

## Étude de cas

# ASPIRATEURS DE CHANTIER : ÉVOLUTION DES PERFORMANCES EN COURS D'UTILISATION

AUDREY  
SANTANDREA,  
DENIS BÉMER  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
procédés

→ **LA PROBLÉMATIQUE :** Lors d'opérations produisant des poussières, l'utilisation d'aspirateurs industriels dits de « chantier » est courante [1]. La norme NF EN 60335-2-69 [2] permet de classer ces systèmes de filtration (média et/ou aspirateur) selon les valeurs limites d'exposition professionnelle (ou les valeurs seuils) pour les poussières<sup>1</sup>. Pour les opérations produisant des poussières susceptibles de contenir des substances toxiques, cancérogènes, l'utilisation d'appareils de classe H est exigée. Cependant, des retours d'utilisateurs et de fabricants indiquent que les appareils de classe H seraient sujets à un colmatage trop rapide qui conduirait à une diminution importante du débit d'aspiration, dégradant ainsi l'efficacité de captage des poussières. Certains fabricants incitent alors à l'utilisation de filtres de classe M, moins résistants à l'écoulement de l'air, pour limiter les effets du colmatage et augmenter l'autonomie des batteries des appareils portatifs.

Afin d'évaluer les performances des aspirateurs de chantier au cours de leur utilisation, l'INRS a conduit une étude expérimentale visant à suivre l'évolution du débit d'aspiration lors de plusieurs cycles de colmatage par de la poussière de dolomie, représentative de la granulométrie des poussières émises par des opérations de travail de la pierre. Deux modèles d'aspirateurs ont été étudiés en alimentation filaire, chacun en classe M (moyenne efficacité) et en classe H (haute efficacité), ainsi qu'un modèle de classe M fonctionnant sur batterie. Cet article présente les résultats obtenus concernant l'efficacité de filtration et de vitesse de colmatage. Les effets du décolmatage et de la préfiltration sont également discutés.

### → LA RÉPONSE DE L'INRS

#### Aspirateurs testés

Deux modèles d'aspirateurs de chantier, commercialisés par deux fabricants différents notés A1 et A2, classés M et H selon la norme NF EN 60335-2-69 [2], ont été étudiés. Un modèle de l'aspirateur A2 de classe M fonctionnant sur

batterie a également été testé. Chaque appareil est constitué d'un bloc-moteur (alimenté sur secteur ou sur batterie), d'un sac de récupération de poussières (filtrant ou non), et d'un filtre terminal qui constitue l'élément principal de filtration. Les filtres terminaux<sup>2</sup> sont constitués de petits filtres en polyester plissés en panneaux et développent une surface de filtration quasi similaire pour tous les modèles, comprise entre 4 700 cm<sup>2</sup> et 5 000 cm<sup>2</sup>. Pour un modèle donné, les caractéristiques techniques du bloc-moteur sont similaires, la principale différence entre les classes M et H venant du filtre terminal et éventuellement du sac filtrant s'il existe. Les deux modèles d'aspirateurs sont munis d'un système de décolmatage automatique par injection d'air pulsé à travers le filtre, qui se déclenche lorsque la puissance électrique atteint un certain seuil (non renseigné par le fabricant). Par la suite, les impulsions d'air sont générées de manière régulière. La fonction de décolmatage automatique de l'aspirateur A2 sur batterie se déclenche dès le démarrage de l'appareil. Il est également possible de réaliser un décolmatage manuel en bouchant l'entrée de l'aspirateur, ce qui provoque un à-coup de pression beaucoup plus puissant que lors du décolmatage automatique. Ce type de décolmatage est notamment recommandé dans la notice du modèle A2 pour nettoyer le filtre principal. Bien qu'il ne soit pas mentionné par le fabricant A1, ce type de décolmatage a été utilisé sur les deux modèles.

#### Méthode de caractérisation des aspirateurs

L'évaluation des performances des aspirateurs sur le terrain est difficile à mettre en place en raison de contraintes techniques. En effet, intégrer un dispositif de mesure dans le circuit d'aspiration impliquerait des modifications qui altéreraient le fonctionnement normal de l'aspirateur. À l'inverse, préserver le fonctionnement de l'appareil exposerait les instruments de mesure de débit à de grandes quantités de poussières, compromettant leur fiabilité et leur bon fonctionnement.

