

Optimisation de la réaction de carbonatation minérale à l'aide de résidus miniers provenant de l'industrie du fer

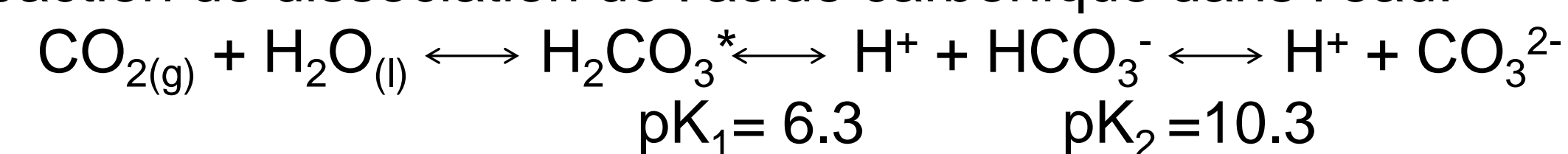
Cindy Beaulieu, Emmanuelle Cecchi, Louis-César Pasquier, Jean-François Blais, Guy Mercier
Institut national de la recherche scientifique (Centre Eau-Terre-Environnement), Université du Québec, Québec

Mise en contexte

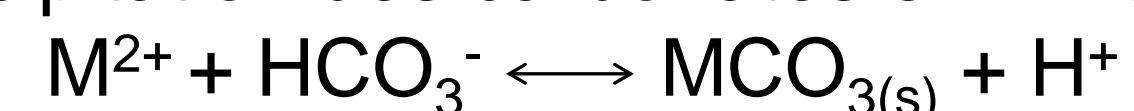
- Les changements climatiques sont principalement causés par l'augmentation des émissions anthropiques de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Le CO₂ est le GES le plus rejeté.
- En 2012, au Québec, le secteur industriel était le deuxième plus grand émetteur de GES (31,6%), derrière celui du transport (44,7%) (MDDELCC, 2015).
- La carbonatation minérale est l'une des techniques de capture du CO₂ les plus sécuritaires et durables à long terme (IPCC, 2013).

Mécanisme réactionnel en deux étapes :

1) Réaction de dissociation de l'acide carbonique dans l'eau:



2) Réaction de précipitation des carbonates en milieu aqueux:



où M²⁺ = Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺ proviennent des minéraux présents.

Objectif



Vérifier le **potentiel de carbonatation minérale** en phase aqueuse **des résidus miniers** de la compagnie minière *Cliffs Natural Ressources* afin de **développer un procédé de capture des émissions de CO₂** émis par l'usine de bouletage.

Originalité

Ce projet de recherche est l'un des premiers à expérimenter l'utilisation de résidus miniers de l'industrie du fer dans l'application d'un procédé de carbonatation minérale, afin de répondre à la problématique des émissions industrielles de GES.

Conclusions

- Bien que la séparation magnétique ait permis d'éliminer 35 % du quartz et de concentrer les oxydes de fer (Tableau 2), la lixiviation du fer n'est pas significativement différente pour les deux matériaux testés (Tableau 4).
- Lors du « pH swing », le fer est presque complètement précipité lorsque le pH de la solution atteint 5 (Figure 2). Des essais supplémentaires sont à effectuer.
- Dans les conditions actuelles, les résidus miniers de la compagnie *Cliffs Natural Ressources* ne semblent pas être des matériaux propices à la carbonatation minérale.



Appareil de séparation magnétique
Source: PhySep

Références

IPCC (2013) : *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (2015) *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2012 et leur évolution depuis 1990*. Édit Direction Des Politiques De La Qualité De L'atmosphère (Bibliothèque et Archives nationales du Québec, Québec), p. 21.

Méthodologie

- Caractérisation des résidus miniers (granulométrie, chimique, minéralogique) et quantification de l'abondance des minéraux par DRX selon la méthode Rietveld (Tableau 1).
- Premiers essais de carbonatation minérale directe en phase aqueuse
➤ Résultats non concluants.
- Optimisation de la réaction de carbonatation minérale en phase aqueuse selon un processus indirecte :**
 - Séparation magnétique:** concentrer les oxydes de fer et diminuer la quantité de quartz (inerte à la carbonatation) dans le matériel réactif
 - Lixiviation acide des métaux** contenus dans les résidus:
Détermination des conditions optimales de lixiviation selon un plan d'expérience de type Box-Behnken
 - Essais de « **pH swing** » sur le lixiviat

Tableau 1: Composition minéralogique principale (95% de l'échantillon) des résidus miniers

