

Des résidus miniers pour contrer le réchauffement climatique

Sara Turcotte, Département de géologie et génie géologique, Université Laval

11 avril 2016



1 Introduction

Les impacts du réchauffement climatique sont nombreux, que ce soit l'augmentation d'envergure des catastrophes naturelles, la fonte des glaciers ou encore l'extinction de certaines espèces vulnérables, tous sont préoccupants. Les émissions massives de gaz à effet de serre (GES) ne font qu'accélérer ce processus. Les scientifiques estiment à plus de 3°C l'augmentation de la température moyenne de la Terre d'ici 2100 si aucune mesure d'atténuation des émissions de GES n'est adoptée [1]. Mais existe-t-il des solutions efficaces permettant de contrer ce phénomène? Plusieurs solutions sont accessibles, notamment la séquestration du carbone. Les émissions de dioxyde de carbone représentaient près de 80% des GES émis au Québec en 2012 [2]. Séquestrer le dioxyde de carbone (CO_2) de façon permanente serait donc une solution prometteuse. Pour ce faire, les parcs de résidus miniers québécois, plus précisément les parcs de résidus d'exploitation de l'amiante, s'avèrent être des sites idéaux pour stocker le dioxyde de carbone sous forme de carbonate.

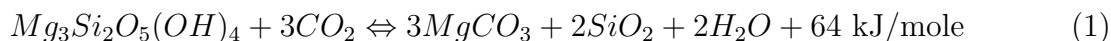
L'utilisation de l'amiante bien que très réglementé aujourd'hui fut un moteur économique important pour l'industrie minière québécoise dès le 19^e siècle. En 1973, l'exploitation cana-

dienne de la chrysotile représentait le quart de la production mondiale, ce qui constitue plus de 1.8 milliards de tonnes d'amiante produites [3]. L'abondance de roches ultramafiques⁵ offre l'opportunité de séquestrer une importante quantité de CO₂. Ces roches contiennent de la serpentine ou de l'olivine. Ce qui permet de croire que grâce la carbonatation minérale, ces résidus, pourraient être une solution envisageable pour compenser l'émission d'une certaine quantité de GES.

2 Carbonatation minérale

La carbonatation minérale est un phénomène qui permet de séquestration le dioxyde de carbone de façon permanente et sans impact environnemental. Dans le cas étudié, le CO₂ est stocké sous forme de carbonate de magnésium. Par le biais d'une réaction chimique avec un minéral riche en magnésium par exemple, le CO₂ atmosphérique se précipite afin de former ce qu'on appelle la magnésite. Cette réaction spontanée est dite exothermique, ce qui signifie qu'elle libère de l'énergie. De plus, le CO₂ stocké sous forme de magnésite y est de façon permanente puisque les conditions thermodynamiques à la surface de la croûte terrestre lui permettent d'être dans un état stable.

Il existe plusieurs procédés pour faire réagir le dioxyde de carbone avec le magnésium. Dans le cas étudié, la serpentine, mise en solution avec l'eau de pluie, réagit avec le dioxyde de carbone atmosphérique afin de former un carbonate hydraté appelé hydromagnésite (réaction 1 [4]).



Plusieurs chercheurs du Département de géologie et génie géologique de l'Université Laval étudient actuellement le processus de carbonatation minérale à la mine *Black Lake* dans la

5. Roches, formées lors du refroidissement de magma, riches en fer et magnésium.

région de Thetford Mines. Pour modéliser le système physique que constitue la pile de résidus minier, ils ont recours à plusieurs techniques d’analyses telles que les analyses pétrophysiques et diagraphiques. En effet, pour avoir un modèle représentatif qui permet de prédire le comportement d’un système, il ne faut rien laisser au hasard. Tous les aspects pouvant affecter ledit système, que ce soit le couvert de neige, la direction du vent, les propriétés physiques des roches constituant la pile, ou encore la température, doivent être mesurés, quantifiés et analysés. Toutefois, mesurer chacune des composantes d’un système individuellement n’est pas suffisant. En effet, il faut comprendre comment réagit globalement celui-ci. Par exemple, lorsque l’on apprend un nouveau langage, il ne suffit pas de connaître tous les mots du dictionnaire pour pouvoir entretenir une conversation, il est nécessaire de comprendre la syntaxe dudit langage. Le même principe s’applique ici, pour modéliser le système, il faut comprendre l’impact qu’a chaque composante sur celui-ci, en l’occurrence, la composition de la pile de résidus miniers.

