



Étude comparative de la performance d'abat-poussières à contrôler l'érosion éolienne sur les parcs à résidus miniers

Awoh, A.S., Mbonimpa M. et Hane, I.

Institut de recherche en mines et environnement (IRME)

Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda, QC, Canada

RÉSUMÉ

Malgré les impacts négatifs de l'érosion éolienne sur les parcs à résidus miniers sur la santé des travailleurs et des populations environnantes et sur les coûts de restauration de sites miniers affectés, ce phénomène reste très peu étudié. Cet article a pour objectif d'évaluer la performance de cinq abat-poussières placés sur un résidu minier. Pour cela, des tests d'érodibilité à l'aide du Portable In-Situ Wind Erosion Laboratory (PI-SWERL) sont réalisés au laboratoire après conditionnement des échantillons à la cryodessiccation (freeze-drying), des cycles de gel-dégel et de mouillage-séchage, et à une exposition aux rayons UV. La performance est évaluée en termes de masse totale de poussières et de concentration PM₁₀ mises en suspension par le PI-SWERL. Les résultats indiquent que les abat-poussières étudiés peuvent réduire considérablement la quantité de poussières émises. Selon la performance de chaque produit pour chacun des quatre conditionnements, une classification générale des cinq produits est présentée.

ABSTRACT

Despite the negative impacts of wind erosion on tailings storage facilities on the health of workers and surrounding communities and on the costs of remediation of affected mine sites, this phenomenon remains poorly studied. This article aims to evaluate the performance of five dust suppressants placed on tailings. For this purpose, erodibility tests using the Portable In-Situ Wind Erosion Laboratory (PI-SWERL) were carried out in the laboratory after freeze-drying of the samples, freeze-thawing and wet -drying cycles, and exposure to UV rays. The performance was evaluated in terms of the total mass of dust and PM₁₀ concentration suspended by the PI-SWERL. The results indicate that the dust suppressants studied can significantly reduce the amount of dust. Based on the performance of each dust suppressants for each of the four modes of sample conditioning, a general classification of the five products is presented.

1 INTRODUCTION

L'érosion éolienne est le phénomène de dégradation du sol sous l'action du vent qui peut arracher et transporter des quantités importantes de matériaux. Trois processus peuvent être observés lorsque la vitesse du vent dépasse 15 à 25 km/heure selon la turbulence de l'air (Roose, 1994; Kon et al. 2007; Zaher, 2010) : La reptation ou le glissement, la saltation et la suspension. La reptation affecte les grains de sable (0,5 à 2 mm de diamètre) trop lourds pour être aspirés en altitude. Ces grains sont déséquilibrés par les bourrasques du vent, roulés et traînés à la surface du sol sur quelques mètres par heure de vent violent. Ce phénomène représente 5 à 25 % du total de transport des particules par érosion éolienne. La saltation a lieu lorsque des nappes de particules soulevées par vent violent circulent sur plusieurs dizaines de mètres et retombent pour former des rides au sol (ripple-marks) ou des petites buttes de particules piégées dans les touffes de végétation. Ce phénomène représente la part importante dans le processus de l'érosion éolienne (50 à 80 % du total de particules transportées). La suspension représente le phénomène qui entraîne en suspension des particules fines. Ces poussières sont aspirées par les tourbillons jusqu'à plusieurs mètres d'altitude pour être ensuite dispersées sous forme de brume sèche ou pour circuler sous forme de nuage sur plusieurs kilomètres.

Si l'érosion éolienne est un phénomène souvent rencontré sur les terres labourées pour l'agriculture et sur les zones désertiques, c'est un problème également rencontré sur plusieurs parcs à résidus miniers (Blight, 2007). En effet, lorsque les plages des parcs sont exposées aux vents, les rejets miniers peuvent être entraînés en dehors du parc. Aussi lorsque ces rejets sont potentiellement générateurs de drainage minier acide (DMA), leur étalement en dehors du parc par l'érosion éolienne peut être problématique à la fermeture du site. En effet, les coûts de restauration peuvent être beaucoup plus élevés que pour un site où la dispersion éolienne a été contrôlée. De plus, la dispersion des résidus miniers peut avoir une grande influence sur la qualité de l'environnement avoisinant les parcs, selon la nature de ces résidus (Conesa et al. 2009). La population humaine vivant à proximité des opérations minières ainsi que les travailleurs peuvent également être affectés par ces dispersions de poussières transportées par l'érosion éolienne des parcs à résidus miniers (Hnizdo et al. 1997; Meza-Figueroa et al. 2009).

Le phénomène de l'érosion éolienne sur les parcs à résidus n'a pas fait l'objet d'étude approfondie ces dernières années (Van, 2010). Cela constitue cependant un sujet de préoccupation majeure étant donné ses conséquences néfastes sur l'environnement et sur la

qualité de vie des habitants proches des zones d'exploitation minière.

Des abat-poussières sont couramment utilisés dans l'industrie du transport pour aider à contrôler l'érosion éolienne sur les routes. Considérant cet état de fait, il est donc pensable que ces abat-poussières puissent aussi être efficaces sur les parcs à résidus. Quelques abat-poussières ont été testés au cours de ces dernières années par des compagnies minières en s'appuyant sur l'expertise des fournisseurs d'abat-poussières, mais les études dans ce domaine restent encore insuffisantes.