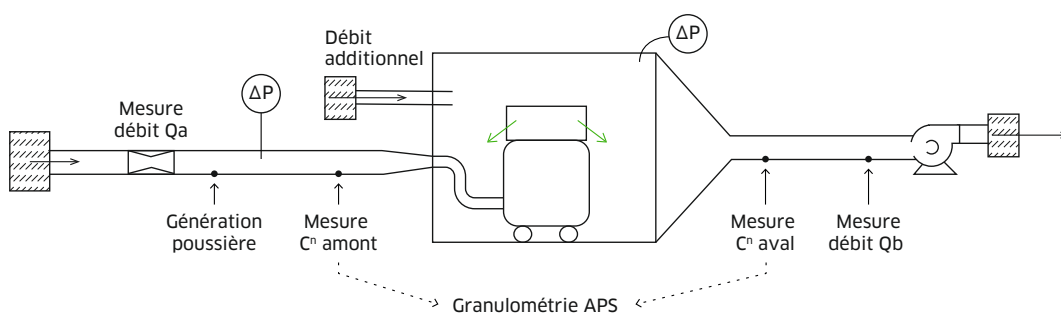


© Vincent Nguyen pour l'INRS/2023

Nettoyage des huisseries à l'aide d'un aspirateur à filtration de classe H sur un chantier de rénovation d'un bâtiment ancien comportant des peintures au plomb.

Face à ces limitations, un banc d'essai de laboratoire a été spécialement conçu pour mesurer l'efficacité de filtration des aspirateurs en conditions contrôlées (Cf. Figure 1). L'air aspiré est filtré en entrée du banc au moyen d'un filtre HEPA et le débit d'entrée mesuré en continu au moyen d'un système Venturi (D 80/32 mm). Un ventilateur muni d'un variateur de débit aspire l'air de la cabine, de manière à obtenir une pression relative nulle ( $\pm 2$  Pa) dans l'enceinte. L'entrée de l'aspirateur est connectée à l'entrée de la cabine, aspirant les poussières générées. Ce dispositif permet de générer et d'envoyer des quantités maîtrisées de poussière de dolomie pour colmater progressivement les aspirateurs testés, reproduisant ainsi les conditions rencontrées

sur un chantier. La poussière de dolomie utilisée présente un diamètre moyen aérodynamique en nombre de  $1 \mu\text{m}$  et un écart-type géométrique de 1,53. Lors des essais, la puissance des aspirateurs a été réglée au maximum, conduisant à un débit d'aspiration initial d'environ  $170 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Lors de chaque essai, l'efficacité de filtration de l'aspirateur a été déterminée. Le colmatage d'un filtre augmentant l'efficacité de filtration de celui-ci, seule l'efficacité initiale des aspirateurs a été mesurée afin de se placer dans les conditions d'utilisation les plus défavorables en matière de prévention. Pour cela, la concentration dans l'air en amont et en aval de l'aspirateur a été mesurée à l'aide d'un spectromètre APS (TSI) pour des diamètres de par-

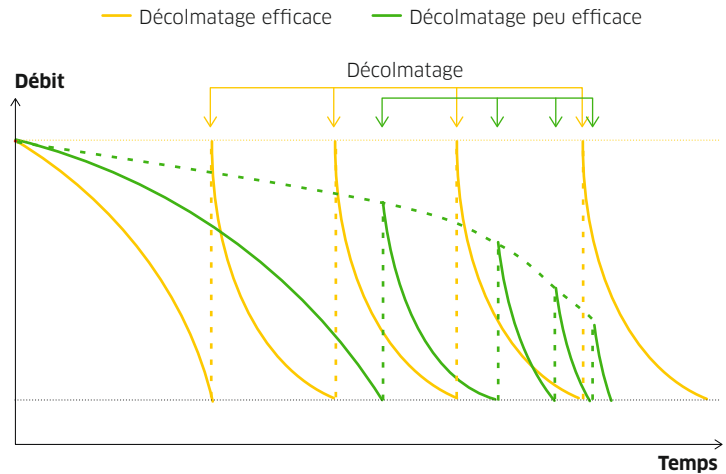


← FIGURE 1 Schéma du banc de mesure de débit d'aspiration et d'efficacité de filtration des aspirateurs industriels. →

ENCADRÉ

**COLMATAGE ET DÉCOLMATAGE DE FILTRES À PARTICULES**

Les performances d'un filtre sont généralement caractérisées par sa perte de charge (différence de pression statique entre l'amont et l'aval du filtre) et son efficacité de filtration initiale (rapport de la différence entre les concentrations amont et aval sur la concentration amont). Au cours de la filtration de particules solides, un gâteau de particules se forme progressivement à la surface du filtre, modifiant ses performances. Cela se traduit par une augmentation de l'efficacité de filtration, mais également par une résistance accrue au passage de l'air, diminuant ainsi le débit d'air traité. Afin de limiter le colmatage, il est nécessaire de procéder au décolmatage régulier du filtre. Cette opération, effectuée par génération d'à-coups de pression à contre-courant, permet de détacher la couche de particules du média. Un décolmatage efficace se traduit par une restauration totale du débit et une durée stable d'un cycle de colmatage. À l'inverse, le décolmatage est peu efficace lorsque le débit n'est que partiellement restauré et tend à diminuer au cours des cycles, qui ont alors une durée de plus en plus courte.