3 Analyses géophysiques

Dans le même ordre d’idées, étudier la surface de la pile uniquement ne donne pas assez d’informations, il est donc nécessaire d’étudier la formation géologique en profondeur. Pour ce faire, des instruments géophysiques comme le géoradar sont utiles. Le géoradar est un appareil de mesure permettant d’obtenir des informations sur les propriétés physiques des structures non-métalliques⁶ ou peu conductrices étudiées de façon non-destructive. En d’autres mots, le géoradar permet de tirer de l’information d’un système, à l’aide d’ondes électromagnétiques, sans toutefois l’affecter. La disposition du géoradar en forage est telle que démontré par la figure 1.

6. Les structures métalliques agissent comme des réflecteurs.

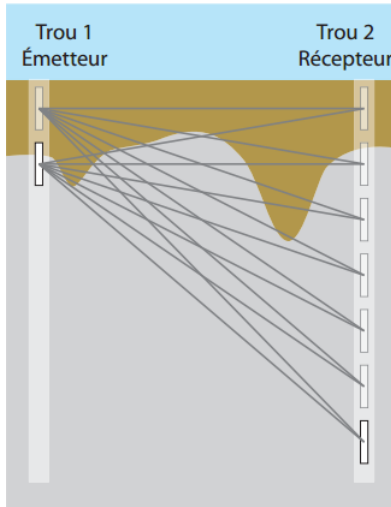


FIGURE 1 – Disposition de l’antenne émettrice et réceptrice du géoradar entre trous. L’antenne émettrice est à une position fixe tandis que l’antenne réceptrice se déplace le long du puits de forage. La série de mesures est effectuée pour plusieurs positions de l’antenne émettrice [5].

Son principe de fonctionnement est le suivant : une onde électromagnétique est transmise dans le sol et se propage jusqu’à rencontrer un changement d’impédance⁷. À la rencontre d’un changement de porosité ou de saturation en eau par exemple, l’onde émise est modifiée et ensuite captée par un récepteur. Idéalement, le signal capté par le récepteur proviendrait uniquement de l’onde initiale produite par l’antenne émettrice ou encore d’un réflecteur. La réalité est tout autre. Il existe plusieurs facteurs pouvant influencer la qualité du signal recueilli, soit le bruit. Le bruit est un signal parasite qui masque partiellement ou entièrement, dans certains cas, le signal utile. Il est important, dans les étapes de traitement du signal, de réduire l’effet du bruit, puisque tout signal, même de faible amplitude, peut avoir un impact sur les résultats. En effet, pour l’analyse des données géoradar, il est nécessaire d’identifier la première arrivée de l’onde directe tel que démontré par la figure 2. Dans un cas où le bruit serait trop important par rapport au signal, il serait impossible d’identifier cette arrivée.

7. L’impédance d’un milieu correspond en gros à la résistance qu’offre ce milieu à la propagation d’une onde électromagnétique