Le but de cette étude est d'évaluer de façon quantitative la performance de cinq types d'abat-poussières à limiter l'érosion pour un type de résidu minier donné.

Cet article présente les propriétés des matériaux (résidus miniers, abat-poussières) utilisés pour la réalisation de ce projet. Il expose aussi les conditionnements auxquels ont été soumis les résidus avec et sans abat-poussières ainsi que les tests d'érodibilité réalisés au laboratoire sur ces résidus à l'aide du Portable In-Situ Wind Erosion Laboratory (PI-SWREL; Etyemeziana et al 2007; Sweeney et al. 2008; Kavouras et al. 2009). Enfin, quelques résultats obtenus sont présentés afin de comparer la performance des cinq abat-poussières à limiter le soulèvement de poussières par l'érosion éolienne.

2 MATÉRIELS ET METHODE

2.1 Propriétés du résidu minier

Des caractérisations physiques, chimiques, minéralogiques et hydrogéologiques ont été réalisées sur le résidu minier (désigné par A) utilisé afin de connaître ses propriétés de base. L'analyse granulométrique réalisée au granulomètre au laser, à l'aide d'un appareil Mastersizer de Malvern, montre une distribution granulométrique typique de celles des mines de roches dures (Figure 1) (Bussière 2007).

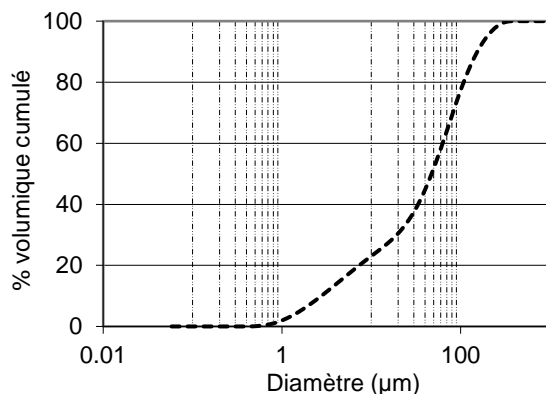


Figure 1. Courbe granulométrique du résidu A utilisé

Le pourcentage de passant au tamis 200 est de 70%. Les paramètres D_{10} , D_{30} , et D_{60} (diamètre des grains correspondant à 10, 30, et 60 % du poids cumulé) sont respectivement 3 µm, 19 µm, 63 µm. Les coefficients d'uniformité ($C_u = D_{60}/D_{10}$) et de courbure C_c

($C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$) sont respectivement de 23 et de 2. Selon la classification USGS (Unified Soil Classification System), ce résidu peut être classé comme un silt non plastique (ML) (McCarthy, 2007).

La densité relative des grains solides (D_R) pour le résidu étudié a été déterminée à l'aide d'un pycnomètre à hélium Micromeritics Accupyc 1330. La valeur moyenne obtenue pour D_R est de 2,7.

Le bilan soufre/carbone déterminé par fournaise à induction, à l'aide d'un four ELTRA CS-2000, montre que le résidu étudié peut être considéré comme acidogène selon la *Directive 019*. En effet, la teneur en soufre du résidu (0,6%) est supérieure à 0,3% et le rapport entre le potentiel de neutralisation (PN) et le potentiel d'acidification (PA) (0,2) est inférieur à 3. Le PA a été calculé à partir de la teneur en soufre total selon la méthode de Sobek et al. (1978). Le PN a aussi été calculé par la méthode du carbone inorganique.

L'analyse minéralogique par diffraction aux rayons x montre que ce résidu est dominé par des silicates (97 %) et des oxydes (3 %). On constate aussi que ce résidu contient très peu de sulfure sous forme de trace. En effet, la technique du DRX ne détecte que les minéraux cristallins et de concentrations supérieures à environ 0,5 % massique.

2.2 Propriétés des abat-poussières

Huit abat-poussières susceptibles d'être utilisés en épandage sur les résidus miniers pour contrôler l'érosion éolienne ont été reçus de quatre fournisseurs. Pour des questions de confidentialité, ces abat-poussières sont numérotés de 1 à 8. Dans cette étude, cinq (1, 3, 5, 6 et 8) abat-poussières ont été retenus à la suite des tests de présélection réalisés au laboratoire pour poursuivre l'étude. Ces abat-poussières ont été caractérisés du point de vue rhéologique et chimique. Chaque fournisseur a aussi recommandé le taux de dilution et le taux d'application de chaque produits (voir Tableau 1).

Les propriétés rhéologiques ont été déterminées à l'aide d'un rhéomètre rotationnel AR2000 (de TA Instruments) sur les abat-poussières dilués à la température ambiante. Les résultats montrent que les abat-poussières testés se comportent comme des fluides newtoniens avec des viscosités dynamiques de l'ordre de 10^{-3} Pa.s pour les moins visqueux. Ces valeurs de viscosité sont comparables à la viscosité de l'eau qui est d'environ 10^{-3} Pa.s à 25 °C.

