

Séquestration du CO₂ industriel par carbonatation minérale de résidus miniers issus d'exploitation d'apatite

Waâd Khemiri¹, Guy Mercier¹, Louis- César Pasquier¹, Jean-François Blais¹, Maria C. Iliuta²

¹INRS-ETE, ²Université Laval

Introduction

Depuis la révolution industrielle, des changements climatiques ne cessent de se manifester et attirent de plus en plus l'attention scientifique et sociétale. Cette évolution rapide du climat est causée principalement par les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées aux activités humaines.

Au Canada, les émissions de CO₂, le plus important GES d'origine anthropique représentant 79% des émissions totales, ont atteint 722 Mt dont 587 Mt produites par le secteur de l'énergie. Dans ce contexte, le Canada s'est engagé, d'ici 2030, à réduire de 30% ses émissions de GES par rapport aux niveaux de 2005.

D'un autre côté, l'activité minière au Canada, et précisément au Québec, est au cœur de son développement générant d'importantes quantités de résidus miniers pouvant être valorisés en les faisant intervenir dans la réduction des émissions de CO₂, provenant des cheminées des industries, via un procédé de carbonatation minérale.

Objectif

Étudier le potentiel de résidus miniers issus de l'exploitation d'un gisement d'apatite « Projet mine Arnaud » à séquestrer le CO₂ industriel.

1. Caractérisation des résidus miniers.
2. Evaluation de la réactivité des résidus miniers selon deux voies de carbonatation: humide et en suspension aqueuse.
3. Optimisation de la réactivité des résidus miniers.

Matériel et méthodes

1. Matière première

- Résidu minier provenant du procédé de flottation d'un futur projet d'exploitation d'apatite, un composé de phosphate, situé dans la région de Sept-îles au nord du Québec.
- Les résidus sont générés selon le schéma de procédé simplifié suivant:

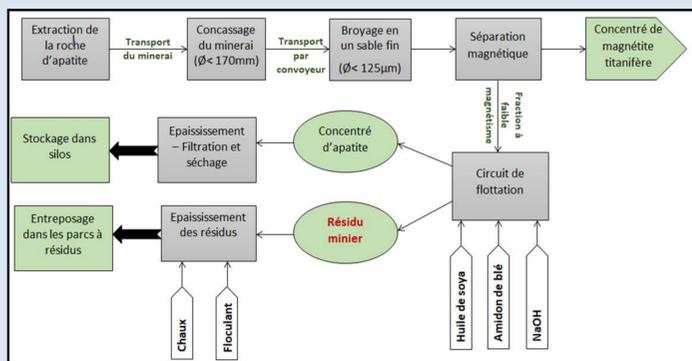


Figure 2. Schéma récapitulatif du procédé d'exploitation d'apatite du projet "mine Arnaud".

➤ **Composition chimique:** déterminée par spectrophotométrie à émission de plasma induit ICP-AES (modèle Vista AX CCO Simultaneous ICP-AES) après fusion alcaline au métaborate de lithium.

Tableau 1. Pourcentage massique des éléments chimiques dans les résidus miniers (%p/p)

Élément	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	SiO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	MnO
Moyenne	12,843	8,671	24,048	9,743	2,240	43,728	8,609	2,757	0,236	0,355
Ecart-type	0,196	0,191	0,379	0,067	0,032	0,385	0,259	0,099	0,007	0,005

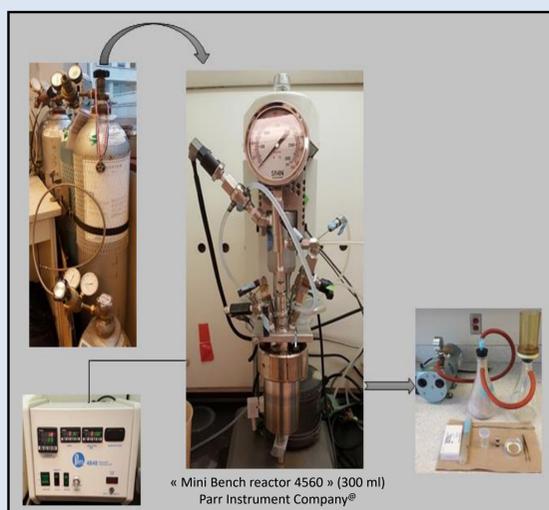
➤ **Granulométrie:** déterminée à l'aide d'un granulomètre laser (Horiba LA-950V2, Laser Scattering Particules Distribution Analyzer).

➤ **Taux d'humidité** est égal à 18,84 ± 1,07.

Tableau 2. Détermination de la granulométrie des particules.

