



VEILLE TECHNOLOGIQUE

Utilisation du Carbone Minéralisation

Date	Rédaction	Validation
22/06/2026	Pauline Fortrye	Luc Nourrisson

UTILISATION DU CARBONE – MINÉRALISATION

QU'EST-CE QUE C'EST, À QUOI ÇA SERT ?

La minéralisation du CO₂ consiste en une **réaction entre le CO₂ et des oxydes de magnésium ou de calcium pour produire des carbonates** (MCO₃ : la forme thermodynamique la plus stable du CO₂ - produits inertes).

C'est un procédé exothermique qui se produit naturellement mais lentement : il doit être accéléré pour une application à l'échelle industrielle (TRL 6 à 9).

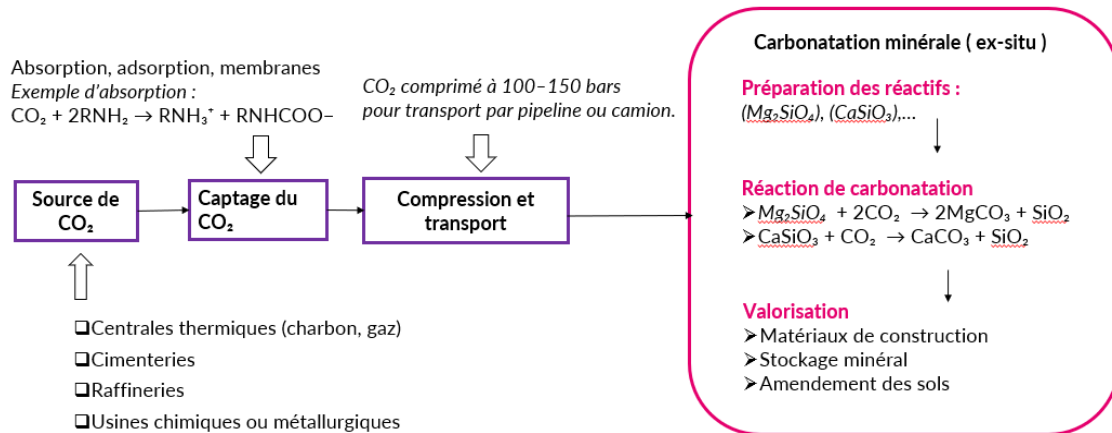


Schéma : Carbonatation minérale (ex-situ) – Présentation générale

Deux types de minéralisation :

- In-situ** : le CO₂ est injecté dans des formations géologiques riches en silicates ou dans des aquifères alcalins → stockage géologique classique.
- Ex-situ** : hors-sol dans une usine de transformation dédiée, où le CO₂ réagit avec la roche porteuse de cations métalliques → **potentiel d'utilisation du CO₂**.
- Principale application : formation de calcaire (CO₂ + chaux éteinte (Ca(OH)₂) avec de l'eau comme coproduit. Durcissement du béton (injection de CO₂ au mélange du ciment, eau et agrégats lors de la formation du béton).

Etales Ex-situ :

- Préparation du minéral ou des roches : extraction, transport et broyage, activation thermique etc.
- En voie sèche (300 et 500 °C) ou aqueuse (180 °C), en une ou plusieurs étapes. Nécessité d'additifs, ou d'acides forts (HCl, H₂SO₄, HNO₃) ou faibles (acide acétique)

Echelle typique : projets industriels de taille moyenne de 50 à 500 ktCO₂/an - grands projets commerciaux de 1 à 5 MtCO₂/an
Cas d'usage = Projet FastCarb ; CarbonCure Technologies

UTILISATION DU CARBONE – MINÉRALISATION

PERFORMANCE, COÛT ET CARBONE

Indicateur technique :