L'analyse élémentaire déterminée à l'ICP AES (Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy) montre la présence des éléments réglementés par la directive 019 (As, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) en teneur significative dans les abat-poussières. Les concentrations en As, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn sont respectivement comprises entre 0,02 et 0,26 mg/l pour le As, entre 0,11 et 0,83 mg/l pour le Cu; entre 3 et 17 mg/l pour le Fe, entre 5 et 8 mg/l pour le Ni, entre 0,08 et 3,5 mg/l pour le Pb, et entre 2 et 8 mg/l pour le Zn.

L'analyse des hydrocarbures de type C_{10} - C_{50} a montré que les hydrocarbures sont présents dans tous les abat-poussières à des teneurs différentes. Ces concentrations sont respectivement de 0,01 g/l pour l'abat-poussière 1, de

0,08 g/l pour le 3, de 0,06 g/l pour le 5, de 0,01g/l pour le 6, et de 0,01 g/l pour le 8. Ces valeurs sont supérieures à la valeur maximale acceptable imposée par la Directive 019 qui est de 2 mg/l.

La présence des éléments (As, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) et des hydrocarbures de type C₁₀-C₅₀ dans les abat-poussières suggère qu'il faudrait surveiller leur impact sur l'environnement.

Tableau 1. Taux de dilution et d'application des abat-poussières et nomenclature du résidu traité et non traité

| Produit | Rapport dilution | Taux d'application l/m ² | Résidu A |
|---------|------------------|-------------------------------------|----------|
| 1 | 1: 10 | 1,1 | A1 |
| 3* | 1: 33 | 5,15 | A3 |
| | 1: 20 | 3,15 | |
| | 1: 7,5 | 1,7 | |
| 5 | 1: 19 | 1 à 2 | A5 |
| 6 | 1: 4 | 2 | A6 |
| 8 | 1: 9 | 2 | A8 |

* Produit 3 appliqué en 3 applications avec différents rapports de dilutions et taux d'application

2.3 Préparation du résidu et application des abat-poussières

Le résidu A est d'abord ramené à la teneur en eau massique de 15%. Afin d'éliminer les agrégats, le résidu A est homogénéisé et tamisé au tamis de 2 mm. Le résidu tamisé est ensuite placé dans des plateaux de 50x50x5cm et leurs surfaces sont nivelées pour assurer une meilleure application et pénétration de l'abat-poussière. Les abat-poussières dilués sont finalement appliqués par épandage à la surface du résidu dans les plateaux selon le taux d'application fournis pour les fournisseurs des abat-poussières (voir Tableau 1). Le Tableau 1 présente aussi la nomenclature du résidu traité les cinq abat-poussières (Ai où i désigne le code du produit; ex. A1, A3, A5, A6, ou A8). Pour une meilleure représentativité des résultats, deux plateaux étaient préparés pour chaque produit (essais en duplicata). Deux plateaux de résidu non traités (témoins) ont aussi été préparés pour des fins de comparaison. Ils sont désignés par A0.

2.4 Conditionnement des plateaux

Les plateaux traités et non traités ont été soumis à quatre conditionnements (Freeze/drying, Ultraviolet UV, mouillage/séchage et gel/dégel) (Figure 2) pour tester l'efficacité des abat-poussières aux différentes conditions climatiques d'exposition. Un total de 48 de plateaux a été préparé pour la réalisation de cette étude.

Le *Freeze/drying* est le séchage par le froid ou la lyophilisation ou cryodessiccation (Murray et al. 1999). C'est un phénomène qui se produit au début de l'hiver, avant la tombée de la neige. L'eau gelée en surface sublime et les résidus secs deviennent facilement transportables par le vent. Dans cette étude, l'effet du *Freeze/drying* a été étudié de façon naturelle, en exposant les échantillons à l'air

ambiant du 13 novembre au 9 décembre 2016 dans un entrepôt grillagé à l'abri de la neige.

Pour le conditionnement mouillage/séchage, les bacs utilisés sont percés pour faciliter le drainage de l'eau et une membrane géotextile est mise au fond pour éviter que les résidus ne soient entraînés par l'eau de percolation. Après avoir traité les résidus, les plateaux sont laissés 24 h au repos avant le début des cycles de mouillage/séchage. Un litre d'eau déionisée a été déterminé pour saturer les résidus dans les plateaux en se basant sur les essais préliminaires réalisés au laboratoire. Cette quantité a donc été utilisée pour le mouillage de chaque plateau. Le séchage se fait à l'air ambiant pendant 3 jours par cycle. Au total 10 cycles de mouillage / séchage sont réalisés dans cette étude.

Pour le conditionnement gel/dégel, les échantillons sont préparés et laissés au repos pendant 4 h avant de débiter les cycles de gel/dégel. Le gel se fait dans une chambre froide à -20°C pendant 20 h et le dégel à l'air ambiant pendant 4 h. Ce temps a été choisi en se basant sur les tests préliminaires qui ont montré qu'il faut seulement 4 h pour que le témoin dégèle. Au-delà de cette période, le résidu commence à se dessécher (par évaporation). Au total, dix cycles de gel/dégel sont réalisés.

Pour le conditionnement sous les lampes UV, les échantillons sont préparés et laissés au repos pendant 4 h avant de les exposer sous les lampes UV (type UVA-340 de Q-Lab) pendant 24 h.