Minéraux	Formule chimique	Abondance (%)
Quartz	SiO ₂	53.6
Actinolite	Ca ₂ (Mg,Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	11.1
Hématite	Fe ₂ O ₃	10.3
Magnétite	Fe ₃ O ₄	3.8
Albite	NaAlSi ₃ O ₈	3.6
Calcite	CaCO ₃	3.1
Biotite	K(Mg,Fe) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂	2.9
Talc	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	2.2
Amorphe		4.4

Résultats

I. Séparation magnétique

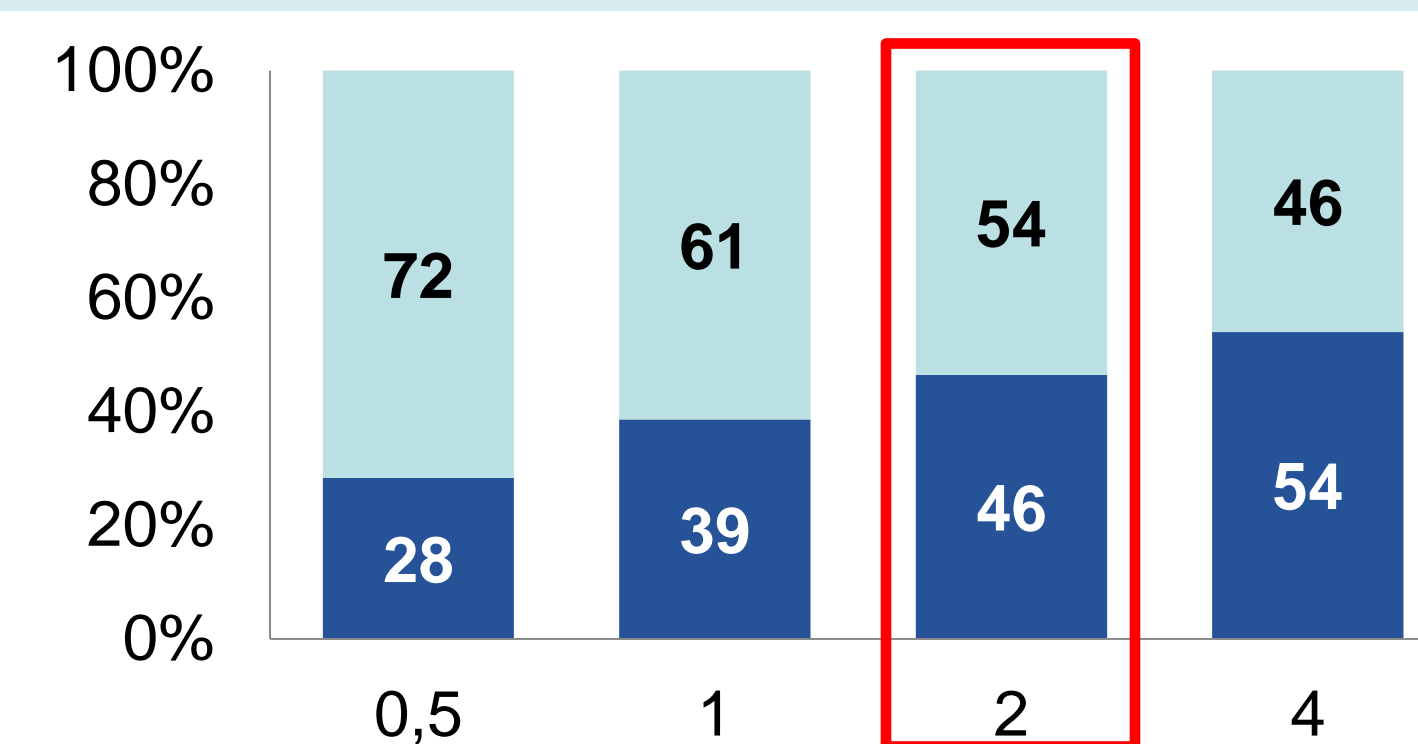


Figure 1-A: Pourcentage massique des fractions récupérées

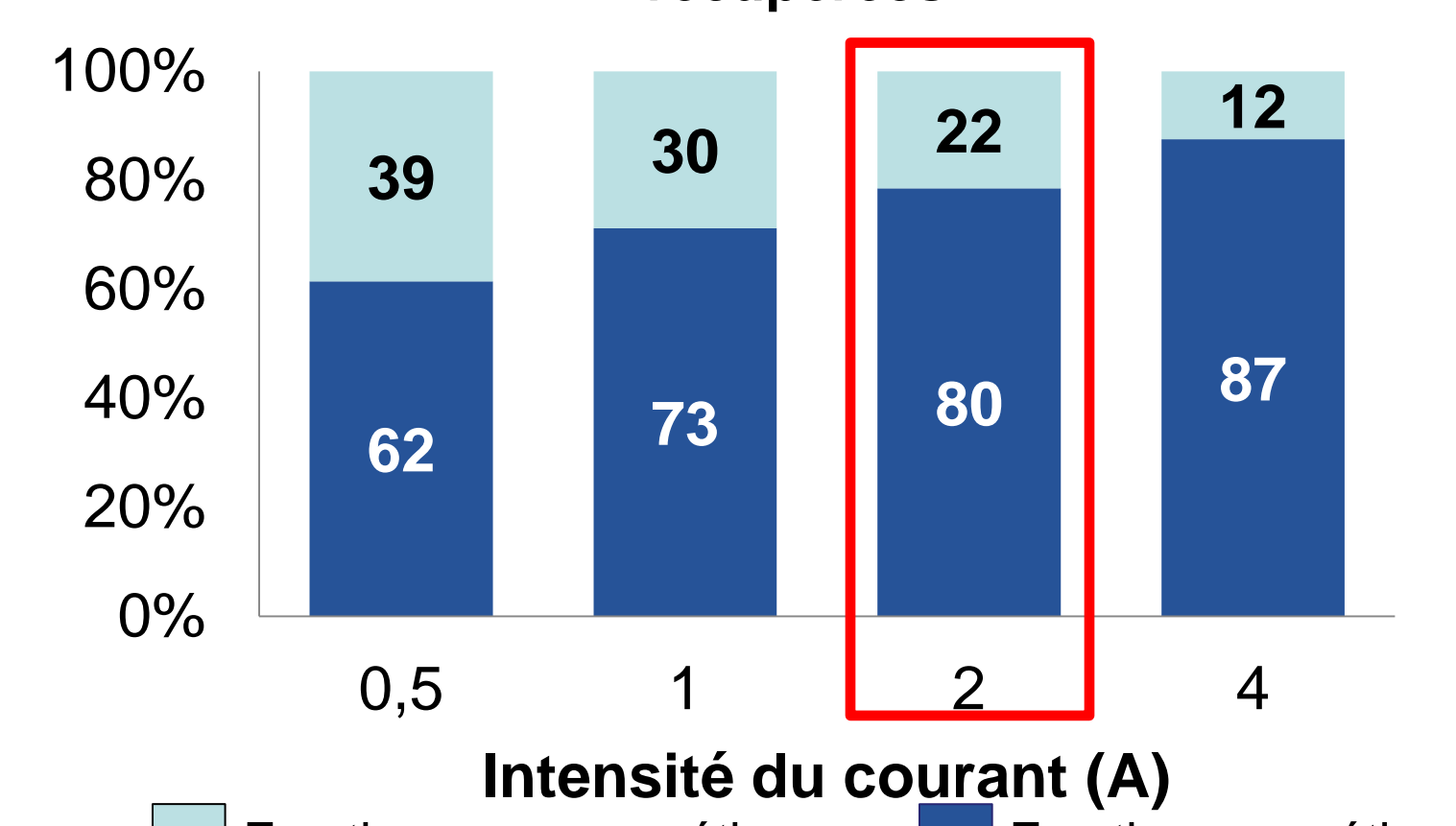


Figure 1-B: Pourcentage massique du fer contenu dans chaque fraction

Tableau 2. Variation de l'abondance des minéraux, dans la fraction magnétique obtenue à 2A (DRX, méthode Rietveld)

Minéraux	Abondance (% massique)			Conc. (%) minéraux
	Bruts	Frac. Mag.	Variation	
Quartz	54	35	-19	-35
Actinolite	11	16	5	40
Hématite	10	17	7	68
Magnétite	4	7	3	95

II. Lixiviation acide

- L'optimisation des paramètres opératoires a été réalisée en utilisant un plan d'expériences de type Box Behnken.
