

Séquestration du carbone dans les résidus miniers de l'exploitation du chrysotile

Mémoire soumis au Bureau d'audiences publiques en environnement dans le
cadre du dossier « L'état des lieux et la gestion de l'amiante et des résidus
miniers amiantés »

Georges Beaudoin
Professeur
Directeur du Centre de recherche sur la géologie
et l'ingénierie des ressources minérales (E4m)
Université Laval

12 février 2020



UNIVERSITÉ
LAVAL

Séquestration du carbone dans les résidus miniers de l'exploitation du chrysotile

Présentation

Le Centre de recherche sur la géologie et l'ingénierie des ressources minérales (E4m; www.e4m.fsg.ulaval.ca) est un centre de recherche reconnu de l'Université Laval, qui comprend 14 membres réguliers et 18 membres associés, et plus d'environ 160 étudiants issus de sept (7) départements de la Faculté des sciences et de génie. La thématique de recherche du Centre E4m s'inscrit dans le domaine de la science et du génie des ressources minérales, et plus particulièrement au développement des connaissances en lien avec l'exploration, la géomécanique, l'exploitation, le traitement des minerais et les aspects environnementaux liés aux ressources minérales. Les quatre (4) axes de recherches privilégiés sont : 1) la géologie et l'exploration des ressources minérales, 2) la conception des ouvrages et des exploitations minières, 3) le développement et l'optimisation des procédés minéralurgiques et 4) le développement environnemental responsable des ressources minérales.

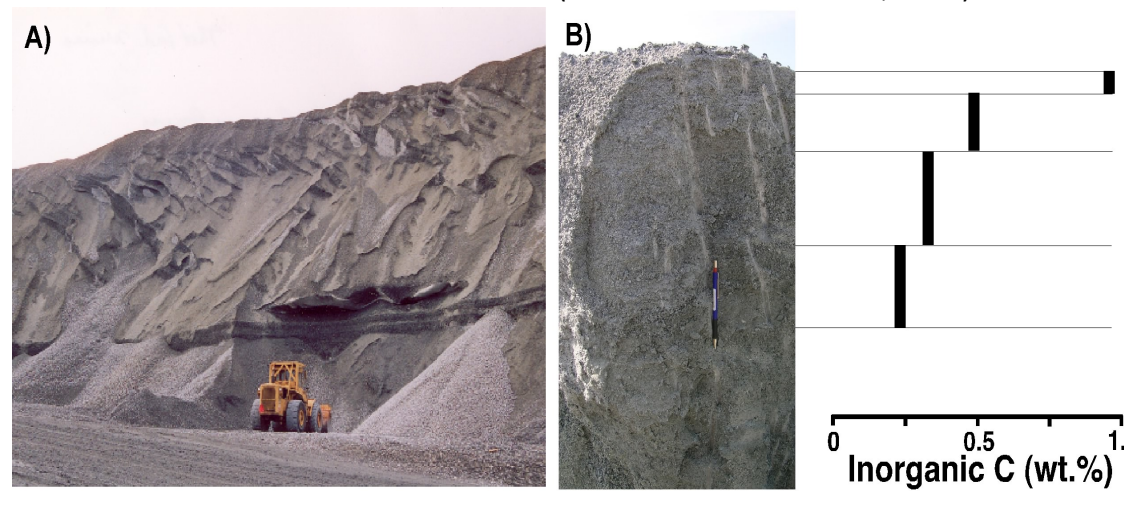
Introduction

Notre équipe de recherche a découvert que les résidus de l'exploitation du chrysotile dans le sud du Québec réagissent avec le CO₂ de l'atmosphère pour former des carbonates de magnésium stables qui cimentent les particules de résidus miniers (Figure 1A, Beaudoin et al., 2008). La cimentation par le carbone est illustrée par une concentration plus élevée en carbone à la surface de la croûte de résidus miniers (Fig. 1B). Cette observation a été confirmée ailleurs dans le monde. Nous avons effectué, depuis une série d'expériences en laboratoire et sur le terrain qui représentent une large plage d'échelles de temps (10³-10⁸ s) et de masse (10-10⁸ g) qui offrent une bonne compréhension des processus par lesquels le carbone atmosphérique est fixé dans des minéraux (carbonates de magnésium hydratés) stables par des réactions exothermiques avec les minéraux riches en magnésium des résidus de l'exploitation du chrysotile (Beaudoin et al. 2017).