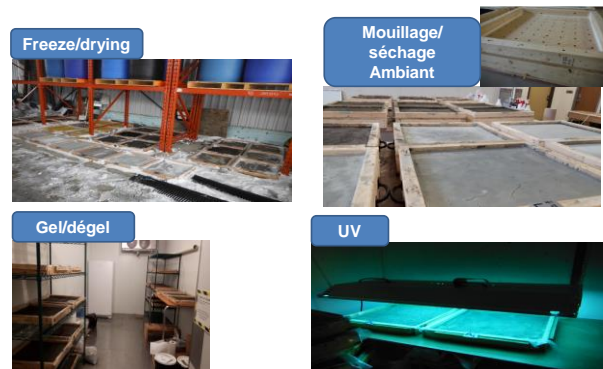


Figure 2. Conditionnement des plateaux

2.5 Tests d'érodibilité au PI-SWERL

À la fin des différents conditionnements, les tests d'érodibilité sont réalisés sur chaque plateau traité et non traité à l'aide d'un appareil appelé PI-SWERL (Figure 3). Le PI-SWERL a été développé pour mesurer les émissions de poussière provenant des surfaces du sol. Cet équipement permet de fournir un indice de potentiel d'émission de poussière comparable à celui d'une soufflerie portable (Sweeney et al. 2008). Le PI-SWERL consiste en une enceinte cylindrique contenant une lame plate annulaire qui tourne à différentes vitesses, ce qui génère une contrainte de cisaillement à la surface du sol. La contrainte de cisaillement générée par le PI-SWERL entraîne le soulèvement de particules sous forme de poussière (Sweeney et al. 2008). Cette poussière est échantillonnée en temps réel par un moniteur de poussière (DustTrak) intégré au PI-SWERL. Un boîtier de contrôle

relie l'ordinateur à la chambre de mesure et au DustTrak. L'ordinateur et le boîtier permettent de contrôler les pompes, le moteur électrique et le moniteur de poussière. L'essai de cisaillement utilisé dans le cadre de cette étude est l'essai hybride qui est l'essai le plus utilisé dans la littérature (Sweeney et al. 2008; Bacon et al. 2011). Le lecteur intéressé peut consulter la littérature (Étyemeziana et al 2007; Sweeney et al. 2008; Kavouras et al. 2009) pour plus d'informations sur le PI-SWERL. Le DustTrak permet de déterminer les concentrations en PM₁, PM_{2,5}, PM₄; et PM₁₀, ainsi que la masse totale de poussière soulevée. Dans cette étude, l'accent a été mis uniquement sur le PM₁₀. Le PM₁₀ désigne les particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 µm. Le DustTrak utilisé permet de faire des mesures de PM₁₀ pour des valeurs comprises entre 0,001 et 400 mg/m³.

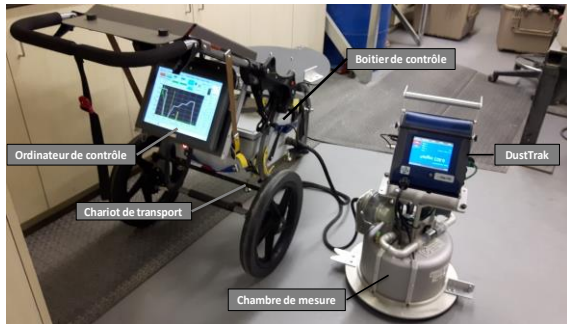


Figure 3. Les différentes composantes du PI-SWERL

3 RÉSULTATS

Les résultats présentés dans cet article sont essentiellement la masse totale de poussière soulevée et la concentration en PM₁₀ (Figures 4 et 5). Un facteur d'efficacité pour chaque abat-poussières (ou facteur de réduction de la poussière) (*FE*), est aussi estimé en comparant la masse de poussière soulevée pour le témoin (résidu non traité, A0) à celle soulevée lorsque le résidu est traité (A1, A3, A5, A6 et A8) suivant l'équation 1.

$$FE (\%) = \frac{M_{té} - M_{a-p}}{M_{té}} \times 100$$

où $M_{té}$ est la masse totale de poussière émise par le témoin et M_{a-p} est la masse totale de poussière émise par l'échantillon traité avec l'abat-poussière.

Les abat-poussières sont ensuite classés par ordre d'efficacité, pour chaque conditionnement, sur la base de la masse totale de poussière émise ou du FE. L'abat-poussière la plus efficace est celui qui a un FE plus élevé (Tableau 2). Une classification des produits est ensuite réalisée. Le produit le plus efficace a le rang le plus faible dans la classification. Pour une classification générale (sur les quatre conditionnements), les rangs occupés par un abat-poussière sont additionnés, celui qui a le plus bas score du rang est le plus efficace.

Les résultats obtenus pour le résidu A sont présentés dans les Figures 4 et 5 et dans les Tableaux 3 à 7 après 480 s de temps de cisaillement pour les quatre conditionnements.