*En savoir plus :*

BÉMER D. ET AL. – Filtration des aérosols : performances des médias filtrants [3].  
 BÉMER D. ET AL. – Performances des médias filtrants utilisés en dépoussiérage industriel : méthode de test [4].

ticules de 0,5 µm à 20 µm, répartis sur 50 canaux. Pour chaque diamètre de particules  $d_i$ , l'efficacité de filtration de l'aspirateur  $E_i$  est calculée comme suit :

$$E_i = 1 - \frac{C_{s,i}}{C_{e,i}}$$

Où  $C_{e,i}$  désigne la concentration en entrée de l'aspirateur (amont) ; et  $C_{s,i}$  la concentration en sortie de l'aspirateur (aval), corrigée du bruit de fond.

À la suite de la mesure d'efficacité initiale de l'aspirateur, jusqu'à dix cycles de colmatage et de décolmatage ont été réalisés :

- la phase de colmatage consiste à générer de la dolomie en plus grande quantité dans le banc afin de colmater l'aspirateur. La fonction de décolmatage automatique des aspirateurs est activée dès le démarrage de l'appareil, afin d'évaluer son efficacité dans les conditions expérimentales. L'aspirateur continue de fonctionner jusqu'à ce que le colmatage atteigne un seuil critique, se traduisant par une forte augmentation de la fréquence des à-coups de pression dus au décolmatage automatique, indiquant une importante difficulté d'aspiration ;
- la phase de décolmatage manuel consiste à boucher manuellement l'entrée de l'aspirateur lors de son fonctionnement, ce qui génère un puissant à-coup de pression.

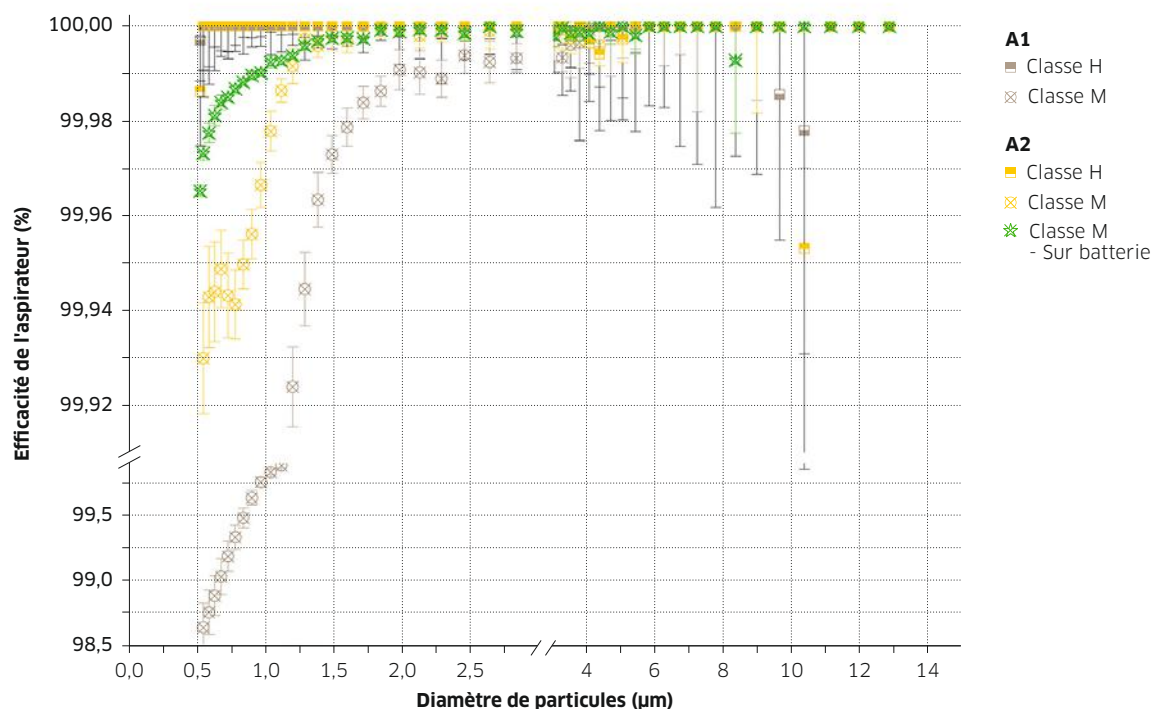
Chaque cycle comprend ainsi une phase de diminution du débit due au colmatage du filtre terminal, suivie d'une phase de régénération par décolmatage manuel, rétablissant partiellement ou totalement le débit d'aspiration (Cf. Encadré). Le débit massique moyen de poussières collectées au cours des dix cycles a été déterminé par pesées initiale et finale du sac et du filtre terminal. L'objectif de ces essais de répétition de cycles de colmatage/décolmatage était d'étudier leur stabilité au cours du temps, et d'évaluer la restauration du débit lors des phases de décolmatage manuel.