Minéralisation passive du carbone dans les résidus miniers de l'exploitation du chrysotile

Le processus de minéralisation du carbone est le produit d'une réaction naturelle de météorisation des résidus miniers. Certains minéraux riches en magnésium, la brucite (Mg(OH)₂) et le chrysotile (Mg₃Si₂O₅(OH)₄) en particulier,

Figure 1. A) Exemple de cimentation des résidus miniers marqué par des croutes en relief (mine Beaver). B) Concentration en carbone organique élevée à la surface d'une croûte cimentée de résidus miniers (tirées de Beaudoin et al., 2008).



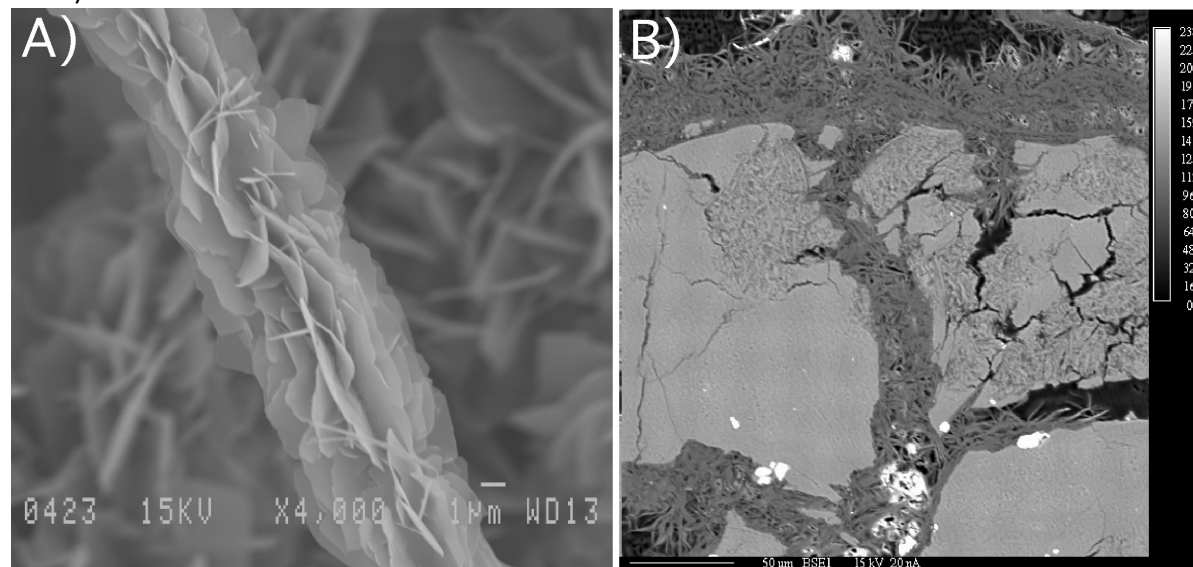
sont réactifs en présence d'eau et de CO_2 . La réaction est spontanée aux conditions ambiantes et forme des carbonates de magnésium hydratés, comme l'hydromagnésite ($\text{Mg}_5(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), qui cimentent les particules de résidus miniers (Figure 2, Beaudoin et al., 2017).