Tableau 2. Méthode de classification des abat-poussière

| Masse de poussière émise M_{a-p} | Facteur d'efficacité (FE) | Classification produits (rang) |
|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Moins importante | Plus important | i |
| ↓ | ↑ | ii |
| | | iii |
| | | iv |
| Plus importante | Moins important | v |

Pour le conditionnement Freeze/drying (F/D), la Figure 4a montre que la concentration en PM₁₀ du témoin A0 est de 202 mg/m³ au moment de l'arrêt volontaire de l'essai (après 120 s) pour ne pas dépasser les limites de l'appareil qui est de 400 mg/m³. La concentration en PM₁₀ est par contre 144 mg/m³ pour A5; 18 mg/m³ pour A1; 1,38 mg/m³ pour A8; 0,96 mg/m³ pour A6 et 0,52 mg/m³ pour A3 au dernier palier de chargement (au bout de 480 s). Les masses totales de poussière soulevées au bout de 120 s (non traité) et 480 s (traité) de cisaillement sont respectivement de 4726, 3247, 227, 35300, 272, et 231 µg pour les échantillons A0, A1, A3, A5, A6 et A8 (voir Figure 5a). Ces résultats montrent que l'utilisation des abat-poussières 3, 6 et 8 permet de réduire la quantité de poussière du résidu A, de plus de 94 % (FE ≥ 94 %) par rapport aux abat-poussières 1 et 5 (FE compris entre 0 et 31%) (voir Tableau 3).

Pour le conditionnement gel/dégel (G/D), la concentration maximale de PM₁₀ de A0 (149 mg/m³) est atteinte après 314 secondes (Figure 4b). Les concentrations maximales de PM₁₀ pour A1, A3, A5 et A6 restent inférieures à 2 mg/m³, à l'exception de A8 qui, à partir de la 372^{ème} seconde (à 5000 rpm) augmente brusquement pour atteindre 232 mg/m³. Les masses totales de poussière émises au bout des différents temps de cisaillement (voir Figure 5b) sont respectivement de 49925, 35, 4, 5, 126 et 22010 µg pour les échantillons A0, A1, A3, A5, A6 et A8. Selon le Tableau 4, ces résultats indiquent que les abat-poussières 1, 5, 3, et 6 permettent de réduire la poussière à plus de 99 % comparativement à l'abat-poussière 8 qui est moins efficace (FE = 56 %) à limiter le soulèvement des poussières.

Pour le conditionnement mouillage/séchage (M/S), les échantillons traités et le témoin ont des concentrations en PM₁₀ faibles (0 à 0,2 mg/m³) (voir Figure 4c). Seuls les résidus traités avec le produit 3 ont une concentration plus élevée que 1 mg/m³. Au bout de 480 s de cisaillement, les masses de poussière libérées sont respectivement de 42, 24, 41, 8, 7 et 9 µg pour les échantillons A0, A1, A3, A5, A6 et A8 (Voir Figure 5c). Ces résultats suggèrent, tel qu'indiqué dans le Tableau 5, que les abat-poussières 5, 6 et 8 permettent de réduire la poussière de plus de 80% par rapport à l'abat-poussière 1 (FE = 43%).

Pour le conditionnement UV, la concentration en PM₁₀ maximale mesurable pour l'appareil pour A0 a été atteinte assez rapidement (400 mg/m³ après 123 secondes) et l'essai a été arrêté (Figure 4d). Pour les échantillons du résidu A traité, PM₁₀ est de 4,45 mg/m³ pour A1, de 0,3 mg/m³ pour A3; de 0,06 mg/m³ pour A5; de 0,51 mg/m³ pour A6 et de 0,57 mg/m³ pour A8. Les masses de

poussière mesurées au bout de 123 et 480 s de cisaillement sont respectivement de 4082, 814, 61, 13, 96 et 199 μg pour les échantillons A0, A1, A3, A5, A6 et A8 (Figure 5d). Ceci suggère que l'utilisation des cinq abat-poussières réduit la masse totale de poussière de plus 80 % (voir Tableau 6).

Les résultats montrent aussi que pour un même résidu, l'efficacité des abat-poussières est variable selon le conditionnement. Sous le conditionnement Freeze/Drying, les masses de poussières émises sont plus importantes comparativement aux autres conditionnements. La période freeze/drying est d'ailleurs la période de l'année la plus critique pour le soulèvement de poussières sur les parcs à résidus.

À la suite des résultats précédemment présentés dans les Tableaux 3 à 6, une classification globale des abat-poussières a été réalisée en tenant compte de leur efficacité pour les quatre conditionnements. Les rangs occupés par un abat-poussière sont additionnés. L'abat-poussière le plus efficace est celui qui a le plus bas score (Tableau 7). Les résultats montrent que les abat-poussières 3 et 5 sont les plus performants à réduire les poussières pour le résidu A dans les conditions des tests réalisés. Par contre pour les abat-poussières 1, 6 et 8, l'efficacité est moindre.