Temps de fct moyen	8 000	h	<i>Elevé</i>	<i>Pôlénergie</i>
Rendement de conversion CO2	70-90%	%	<i>Moyen</i>	<i>Pôlénergie</i>
Taux de capture	0,1 à 0,5	tCO2/t de roche	<i>Elevé</i>	<i>ADEME</i>
	0,07-0,25	tCO2/t de cendres volantes	<i>Elevé</i>	<i>ADEME</i>
Types de roches et déchets	Roches et déchets (= cendres volantes ; poussière de four de ciment ; laitier de haut fourneau ; bauxite...)			
Besoin électrique	176	kWh/t	<i>Elevé</i>	<i>Etude RECORD n° 12-0237/1A</i>
Besoin énergétique	265 (2) 293 (3)	kWh/t GBR (2) kWh/t (3)	<i>Elevé</i>	(2) <i>Fast Carb</i> (3)
Potentiel estimé – gisements moyen terme	> 300	MtCO2 par an	<i>Elevé</i>	IAE2019
Durée	20 à 30	Ans	<i>Moyen</i>	<i>Pôlénergie</i>

Indicateur financier :

Capex	273 à 1 500	€/tCO2	<i>Elevé</i>	<i>Etude RECORD n° 12-0237/1A</i>
Coûts de carbonatation	46 à 278	€/tCO2	<i>Elevé</i>	<i>ADEME</i>
Prix de vente co-produit	- Silice : 150 – 2 650 - Carbonate de magnésium : 50 – 200 - Nickel : 1 000 – 15 000 - Chromite : 100 – 750	€/t	<i>Elevé</i>	<i>Sanna et al., 2014 ; Santos et al., 2013</i>

Mécanismes de soutien :

- Subvention CAPEX/OPEX via des aides publiques (Exemple : Innovation Fund en Europe)
- Crédits carbone : ETS indirectement (prix du CO₂ évité) et marché volontaire ; 45Q tax crédit aux USA
- Marché des matériaux : ventes et prime produit

(2) ACV de granulats carbonatés Rapport d'avancement FCARB/R/006 LC/20/FCARB/029 Mars 2021

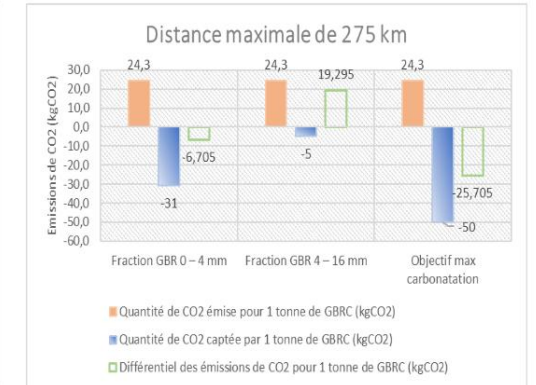
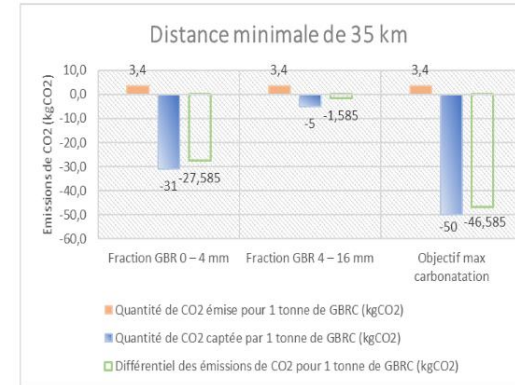
(3) *Carbon capture and utilization: preliminary life cycle CO2, energy, and cost results of potential mineral carbonation*