**Résultats**

**Efficacité de filtration initiale des aspirateurs**

L'efficacité de filtration des différents aspirateurs, sans préfiltration, mesurée avant leur colmatage, est représentée sur la Figure 2. Les résultats indiquent que l'efficacité des appareils de classe H est de 100 %, indépendamment de la taille des particules pour les deux modèles d'aspirateurs.

Concernant les aspirateurs de classe M, les appareils A2 fonctionnant sur secteur et sur batterie ont une très bonne efficacité, avec des valeurs systématiquement supérieures à 99,9 %, tandis que l'efficacité de l'appareil A1 est sensiblement inférieure, avec une efficacité minimale de 98,5 % pour des particules de 0,5 µm de diamètre.



← FIGURE 2  
Efficacité initiale des aspirateurs testés, sans préfiltration et avant colmatage.

### Colmatage et décolmatage des aspirateurs

Des essais de colmatage ont été réalisés avec et sans la fonction de décolmatage automatique. Dans nos conditions d'essai, le décolmatage automatique n'a pas montré d'effet sur la restauration du débit. Tous les essais suivants présentés sont réalisés en activant le décolmatage automatique. La phase de décolmatage correspond donc systématiquement à un décolmatage manuel.

L'évolution du débit d'aspiration des aspirateurs de classes M et H, sans préfiltration, a été suivie sur dix cycles de colmatage et de décolmatage (Cf. Figure 3 pour le modèle A1 ; Figure 4 pour le modèle A2). Trois paramètres sont particulièrement importants pour définir les performances globales des aspirateurs sur le terrain : la stabilité du débit d'aspiration, la vitesse de colmatage (traduisant la fréquence d'intervention nécessaire) et la masse de poussières effectivement collectée. Ces éléments sont présentés dans le Tableau 1.

#### → Débit d'aspiration

Pour les aspirateurs avec une alimentation filaire, le débit d'aspiration reste globalement stable entre le premier et le dixième cycle. Bien qu'une légère baisse soit observée pour l'aspirateur A1 en classe M, celle-ci reste modérée et pourrait être partiellement attribuée aux incertitudes de mesure. Pour un même modèle, aucune différence notable n'apparaît entre les classes M et H (Cf. Figures 3 et 4). La classe de l'aspirateur ne semble donc pas impacter la restauration du débit lors du décolmatage.

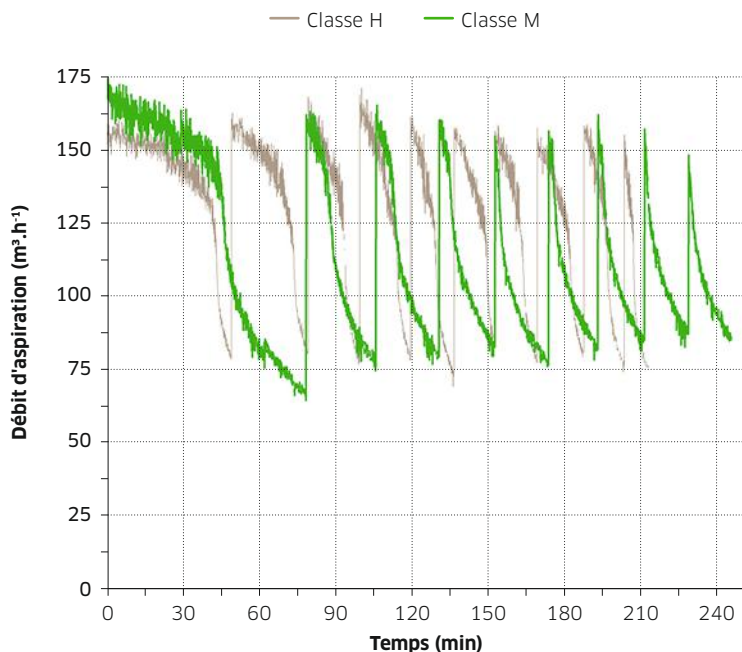
En revanche, l'aspirateur A2 alimenté avec une batterie (Cf. Figure 4) présente une chute de débit très importante entre le premier et le dixième cycle de colmatage, allant de 140 à 85 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Cette forte diminution traduit un décolmatage peu efficace, mettant en évidence qu'il est nécessaire de changer le filtre terminal régulièrement, sous peine de voir les performances d'aspiration décroître considérablement au cours de l'utilisation.