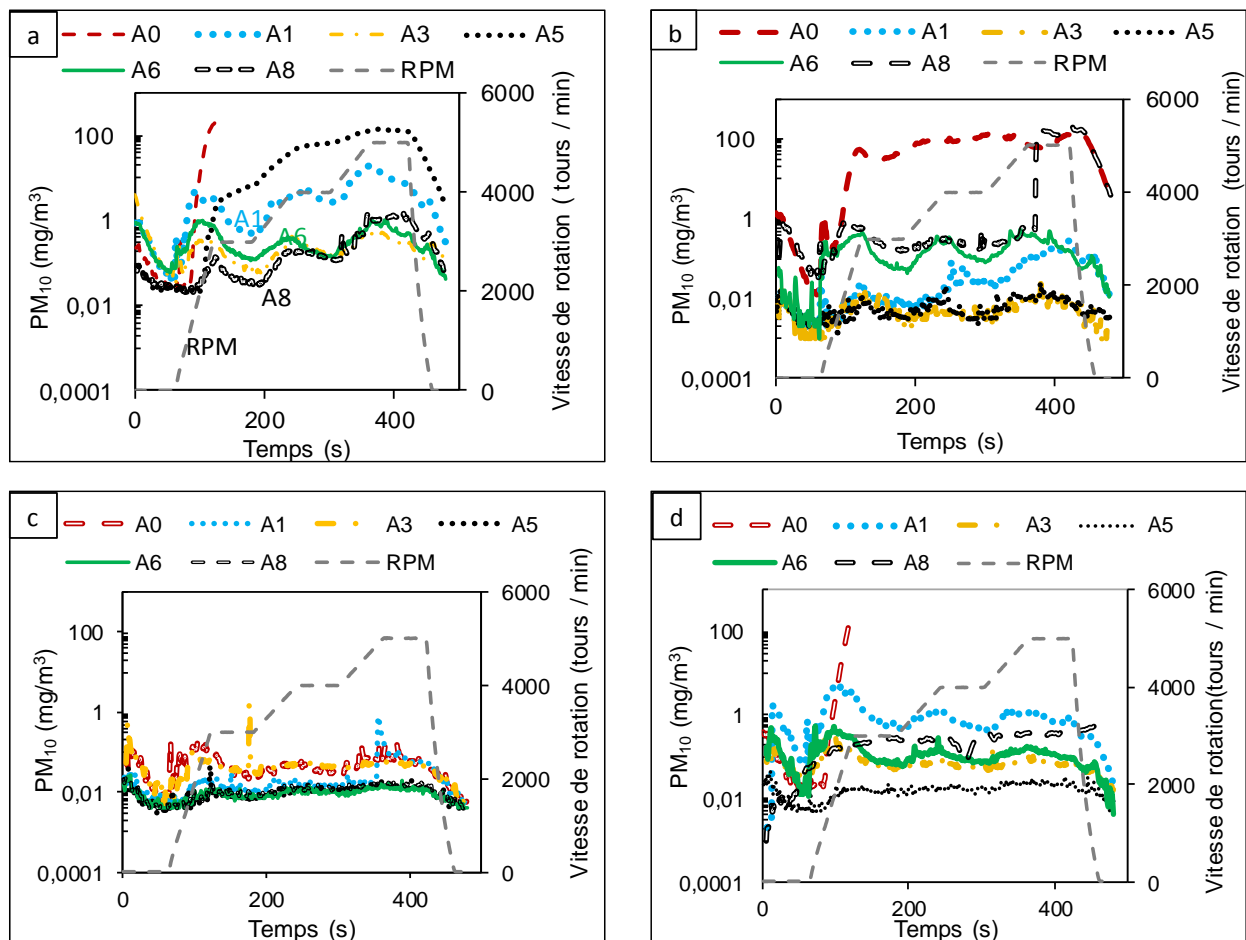


Figure 4. Concentrations en PM₁₀ mesurées après le freeze/drying (a) les cycles de gel/dégel (b), les cycles de mouillage/séchage (c) et l'exposition aux UV (d)