Échantillons	Taille moyenne (µm)	Taille médiane (µm)
Résidus miniers non magnétiques	85,57 ± 2,24	63,59 ± 2,57

2. Dispositif expérimental



Conditions opératoires:

- Gaz à 100% CO₂
- Pression totale: 10 bar
- Température ambiante
- Agitation: 600 rpm
- Deux voies investiguées:
 - ✓ Voie humide (81% ST)
 - ✓ Suspension aqueuse (15% ST)
- Échantillons prélevés à: 5 - 10 - 15 - 30 - 60 min

Paramètres suivis:

- Température maintenue constante
- Pression finale du gaz à la sortie du réacteur
- Concentration des éléments d'intérêt: Mg, Ca, Fe et Si (par ICP-AES après acidification par HNO₃ (cc))
- Carbone inorganique dissout (Spectroscopie infrarouge non dispersive à l'aide de l'appareil Schimadzu TOC-VCPH)

Originalité

- Traiter différents effluents gazeux pour répondre à la problématique de réduction de GES tout en valorisant les déchets d'une mine pour assurer son acceptabilité sociale et réduire son impact sur l'environnement.
- Générer des sous produits stables et valorisables rendant le procédé de carbonatation minérale rentable.

Résultats préliminaires

1. Voie humide (81% ST)

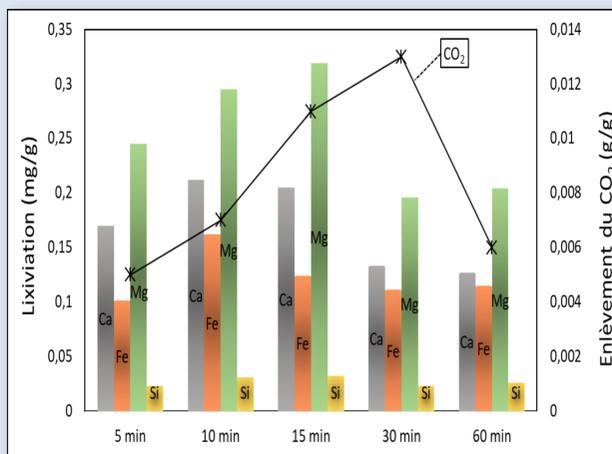


Figure 3. Évolution de l'enlèvement du CO₂ (en g/g) et de la lixiviation des métaux (en mg/g) dans des conditions humides.

• L'enlèvement du CO₂:

- atteint son maximum au bout de 30 min de réaction avec une capacité de 0,013 g de CO₂ enlevé/ g de résidu
- décroît après 30min pour atteindre 0,006 g/g.

• La lixiviation des métaux:

- Le Mg et le Ca sont les métaux les plus abondants avec une capacité de lixiviation maximale de 0,32 et 0,21 mg lixivié respectivement pendant 15min par g de résidu.
- Diminution du Mg et du Ca en solution après 15 min
- Formation d'un précipité blanc dans la solution post réaction pouvant s'agir d'un carbonate de Mg ou de Ca.
- La lixiviation du Fe et la Si est faible.

2. Suspension aqueuse (15% ST)

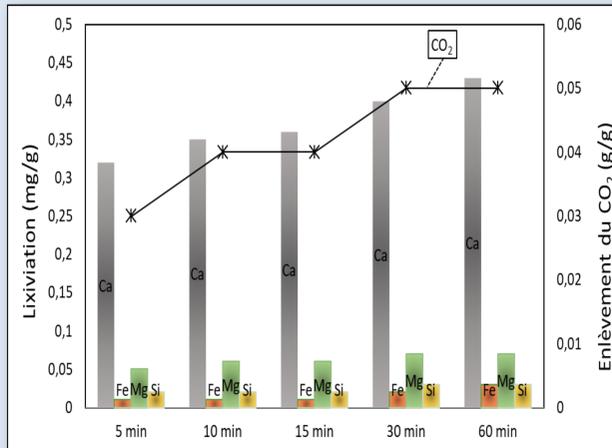


Figure 4. Évolution de l'enlèvement du CO₂ (en g/g) et de la lixiviation des métaux (en mg/g) en suspension aqueuse.

• L'enlèvement du CO₂:

- Plus important avec une capacité maximale de 0,05 g de CO₂ enlevé/ g de résidu

• La lixiviation des métaux:

- Lixiviation du Ca est la plus importante et atteint 0,43 mg/g
- Lixiviation du Mg, Fe et Si négligeable

Conclusions

- ❖ La tendance générale des résultats d'enlèvement de CO₂ en phase humide est faible par rapport à celle en suspension aqueuse. Il est donc plus intéressant d'étudier la réaction de carbonatation en suspension aqueuse.
- ❖ La réactivité des résidus miniers du projet mine Arnaud est faible dans les conditions opératoires des essais préliminaires. Le taux de lixiviation des métaux est en dessous de 1%.

Référence

[1] Environnement et changement climatique Canada (2017) Rapport d'inventaire national 1990-2015: Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada.

Perspectives

- ❖ Une approche indirecte basée sur la méthode du pH-swing sera envisagée lors des prochains essais en utilisant l'ajout de réactifs chimiques pour améliorer la dissolution du matériel et favoriser un meilleur rendement de carbonatation minérale.
- ❖ Une optimisation de l'étape de dissolution du matériel aura lieu en utilisant différents solvants sous différentes conditions opératoires.

Contact

Waâd Khemiri, M. Sc. de la terre
490, de la Couronne Street
Quebec City, QC, G1K 9A9
email: waad.khemiri@ete.inrs.ca