#### → Vitesse de colmatage

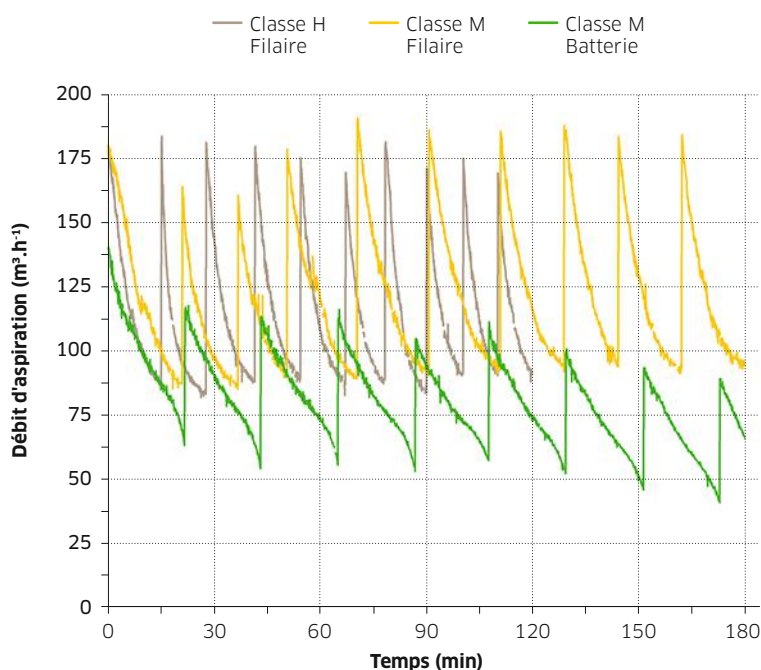
La durée des cycles de colmatage reflète la rapidité avec laquelle le filtre se colmate. Pour l'aspirateur sur batterie (A2 – classe M), cette durée est définie par la durée d'autonomie de la batterie et ne varie pas au cours des essais (Cf. Figure 4). En revanche, la durée des cycles diminue lors de l'utilisation des aspirateurs alimentés en filaire, avec une tendance plus ou moins marquée selon les modèles (Cf. Figures 3 et 4).

L'aspirateur A1 présente la réduction la plus importante, la durée entre le premier et le dernier cycle étant divisée par 5 pour l'aspirateur de classe H et par 4,6 pour le même modèle en classe M. Cela est dû au décolmatage incomplet du filtre, avec des particules toujours présentes sur le filtre, rendant le colmatage suivant plus rapide. Le phénomène est moins prononcé pour le modèle A2, le débit étant divisé par 1,5 pour la classe H, et 1,2 pour la classe M. La vitesse de colmatage semble donc davantage dépendre du modèle de l'aspirateur que de la classe du filtre.





↑ FIGURE 3 Évolution du débit d'aspiration de l'appareil A1 de classes M et H sans préfiltration lors de dix cycles de colmatage par de la poussière de dolomie.



↑ FIGURE 4 Évolution du débit d'aspiration de l'appareil A2 de classes M (alimentation filaire et sur batterie) et H sans préfiltration lors de dix cycles de colmatage par de la poussière de dolomie.

Un autre point à prendre en compte concerne l'évolution du débit au cours de chaque cycle. En effet, dans le cas de l'aspirateur A1, l'allure de la courbe de décroissance de débit diffère selon la classe : la classe M présente une diminution de débit très rapide en début de cycle, puis plus faible au cours du temps, tandis que le phénomène inverse est observé pour l'aspirateur de classe H, avec une diminution de débit plus lente au cours du cycle. Cela signifie donc que, même si les cycles de l'aspirateur de classe H sont plus courts, son débit est en réalité maintenu plus longtemps, lui procurant un captage plus homogène au cours de l'utilisation.

→ Masse de poussière aspirée

Comme présenté dans le *Tableau 1*, la quantité de poussière captée dépend de la classe de l'aspirateur, mais avec des différences selon les modèles. En effet, le débit massique d'aspiration moyen sur les dix cycles est le plus élevé pour l'aspirateur A1 en classe H, probablement grâce à son bon maintien de débit au cours du colmatage. Il permet donc d'aspirer une plus grande quantité de poussière que l'aspirateur du même modèle en classe M. En revanche, le phénomène inverse est observé avec l'aspirateur A2 : la classe M permet d'aspirer davantage de poussière sur dix cycles que la classe H, confirmant que le filtre de classe H se colmate rapidement, ce qui réduit ses performances de captage. Ces résultats montrent que le choix du filtre a bien des effets sur la fréquence des décolmatages et l'entretien nécessaire, mais que l'impact sur l'efficacité d'aspiration dépend fortement du modèle d'aspirateur. Bien que les aspirateurs de classe H requièrent un décolmatage plus fréquent, l'impact de leur colmatage rapide sur leurs performances ne peut être généralisé à l'ensemble des modèles.