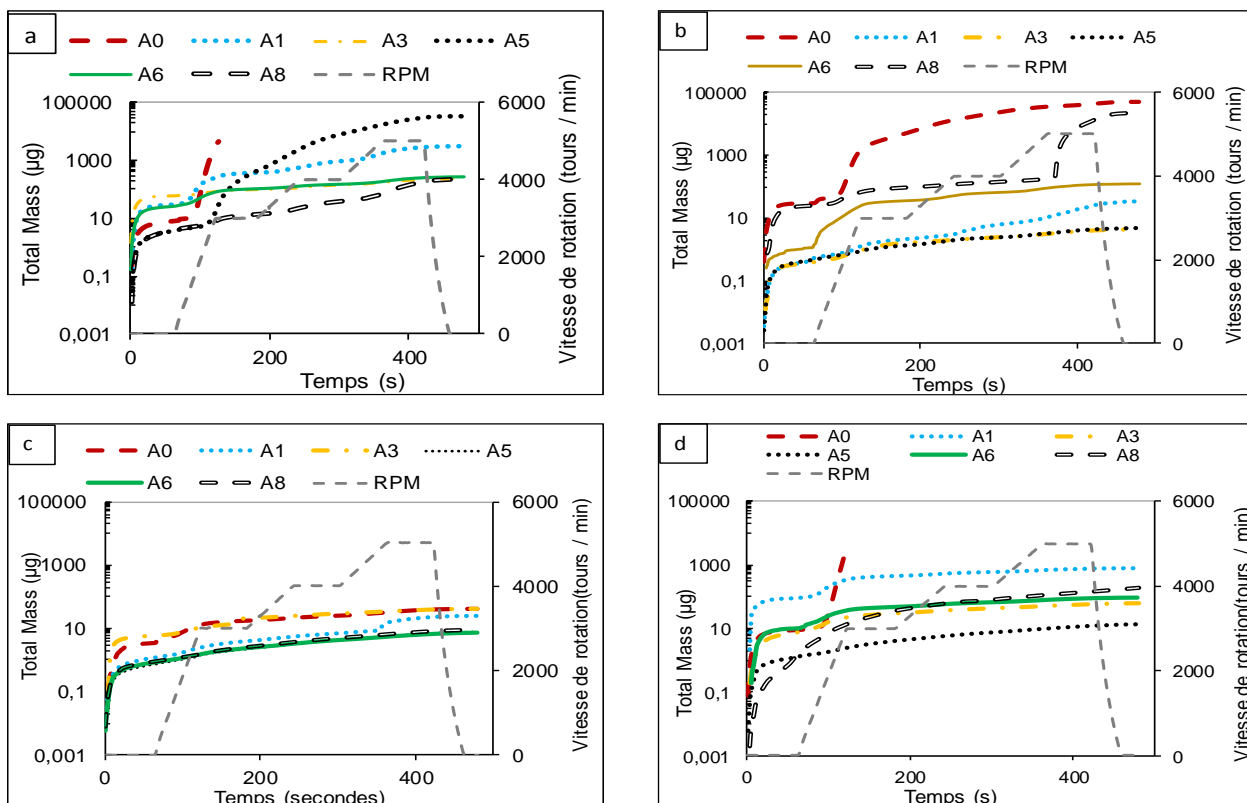


Figure 5. Masse totale émise après le freeze/drying (a) les cycles de gel/dégel (b), les cycles de mouillage/séchage (c) et l'exposition aux UV (d)

Tableau 3. Classification des abat-poussières à la suite du freeze/drying (F/D)

| Échantillon | Masse Totale (µg) | FE (%) | Classification des produits |
|-------------|-------------------|--------|-----------------------------|
| A0 | 4726 | 0 | |
| A1 | 3247 | 31 | iv |
| A3 | 227 | 95 | ii |
| A5 | 35300 | 0 | v |
| A6 | 272 | 94 | iii |
| A8 | 231 | 95 | i |

Tableau 4. Classification des abat-poussières à la suite de cycles gel/dégel (G/D)

| Échantillon | Masse Totale (µg) | FE (%) | Classification des produits |
|-------------|-------------------|--------|-----------------------------|
| A0 | 49925 | 0 | |
| A1 | 35 | 100 | iii |
| A3 | 4 | 100 | i |
| A5 | 5 | 100 | ii |
| A6 | 126 | 100 | iv |
| A8 | 22010 | 56 | v |

Tableau 5. Classification des abat-poussières à la suite des cycles de mouillage/séchage (M/S)

| Échantillon | Masse Totale (µg) | FE (%) | Classification des produits |
|-------------|-------------------|--------|-----------------------------|
| A0 | 42 | 0 | |
| A1 | 24 | 43 | iv |
| A3 | 41 | 3 | v |
| A5 | 8 | 82 | ii |
| A6 | 7 | 82 | i |
| A8 | 9 | 79 | iii |

Tableau 6. Classification des abat-poussières à la suite de l'exposition aux UV

| Échantillon | Masse Totale (µg) | FE (%) | Classification des produits |
|-------------|-------------------|--------|-----------------------------|
| A0 | 4082 | 0 | |
| A1 | 814 | 80 | v |
| A3 | 61 | 99 | ii |
| A5 | 13 | 100 | i |
| A6 | 96 | 98 | iii |
| A8 | 199 | 95 | iv |

Tableau 7. Classification des abat-poussières pour les quatre types de conditionnements pour le résidu A

| Abat-Poussière | Conditionnement | | | | Cote globale | Classification générale |
|----------------|-----------------|-----|-----|-----|--------------|-------------------------|
| | F/D | G/D | M/S | UV | | |
| 1 | v | iii | iv | v | xvii | V |
| 3 | ii | i | v | ii | x | I |
| 5 | v | ii | ii | i | x | I |
| 6 | iii | iv | i | iii | xi | III |
| 8 | i | v | iii | iv | xiii | IV |

4 DERNIÈRES REMARQUES

Malgré la classification générale réalisée pour les cinq abat-poussières sur la base de leur performance par rapport au résidu A, il convient de noter que cette efficacité dépend du rapport de dilution et du taux d'application (ces deux facteurs influencent directement le coût de l'abat-poussières). Par exemple, le meilleur produit (No 3) trouvé pour le résidu A exige l'application de trois couches successives (voir Tableau 1), ce qui peut favoriser son efficacité par rapport à d'autres produits où il faut faire qu'une seule application. Néanmoins, comme chaque couche doit sécher avant l'application de la suivante, l'application des trois couches peut prendre une semaine au cours de laquelle il est impossible de contrôler les conditions météorologiques.

La sélection d'un abat-poussière pour un résidu donné devra aussi tenir compte de son coût d'application et de sa toxicité qui ne sont pas pris en compte dans la classification faite au Tableau 7.

La performance de ces produits sur quatre autres types de résidus est en cours d'évaluation au laboratoire et en conditions de terrain sur des parcelles expérimentales sur quatre sites miniers.