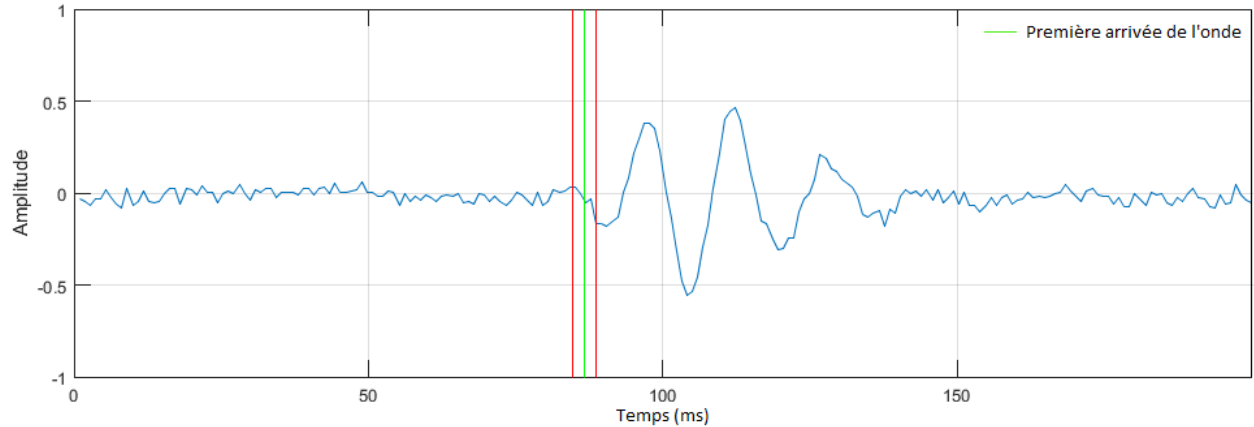


FIGURE 2 – Identification de l’arrivée de l’onde directe. On remarque sur les premières 75ms, par exemple, que le signal est bruité, toutefois le bruit ne masque pas l’onde recherché.

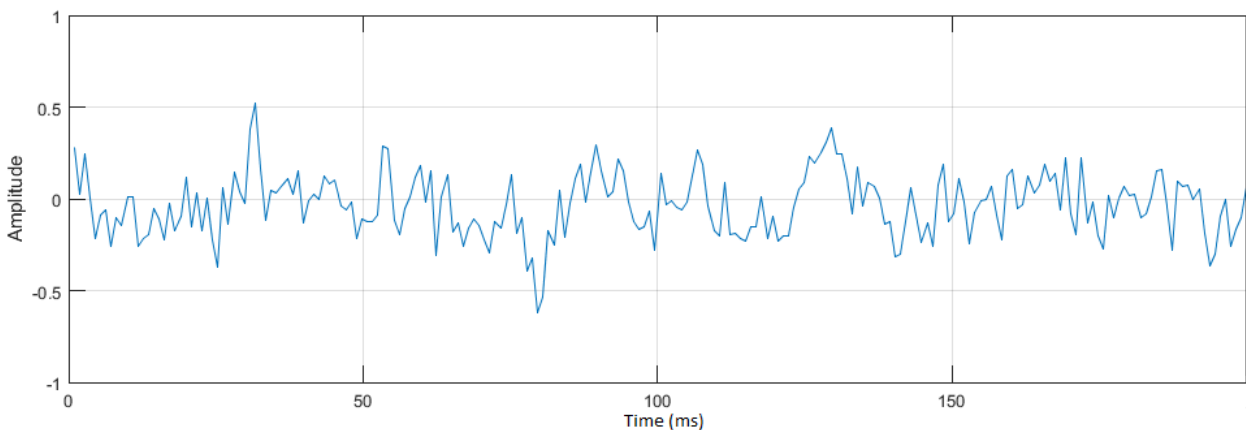


FIGURE 3 – Trace où l’identification de l’arrivée de l’onde directe est impossible en raison de l’amplitude du bruit.

4 Traitement de signal

Des méthodes de traitements de signal telles que la soustraction de bruit harmonique peuvent être appliquées [6]. Le filtre harmonique permet d’estimer l’amplitude et la phase d’un signal de bruit dit harmonique (des oscillations d’amplitude et de fréquence constantes) dont la fréquence fondamentale est connue. Les figures 4a et 4b démontrent l’efficacité de

cette technique pour réduire les ondelettes de bruit sur le signal.