Colmatage : effets de la préfiltration

Les différents aspirateurs testés peuvent être équipés d'un sac filtrant, disposé à la place du sac jetable de récupération de poussières. Toutefois, son utilisation est parfois restreinte, comme pour les aspirateurs du modèle A2, où elle est recommandée uniquement pour l'aspiration des poussières de bois.

TABLEAU 1 → Évolution de la durée des cycles et du débit d'aspiration au cours des dix cycles de colmatage et débit massique moyen de poussières collectées pour les différents aspirateurs testés.

	A1 – CLASSE H	A1 – CLASSE M	A2 – CLASSE H	A2 – CLASSE M	A2 – CLASSE M (BATTERIE)
Débit au début du 1 <sup>er</sup> cycle (m³.h <sup>-1</sup> )	160	170	180	180	140
Débit au début du 10 <sup>e</sup> cycle (m³.h <sup>-1</sup> )	155	150	170	180	85
Durée du 1 <sup>er</sup> cycle (min)	50	78	15	21	21
Durée du 10 <sup>e</sup> cycle (min)	10	17	10	18	21
Débit massique moyen de poussières collectées sur 10 cycles (g.min <sup>-1</sup> )	37	30	26	36	15

L'impact de la préfiltration a été évalué sur plusieurs cycles de colmatage. Si l'efficacité initiale de l'aspirateur reste inchangée avec ou sans sac filtrant, son influence sur le débit d'aspiration est significative. Comme illustré sur la *Figure 5* pour l'aspirateur A1 en classe M, la présence d'une préfiltration entraîne une chute rapide du débit dès le premier cycle, traduisant un colmatage précoce du sac filtrant. Le décolmatage manuel ne permet de restaurer que 75 % du débit initial, ce qui est probablement dû au fait que les à-coups de pression sont dimensionnés pour décolmater principalement le filtre terminal et non le sac filtrant. Une tendance similaire a été observée avec l'aspirateur de modèle A2, où la préfiltration prolonge le premier cycle, avant d'accélérer le colmatage lors des cycles suivants. Dans les deux cas, bien que le débit soit plus faible avec une préfiltration, la variation de débit au cours du cycle de colmatage est moins importante.

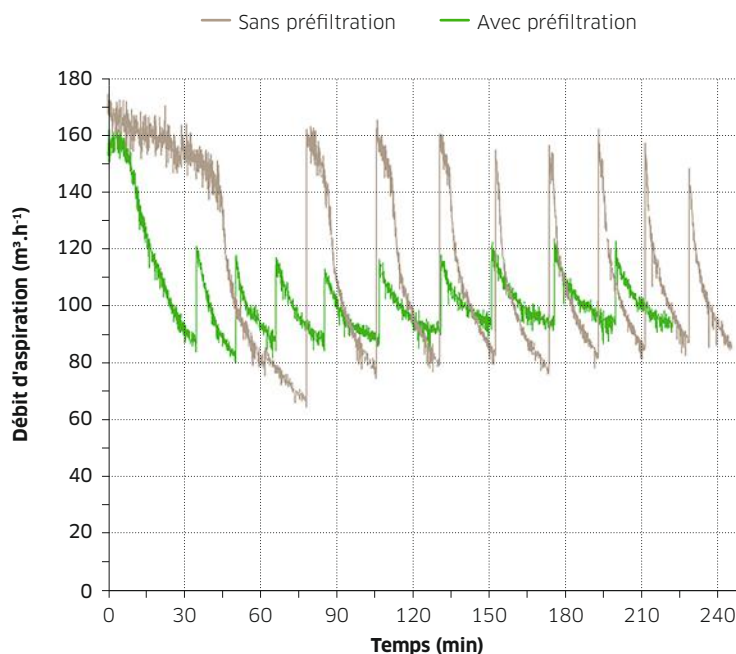
Ainsi, pour les différents modèles et classes d'aspirateurs testés, le débit d'aspiration est plus faible, mais également plus stable en utilisant un sac filtrant. En pratique, le choix d'utiliser ou non un sac filtrant dépend du type de poussière et des contraintes du chantier. En effet, il peut limiter l'exposition de l'opérateur aux poussières lors de la maintenance, mais réduit les performances de l'aspirateur. Dans un environnement très poussiéreux, il peut être plus pertinent d'éviter le sac filtrant pour maintenir un débit d'aspiration optimal.