- Une matrice expérimentale de 17 essais a été réalisée pour étudier l'effet des facteurs sur la lixiviation du fer dans la fraction magnétique.
- Un modèle mathématique a été créé afin de déterminer les conditions optimales dans le domaine expérimental.

Tableau 3. Facteurs expérimentaux étudiés pour la réalisation du plan d'expériences de lixiviation du fer, et conditions optimales calculées

Facteurs	Unité	Niveaux			Cond. optimales
		(-1)	(0)	(+1)	
Densité de pulpe (p/p)	%	5	12.5	20	15.17
Concentration H ₂ SO ₄	mol/L	0.05	0.275	0.5	0.49
Température	°C	20	44	68	68

- Effet des facteurs sur la lixiviation du fer :
Température > [H₂SO₄] > Densité pulpe

Tableau 4. Composition de la phase liquide, suite à la lixiviation aux conditions optimales, en fonction du matériel réactif

Matériel réactif	Frac. Mag.		Résidus bruts	
	Fe	Mg	Ca	
Concentration métaux dans liquide (mg/L)	1390	530	1747	
(% lixiviation des résidus)	(3.8)	(13.9)	(39.6)	
	1070	519	1703	
	(4.1)	(15.5)	(38.0)	

III. « pH swing »

- Détermination de la quantité de fer (II) dans la solution post lixiviation obtenue avec les résidus bruts par spectrophotométrie d'absorption (1,10-phénanthroline).