Assima et al. (2014) ont présenté une synthèse des expériences en laboratoire qui identifient les principaux facteurs qui contrôlent les réactions de minéralisation du carbone :

- Minéralogie du résidu minier
- Teneur en eau
- Fréquence d'arrosage
- Précipitation de minéraux qui passivent les surfaces de réaction
- La concentration en CO_2 dans l'eau et dans l'air

Les expériences sur le terrain comprennent des cellules expérimentales construites avec des résidus miniers, ainsi qu'un forage de 90 m de profondeur dans le parc de résidus miniers de la mine Black Lake, équipés d'instruments de suivi pour mesurer divers paramètres dont la teneur en CO_2 dans l'air interstitiel. Ces expériences démontrent que l'air interstitiel des empilements de résidus miniers devient rapidement appauvri en CO_2 en raison de la réaction rapide avec les minéraux magnésiens (Lechat et al. 2016). La capture du carbone est plus intense en surface en raison de la concentration plus élevée en CO_2 (Lechat et al, 2016). Dans le parc à résidus de la mine Black Lake, l'air interstitiel dans les résidus est aussi appauvri en CO_2 par rapport à l'atmosphère en raison de la capture du carbone. L'apport de CO_2 au site de réaction est le facteur limitatif à la réaction de minéralisation du carbone. Dans le parc à résidus miniers de la

Figure 2. A) Fibre de chrysotile recouverte de flocons d'hydromagnésite. B) Fragments de résidus miniers cimentés par des cristaux d'hydromagnésite (tirées de Beaudoin et al., 2008).



mine Black Lake, la réaction exothermique de minéralisation du carbone entraîne la production d'environ 0,4 mW/m³ de chaleur (Nowamooz et al., 2018).

Sommaire

Les résidus miniers de l'exploitation du chrysotile réagissent de manière spontanée avec le CO₂ atmosphérique en présence d'eau. Cette réaction de minéralisation du carbone capture le CO₂ atmosphérique dans des carbonates de magnésiums hydratés, de manière permanente. La réaction de minéralisation du carbone cimente les résidus miniers, ce qui modifie les propriétés des résidus, et détruit les minéraux fibreux lors de la réaction de cimentation. On a estimé que la réaction de minéralisation du carbone capture naturellement et passivement 100 tonnes de CO₂ par année dans le parc à résidus de la mine Black Lake, alors que le potentiel total de capture est de 3 millions de tonnes de CO₂ (Nowamooz et al., 2018). En plus de capturer du CO₂, la minéralisation du carbone produit de l'énergie thermique. La minéralisation du carbone offre donc le potentiel de réduire l'empreinte environnementale des opérations minières en combinant la capture du CO₂ dans les résidus miniers et la récupération d'énergie géothermique aux opérations de stockage des résidus miniers.

Références

- Assima GP, Larachi F, Molson JW, Beaudoin G (2014) Potential of Canadian mining residues for ambient carbonation. *Carbon Capture Journal* 39:7-10.
- Beaudoin G, Hébert R, Constantin M, Duchesne J, Cecchi E, Huot F, Vigneau S, Fiola R (2008) Spontaneous carbonation of serpentine in milling and mining waste,

- southern Québec and Italy. ACEME08, 2nd International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering. Rome, Italy, pp 73-82.
- Beaudoin G, Nowamooz A, Assima GP, Lechat K, Gras A, Entezari A, Kandji EHB, Awoh A-S, Horswill M, Turcotte S, Larachi F, Dupuis C, Molson J, Lemieux J-M, Maldague X, Plante B, Bussière B, Constantin M, Duchesne J, Therrien R, Fortier R (2017) Passive Mineral Carbonation of Mg-rich Mine Wastes by Atmospheric CO₂. *Energy Procedia* 114:6083-6086. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1745>.
- Lechat K, Lemieux J-M, Molson J, Beaudoin G, Hébert R (2016) Field evidence of CO₂ sequestration by mineral carbonation in ultramafic milling wastes, Thetford Mines, Canada. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 47:110-121. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2016.01.036>.
- Nowamooz A, Dupuis JC, Beaudoin G, Molson J, Lemieux J-M, Horswill M, Fortier R, Larachi F, Maldague X, Constantin M, Duchesne J, Therrien R (2018) Atmospheric Carbon Mineralization in an Industrial-Scale Chrysotile Mining Waste Pile. *Environmental Science & Technology* 52:8050-8057. doi: 10.1021/acs.est.8b01128.