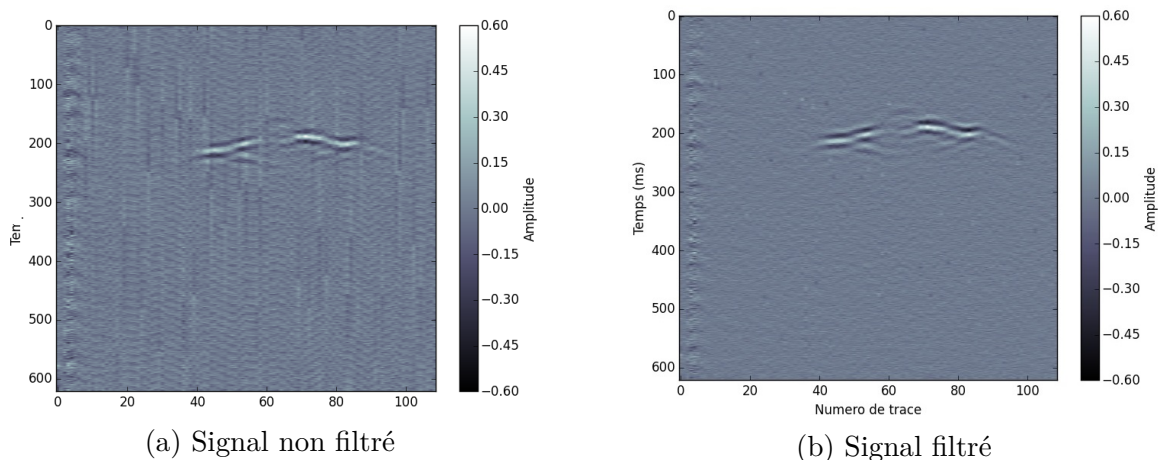


FIGURE 4 – Représentation du signal capté par le géoradar pour un position d’antenne émettrice fixe et d’une antenne réceptrice mobile

Une fois le bruit suffisamment réduit, de la tomographie peut être effectuée à partir des données de géoradar recueillies. La tomographie est une méthode d’imagerie qui permet de reconstituer un objet à partir des mesures non-destructives (mesures qui n’affectent pas le milieu étudié) effectuées sur celui-ci. L’identification de l’arrivée de l’onde directe permet de déterminer le temps de parcours de celle-ci à travers le milieu. Les figures 4a et 4b représentent tous les signaux captés par le récepteur, côtes à côtes, lorsque l’émetteur était à une position fixe.

Par ailleurs, sachant la distance entre les deux antennes de l’appareil, on obtient des informations sur la vitesse de propagation de l’onde et donc sur la variation diélectrique du milieu entre les deux forages. L’identification des ondes directes ne peut s’effectuer que sur certaines traces. Une trace correspond au signal recueilli par le récepteur lorsque les deux antennes sont à un point fixe. Toutefois, il est tout de même possible d’obtenir une carte des vitesses de propagation entre les deux puits de forage (voir figure 5). Cette carte a été obtenue par l’analyse des données de géoradar en forage dans des puits de 40 mètre de profondeurs sur la pile de résidus miniers à la mine *Black Lake*.