## Décolmatage automatique – Relargage de particules

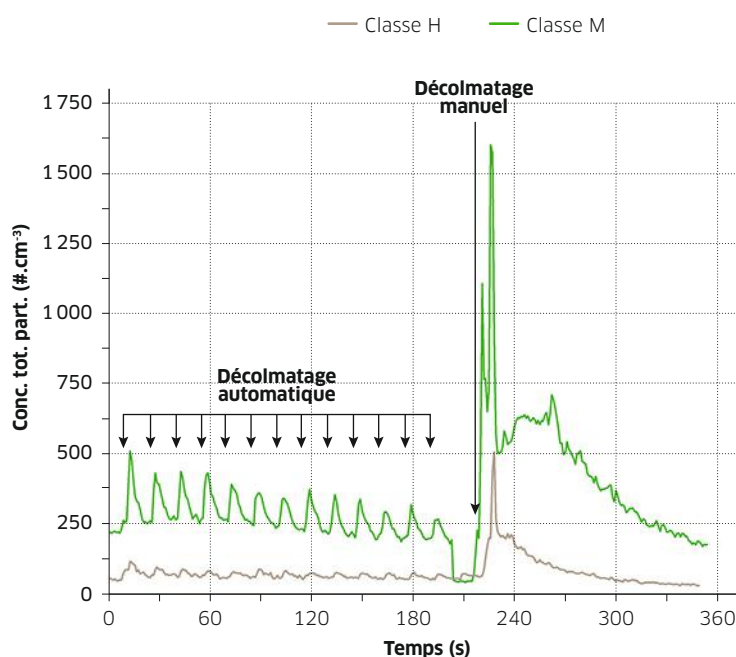
Lors du décolmatage par à-coup de pression, des « bouffées » de particules sont souvent observées à l'aval du système de filtration [3]. Ce phénomène est dû à la baisse ponctuelle d'efficacité de filtration lors du décolmatage, mais aussi au relargage de particules préalablement arrêtées par le filtre. À la suite du colmatage des aspirateurs, une évaluation du relargage de particules lors des décolmatages automatique et manuel a été réalisée. Pour cela, la concentration en aval de l'aspirateur a été mesurée à la fin des cycles de colmatage, sans génération de poussière. À titre d'exemple, la concentration totale à l'aval de l'aspirateur A1 en classes M et H est présentée sur la *Figure 6*. Un comportement similaire a été observé avec l'aspirateur A2 en classes M et H.

Le relargage de particules lors des deux types de décolmatage, automatique et manuel, a été évalué :

- **décolmatage automatique** : lors des à-coups de pression, des pics de concentrations d'intensité décroissante sont visibles en aval de l'aspirateur de classe M, impliquant un relargage important de particules pour cet appareil. À l'inverse, le relargage de particules par l'aspirateur de classe H est



↑ FIGURE 5 Évolution du débit de l'aspirateur A1 (classe M) lors de dix cycles de colmatage par de la poussière de dolomie, avec et sans préfiltration.

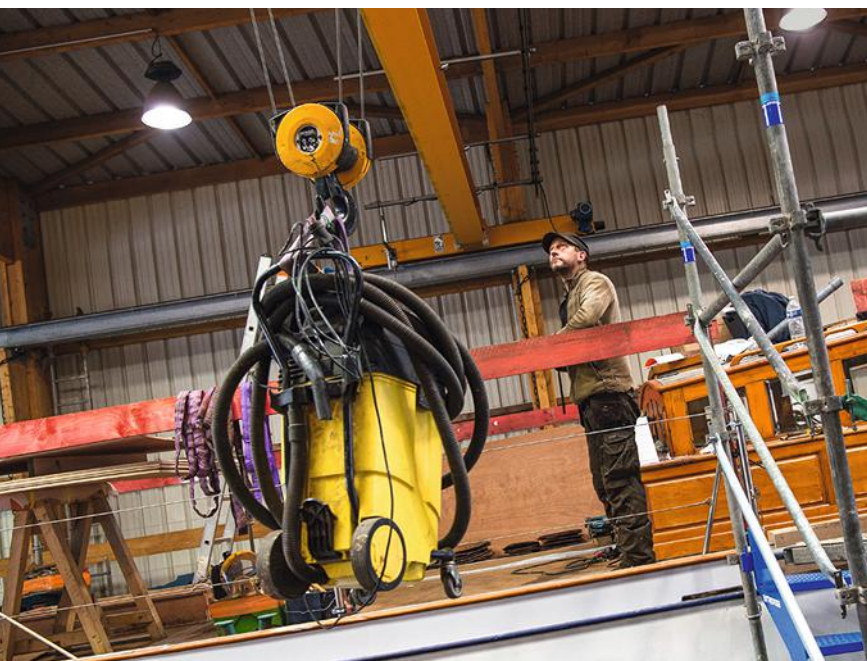


↑ FIGURE 6 Concentration à l'aval de l'aspirateur A1 (sans préfiltration) après dix cycles de colmatage, sans génération de poussière

très faible, avec une concentration se stabilisant très rapidement ;

- **décolmatage manuel** : l'à-coup de pression est bien plus important que lors du décolmatage automatique, relâchant une quantité très importante de particules à l'aval de l'aspirateur de classe M. Une concentration non négligeable est également observée dans le cas de l'appareil de classe H, bien que plus faible que pour la classe M. Une attention particulière doit donc être portée





© Gael Kerbaol/INRS/2016

à cette opération de décolmatage manuel, qui pourrait exposer les opérateurs aux poussières initialement aspirées.