UTILISATION DU CARBONE – MINÉRALISATION

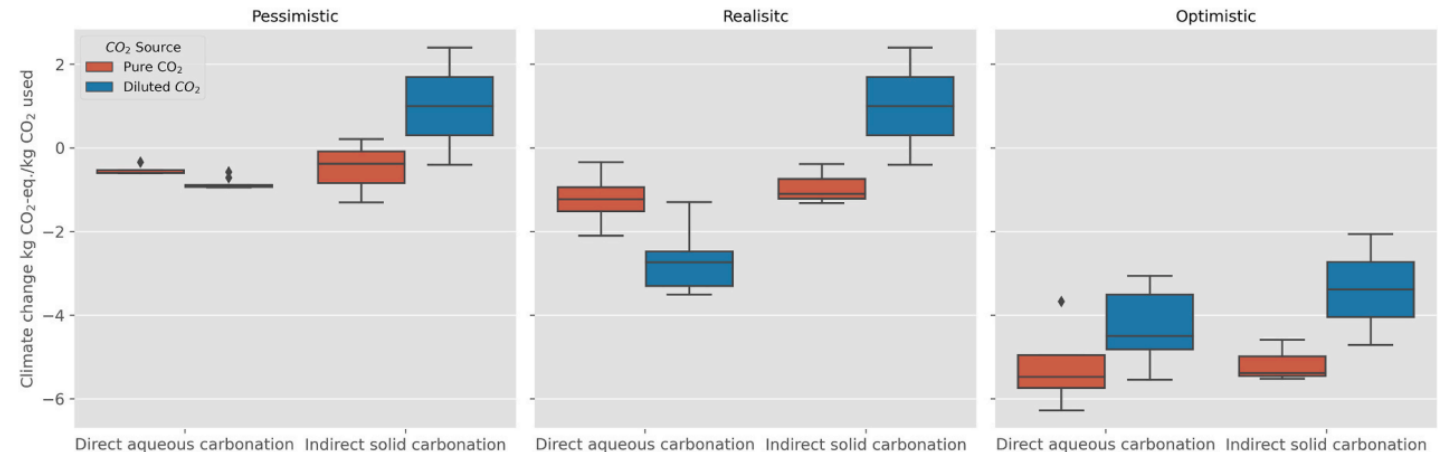
PERFORMANCE, COÛT ET CARBONE

Indicateur carbone :

Le projet FASTCAR (résultats du démonstrateur VICAT sur les graphiques) montre l'importance du transport sur l'impact carbone) :



Impacts environnementaux du captage et de la valorisation du carbone par carbonatation minérale
Revue systématique de la littérature et méta-analyse du cycle de vie (1) :



Climate change impact for direct aqueous carbonation and indirect solid carbonation technologies differentiated based on the CO₂ source and scenario.

Sources : Analyse économique des procédés de carbonatation accélérée - Frédéric BOUGRAIN et Mathilde DOUTRELEAU (CSTB) GT2-3 - Evaluations économiques et environnementales ; ACV de granulats carbonatés Rapport final Myriam Saadé - Univ Eiffel Adelaïde Feraille - ENPC GT2-3 - Evaluations économiques et environnementales ; (1) = Nils Thonemann, Leon Zacharopoulos, Felix Fromme, Jochen Nühlen

UTILISATION DU CARBONE – MINÉRALISATION

AMONT : Capture Carbone

UTILISATION : QUAND, COMMENT ET AVEC QUELLES LIMITES

Pertinence :

- Stockage durable du CO₂
- Grande quantité de ressources minérales et des besoins en face d'utilisation (construction)
- Technologie mature (TRL 6 à 9)
- Valorisation énergétique et des matières séparées (+ eau)
- Matières premières à faible coût (déchets industriels) et qui nécessite un traitement
- Economie circulaire : valorisation de déchets industriels
→ réduction des coûts de traitement

Risques / points faibles :

- Contraintes logistiques (transport du CO₂ ou des matières)
- Besoins énergétiques et étapes de préparation
- Acceptabilité économique - compétitivité des produits (pas à forte valeur ajoutée)
- Faible maturité des technologie et pénalité énergétique pour la carbonatation
- Besoin de démontrer les performances techniques des nouveaux matériaux

Cadre réglementaire :

Questionnement sur la normalisation des produits obtenus via la carbonatation des minéraux (démonstration de la performance technique : modification des normes existantes, intégration de déchets)



**TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET DÉCARBONATION :
UNE OPPORTUNITÉ ÉCONOMIQUE POUR LES HAUTS-DE-FRANCE**



03 28 61 57 15

2508 route de l'Ecluse Trystram
59140 Dunkerque

polenergie.org

contact@polenergie.org