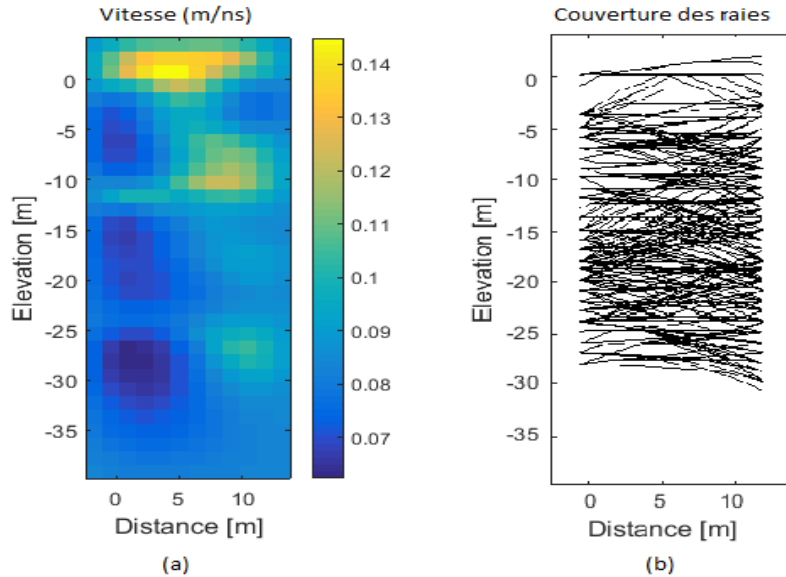


FIGURE 5 – (a) Carte des vitesses de propagation d’un onde dans le milieu étudié entre deux puits de forage séparés d’une distance de 10m. (b) Couverture spatiale des traces où l’onde directe était identifiable.

La carte des vitesses peut donner plusieurs informations sur la composition du sol. On obtient notamment des informations sur la variation en saturation de l’eau, la permittivité électrique et la constante diélectrique par exemple. Ces résultats permettent principalement de comprendre les mécanismes d’écoulement à l’intérieur de la pile, mais également de comprendre comment celle-ci a été formée. Ces résultats permettront possiblement de comprendre comment et quelle quantité de CO_2 est séquestré en fonction de la profondeur.

Afin d’ajouter aux analyses de géoradar, des mesures de concentration de dioxyde de carbone sont prises en profondeur de la pile. La combinaison des données de concentration et de composition de la pile de résidus permet de visualiser les endroits où les conditions favorisent la réaction de carbonatation minérale. Les données recueillies démontrent que la concentration en CO_2 à l’intérieur de la pile est inférieure à celle de l’atmosphère (~ 400 parties par million)⁸, soit des variations de 10 parties par million à 200 parties par million.

8. La mesure de référence pour la concentration en CO_2 de l’atmosphère est prise au *NOAA Earth System Research Laboratory*, à Mauna Loa, Hawaiï

5 Conclusion

Ces expériences auront pour but d'optimiser la séquestration du dioxyde de carbone par la compréhension des processus qui contrôlent les vitesses de réaction. De plus, il existe d'autres avantages à la carbonatation minérale, notamment la récupération d'énergie thermique et de métaux comme le nickel. En effet, comme la réaction chimique est exothermique, elle libère une certaine quantité d'énergie qui peut ensuite être captée. De surcroît, les résidus de serpentine contiennent une quantité de nickel non négligeable ($\sim 0.23\%$) qui peut être récupérée lors du processus de carbonatation minérale [4]. Faisant d'une pierre deux coups, ce projet de recherche offre une opportunité pour le Québec de revaloriser certains sites miniers tout en atténuant la quantité de dioxyde de carbone relâché dans l'atmosphère.

Références

- [1] GIEC, *Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse*. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.
- [2] Ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques. Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Québec, *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2012 et leur évolution depuis 1990*, 2015. 21 p.
- [3] Les Archives de Radio-Canada, Société Radio-Canada, *Le plus grand producteur d'amiante au monde*, 11 avril 2003. http://archives.radio-canada.ca/sante/sante_public/dossiers/665-3742/.
- [4] G. Beaudoin, *La séquestration du carbone : une troisième voie pour le Protocole de Kyoto*. Université Laval, Département de géologie et génie géologique. Mémoire soumis à la Commission des transports et de l'environnement : « Consultation générale sur la mise en oeuvre du Protocole de Kyoto au Québec ».
- [5] B. Giroux, *Méthodes sismiques, Tomographie sismique en forage*. INRS-ETE, Automne 2015. Version 0.9.2.
- [6] K. E. Butler and R. D. Russel, *Subtraction of powerline harmonics from geophysical records*. GEOPHYSICS, Juin 1993. Vol. 58, No. 6, P. 898-903.