constante et égale à sa valeur finale (lorsque le pli est rempli). En effet, les simulations numériques ont montré que l'influence de ce paramètre est plus sensible en début de colmatage. Ce modèle constitue néanmoins une assez bonne approximation du point de colmatage du pli correspondant à la masse surfacique des particules collectées conduisant à une forte évolution de la perte de charge (Tableau 3).

Tableau 3 : comparaison de la masse surfacique des particules collectées entre les valeurs numériques et issues du modèle du point de colmatage pour deux vitesses de filtration

Vitesse de filtration	Valeur issue du modèle	Valeur issue de la simulation numérique
2 cm/s	327 g/m ²	333 g/m ²
0,2 cm/s	269 g/m ²	266 g/m ²

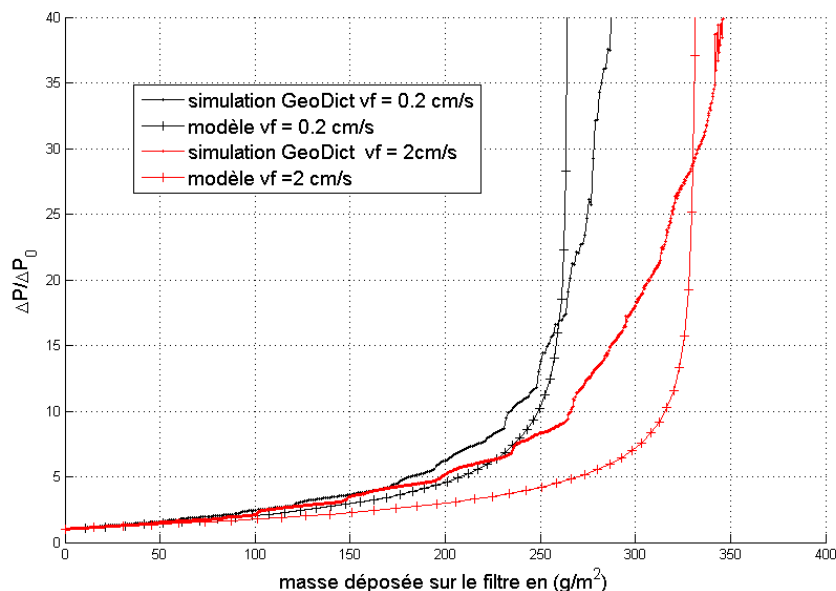


Figure 6 : comparaison du modèle avec les résultats issus de la simulation numérique pour deux vitesses de filtration différentes (0,2 cm/s et 2 cm/s)

4. CONCLUSION

La formation du dépôt de particules sur un filtre plissé THE a été simulée en utilisant le code de calcul GeoDict®. Les simulations numériques ont mis en évidence l'apparition de dendrites sur la surface du

medium filtrant, expliquant en partie l'évolution rapide de la perte de charge d'un filtre plissé. Une comparaison avec des résultats expérimentaux a montré que la simulation numérique surestime les valeurs expérimentales, ce qui est probablement lié à une réorganisation du dépôt au cours du temps. La perte de surface induite par les dendrites a été prise en compte dans un modèle de colmatage à travers une porosité macroscopique. Le modèle développé, bien que sous estimant l'évolution de la perte de charge en début de colmatage, donne une bonne approximation du point de colmatage.

5. REMERCIEMENTS

Ce travail a été mené dans le cadre du programme de recherche LIMA liant l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) et le Laboratoire de Réactions et Génie des Procédés (LRGP, UMR CNRS et Université de Lorraine), et en collaboration avec Math2Market.

6. RÉFÉRENCES

Fotovati, S., Hosseini, S. A., Vahedi Tafreshi, H., & Pourdeyhimi, B. Modeling instantaneous pressure drop of pleated thin filter media during dust loading. *Chemical Engineering Science*, 66(18), 4036–4046 (2011)

Bourrous S. Etude du colmatage des filtres THE plans et à petits plis par des agrégats de nanoparticules simulant un aérosol de combustion. Thèse de doctorat (2015)

Mocho V.-M., Ouf F.-X. Nuclear Engineering Design, Clogging of industrial pleated high efficiency particulate air (HEPA) filters in the event of fire 241, 1785-1794 (2011)