### Conclusion

Le choix de la classe de l'aspirateur dépend fortement des conditions opératoires et de l'application souhaitée. Les essais réalisés montrent que les aspirateurs de classe H, recommandés pour la collecte de poussières dangereuses comme la silice cristalline, offrent une filtration efficace et par conséquent un niveau de protection bien supérieur aux appareils de classe M<sup>3</sup>. D'une manière générale, le colmatage rapide des aspirateurs testés nécessite des décolmatages fréquents. Cependant, cette contrainte n'entraîne pas systématiquement une baisse du débit d'aspiration, certains modèles parvenant à maintenir un débit relativement stable. L'étude met également en évidence l'impact du sac filtrant : s'il accélère le colmatage et réduit les performances d'aspiration, il stabilise également le débit et joue un rôle essentiel en limitant l'exposition des opérateurs lors des interventions de maintenance. Son utilisation doit donc être évaluée en fonction des conditions du chantier et des exigences de protection.

Par ailleurs, le décolmatage manuel, bien que plus efficace pour restaurer le débit d'aspiration, entraîne un relargage de particules plus important que le décolmatage automatique, en particulier pour les appareils de classe M. Le décolmatage automatique, même s'il ne s'est pas montré aussi efficace que le décolmatage manuel avec la poussière testée en laboratoire, peut néanmoins être pertinent

pour d'autres types de poussières non testées dans cette étude et mieux limiter le relargage.

Pour améliorer les performances de filtration, une approche intéressante consisterait à utiliser un sac filtrant efficace classé M qui serait la cible du décolmatage automatique, suivi d'un filtre terminal de très haute efficacité classé H. Le filtre terminal capturerait ainsi les particules non collectées par le sac et celles relarguées lors du décolmatage, et l'opérateur serait moins exposé lors de la maintenance. Ces conclusions, issues d'essais en laboratoire sur une poussière modèle dont la granulométrie est représentative des poussières générées sur les chantiers, doivent être transposées avec précaution aux situations réelles. Un choix raisonné des équipements et des procédures de maintenance est essentiel pour concilier performance d'aspiration, autonomie et protection des travailleurs. ●

1. Pour les poussières, l'article R. 4222-10 du Code du travail définit une concentration moyenne à ne pas dépasser sur une période de 8 heures, mesurée dans l'ambiance du local et uniquement « dans les locaux à pollution spécifique ». En revanche, la norme EN 60335-2-69 [2] évoque spécifiquement des VLEP pour le classement des systèmes de filtration.

2. Les matériaux utilisés pour ces filtres terminaux des aspirateurs A1 et A2 sont a priori les mêmes, d'après les informations fournies par leurs fabricants.

3. Les filtres terminaux H ou M de certains appareils peuvent être interchangés par erreur ou volontairement ; un système de détrompeur devrait être systématiquement imposé sur ces étages de filtration.

### BIBLIOGRAPHIE

[1] BEAUDRY C. ET AL. – Exposition des travailleurs de la construction à la silice cristalline. Bilan et analyse de la littérature. IRSST, Rapport R-692, 2011. Accessible sur : <https://www.irsst.qc.ca/publications-et-outils/publication/i/100593/n/exposition-travailleurs-construction-silice-cristalline-bilan-analyse-litterature-r-692>

[2] NORME NF EN 60335-2-69 – Appareils électrodomestiques et analogues. Sécurité. Partie 2-69 : Exigences particulières pour les aspirateurs fonctionnant en présence d'eau ou à sec, y compris les brosses motorisées, à usage commercial. Afnor, 2012. Accessible sur : <https://www.boutique.afnor.org> (site payant).

[3] BÉMER D. ET AL. – Filtration des aérosols : performances des médias filtrants. *Hygiène & sécurité du travail (Cahiers de notes documentaires)*, 2006, ND 2241. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ND%202241>

[4] BÉMER D. ET AL. – Performances des médias filtrants utilisés en dépolluissage industriel : méthode de test. *Hygiène & sécurité du travail (Cahiers de notes documentaires)*, 2002, 188, ND 2178. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ND%202178>