Tableau 5. Détermination du ratio Fe(II)/Fe total dans la solution

	Valeurs moyennes
[Fe] Total (mg/L)	1047 ± 17
[Fe(II)] (mg/L)	468 ± 13
Ratio Fe(II)/Fe(III) (%)	81
Ratio Fe(II)/Fe Total (%)	45

- Essais préliminaires de « pH swing » sur la solution post lixiviation obtenue avec les résidus bruts
- Base utilisée: NaOH 5M

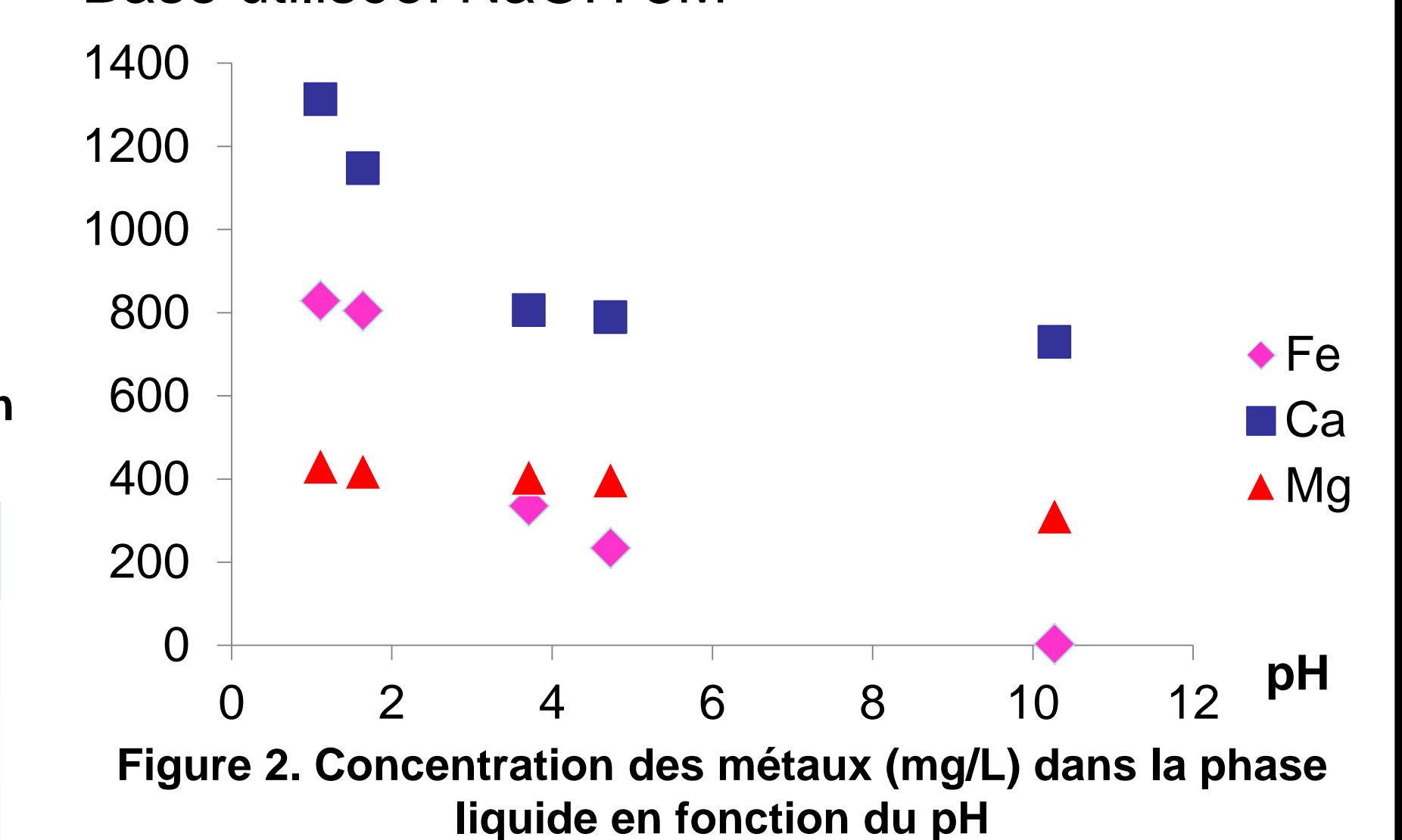


Figure 2. Concentration des métaux (mg/L) dans la phase liquide en fonction du pH