Des tests d'impact environnemental des abat-poussières sont en cours de réalisation à l'aide d'essais en mini-cellules d'altération. L'objectif de ces tests est de vérifier la lixivibilité des éléments potentiellement problématiques contenus dans les abat-poussières appliqués sur les résidus. Pour cela, une comparaison sera faite entre les mini-cellule témoins et les mini-cellules avec résidus traités.

Finalement, des matériaux alternatifs pouvant permettre de contrôler l'érosion éolienne sont en évaluation. C'est le cas de matériaux cohérents non-érodibles à base de boues du traitement du drainage minier acide.

5 REMERCIEMENTS

Les auteurs aimeraient remercier le Ministère de l'économie, des sciences et de l'innovation (MESI) du Québec, Mines Innovations Solutions Applications (MISA), les partenaires miniers, et les fournisseurs d'abat-

poussières pour avoir accepté de contribuer à financer ces travaux. Les auteurs remercient également le personnel de l'URSTM (P. Bernèche, R. Bassolé et M. Paquin) ainsi que l'étudiant à la maîtrise W. Fresser pour leur aide lors des travaux de laboratoire.

6 RÉFÉRENCES

- ASTM D5856 – 95 (7). Standard Test Method for Measurement of Hydraulic Conductivity of Porous Material Using a Rigid-Wall, Compaction-Mold Permeameter. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007.
- ASTM D6836-16. Standard Test Methods for Determination of the Soil Water Characteristic Curve for Desorption Using Hanging Column, Pressure Extractor, Chilled Mirror Hygrometer, or Centrifuge. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.09.
- Blight, G. E., 2007. Wind erosion of tailings dams and mitigation of the dust nuisance. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 107: 99-107.
- Bussière B. 2017. Colloquium 2004. Hydrogeotechnical properties of hard rock tailings from metal mines and emerging geoenvironmental disposal approaches. *Canadian Geotechnical Journal* 44, (9), 1019-1052.
- Conesa, H. M., Moradi, A. B., Robinson, B. H., Kühne, G., Lehmann, E., and Schulin, R., 2009. Response of native grasses and *Cicer arietinum* to soil polluted with mining wastes: Implications for the management of land adjacent to mine sites. *Environmental and Experimental Botany*, 65: 198-204.
- Directive 019 sur l'industrie minière – mars. 2012. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.
- Etyemezian, V., G. Nikolich, S. Ahonen, M. Pitchford, M. Sweeney, J. Gillies, and H. Kuhns. 2007. The Portable In-Situ Wind Erosion Laboratory (PI-SWERL): A new method to measure windblown dust properties and potential for emissions, *Atmos. Environ.*, 41, 3789–3796.
- Hnizdo, E., Murray, J., and Klempman, S. 1997. Lung cancer in relation to exposure to silica dust, silicosis and uranium production in South African gold mine. *Occup Health Ind Med*, 36: 280.
- Kavouras, I.G., Etyemezian, V., Nikolich, G., and Gillies J., Sweeney, M., Young, M., and Shafer D. 2009. A New Technique for Characterizing the Efficacy of Fugitive Dust Suppressants. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 59: 603-6012.
- Kon, L. C., Durucan, S. et Korre, A. 2007. The development and application of a wind erosion model for the assessment of fugitive dust emissions from mine tailings dumps. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 21: 198-218.
- McCarthy, D. F. 2007. *Essentials of soil mechanics and foundations: basic geotechnics*, Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 850p.
- Meza-Figueroa, D., Maier, R. M., de la O-Villanueva, M., Gómez-Alvarez, A., Moreno-Zazueta, A., Rivera, J., Campillo, A., Grandlic, C. J., Anaya, R., and Palafox-Reyes, J., 2009. The impact of unconfined mine tailings

- in residential areas from a mining town in a semi-arid environment: Nacozari, Sonora, Mexico. *Chemosphere*, 77:140-147.
- Bullock, M S., Larney, F J., McGinn, S M., Izaurralde, R C. 1999. *Revue canadienne de la science du sol*, 79 :127-135, <https://doi.org/10.4141/S98-027>
- Roose Eric. 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin pédagogique de la FAO n°70. P 246
- Zaher, H. 2010. Conservation des sols et de l'eau. [en ligne] <http://www.ma.auf.org/erosion/>.
- Van Petl, R. S., Zobeck, T. M., Baddock, M. c. et Cox, J. J. 2010. Design, construction, and calibration of a portable boundary layer wind tunnel for field use. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 35:1413-1422.
- Sobek, A.A., Schuller, W.A., Freeman, J.R. et Smith, R.M. 1978. Field and laboratory methods applicable to overburdens and mine soil, EPA report no. EPA-600/2-78-054 p,47-50.
- Sweeney, M., V. Etyemezian, T. Macpherson, W. Nickling, J. Gillies, G. Nikolich, and E. McDonald, 2008, Comparison of PI-SWERL with dust emission measurements from a straight-line field wind tunnel, *Journal of Geophysical Research*, 113: F01012, doi:10.1029/2007JF000830.
- Bacon, G.H., Li, R., Liang, K.Y., 1997. Control Particulate and Metal HAPs. *Chemical Engineering Progress*, *AIChE*, 59-67