

Deux concepts en rupture radicale pour épurer le CO₂ de l'environnement global

(Ou comment capter le CO₂ d'un haut fourneau arrêté)

François Clin, BRGM

Résumé

Le présent propos tend à stimuler une recherche technologique en gestion des concentrations de CO₂ de l'atmosphère selon des voies d'innovation particulièrement radicale parce que reposant sur deux concepts en rupture assez forte avec le discours commun.

Le premier concept consiste à proposer la résorption du CO₂ atmosphérique comme une prestation technique de dépollution globale indépendante des filières industrielles, notamment celles dépendant des énergies carbonées, offrant à la gouvernance internationale un référentiel financier physiquement objectif au travers de solutions pratiquement accessibles. De plus, les opportunités de sites de capture délocalisée et de séquestration ultime du CO₂ en seraient très fortement multipliées et optimisées.

Le second concept, consiste, dans ces opérations, à combiner la production, notamment grâce à des énergies décarbonées, de flux chimiques de bases fortes réactives avec le CO₂ atmosphérique à une gestion dissociée des flux acides correspondants (CO₂ d'origine minérale ou autres acides minéraux plus forts). Ces pratiques sont alors proches des industries minérales (eau, minerais) susceptibles de les accompagner, quand elles ne les ont pas déjà intégrées dans leurs projets innovants notamment en hydrométallurgie.

La gouvernance globale des émissions de CO₂ rencontre actuellement des difficultés et pourrait bénéficier d'une offre d'innovation technologique plus dissociée des activités économiques émettrices. Les approches par grandes filières ont le mérite de rechercher des solutions intégrées à leur développement mais la contrepartie en est une certaine propension à des évolutions plus incrémentales que radicales.

Des offres par des écotecnologies additives et externes aux filières émettrices de rejets permettent à l'action publique de situer son intervention à un coût et selon des performances indépendants des outils et pratiques non collectifs des secteurs d'activités et en meilleure équité compétitive.

Même si elle n'est pas parfaite, considérons l'analogie avec la gestion technologique des déchets telle qu'elle s'est déroulée à partir du vingtième siècle. C'est la prise en charge par le service public local du traitement des ordures ménagères qui a permis d'élever le niveau de technicité de cette prestation. Ce n'est pas avec comme référence l'abandon en décharges sauvages sans l'offre d'alternatives techniques viables qu'une implication industrielle plus globale se serait initiée.

Ce n'est qu'une fois cette démarche stabilisée sur des pratiques établies que les discours sur la réduction à la source des déchets de la part des producteurs ont pu être tenus, avec les difficultés, lenteurs et artifices que l'on constate dans les approches filières par filières de produits de consommation. On conçoit alors qu'il pourrait en être quelque peu de même pour les émissions de CO₂. La gouvernance mondiale de l'environnement mériterait de disposer de références technologiques de résorption du CO₂ atmosphérique indépendantes et en aval des filières émettrices.

Par exemple, le dogme selon lequel le CO₂ doit être nécessairement capté là où il est émis parce que concentré est contestable i) parce que l'atout de génie de procédé de la concentration gazeuse industrielle en CO₂ est vite pénalisé par la brièveté des durées des échanges gazeux pour une capture lors de l'émission rapide ainsi que par des présences de produits indésirables lors de celle-ci, ii) parce que l'opération, consommatrice d'énergie, s'effectue souvent sur des sites où, par construction, l'énergie, notamment fossile, a une très forte valeur puisque intensivement utilisée ou distribuée, et iii) parce qu'inapplicable aux sources diffuses.

On peut notamment concevoir, en fait de dispositifs de capture directe du CO₂ de l'atmosphère, une mise en contact beaucoup plus longue avec des surfaces d'échange gazeux plus pérennes que les gouttelettes d'un absorbeur industriel confiné. Le CO₂, dont la diffusion gazeuse atmosphérique est très rapide, est alors captable en tout point de l'atmosphère, en proximité des sites requis pour sa gestion ultime (énergies renouvelables, stockage en sites alors plus nombreux, hors conflits d'usage...).

Une première rupture est donc de chercher à offrir à la gouvernance globale de l'environnement une offre écotكنولوجique viable et chiffrée en aval des filières émettrices, notamment apte à établir physiquement un coût collectif de la résorption du CO₂ indépendante de celles-ci et calibrant ainsi leur responsabilité mieux qu'un marché théorique et spéculatif de droits d'émissions.

Une seconde rupture concerne la dé-intensification, notamment énergétique, des procédés de captage et séquestration du CO₂, justement dans le développement de ces écotكنولوجies de l'aval de son cycle. Il relève d'une approche de « géo-ingénierie raisonnable » parce qu'associant séquestration géologique ou minérale du carbone à une absorption du CO₂ à la concentration de l'atmosphère et en n'importe lequel de ses points par des systèmes utilisateurs d'énergies nouvelles ou dégradées en forte économie de ressources fossiles.

Là encore, on peut évoquer une analogie historique du vingtième siècle qui a vu apparaître la révolution de l'hydrométallurgie concurrençant la pyrométallurgie intensive en énergie thermique par le jeu de formes adoucies de l'énergie chimique en milieu aqueux. Cette énergie chimique est d'une gestion environnementale plus souple et peut bénéficier de formes d'énergies primaires localement diversifiées (décarbonées, renouvelables, bio-réactions,...) et se combiner avec des processus physico- et électrochimiques très sélectifs.

Le second concept alors avancé est de stimuler les fonctions d'acide faible et de dissolution aqueuse rapide du CO₂ : il s'agit de conjuguer des phases de production de bases fortes grâce à des énergies décarbonées avec celles de leur re-carbonatation avec une cinétique qui permet de travailler aux concentrations atmosphériques. En effet, si les temps géologiques permettent un rééquilibrage de l'acidification du CO₂ par l'altération de roches riches en alcalins et alcalinoterreux, sa cinétique pour le développement durable de l'humanité mérite d'être fortement améliorée.

On perçoit des opportunités de niches technologiques à faire réagir directement le CO₂ lors de l'échauffement de certains éléments de roches au cours de traitements des minerais métalliques mais plus globalement les processus thermiques vont énergétiquement souffrir de la faiblesse d'attaque de l'acide carbonique.

Les roches naturelles susceptibles de fournir des éléments de neutralisation du CO₂ sans en réémettre sont de fait assimilables à des bases très faibles réagissant très peu avec l'acide faible CO₂. Le défi revient alors de fournir, au CO₂ atmosphérique, des milieux hydro-chimiques fortement basiques qui produiront une carbonatation rapide et des précipitations associées dont les cinétiques contrastent fortement avec la passivité des roches et des solides vis-à-vis du CO₂. La production de ces milieux basiques forts s'équilibrera avec des flux d'acides faibles sous forme de CO₂, ou d'acides minéraux plus forts. Il importera d'optimiser les recours énergétiques de ces produits. Comme vu pour l'hydrométallurgie, ces recours sont diversifiables (sources décarbonées), dissociables et objectivement chiffrables. Si l'on s'en tient à la production industrielle de milieux basiques forts, avec production de CO₂ (acide faible), ce dernier devra *in fine* être stocké physiquement. Par contre, si la production de milieux basiques forts est compensée par la production de flux acides minéraux forts, alors on pourra envisager de les neutraliser à partir de l'attaque de minéraux

solides. Deux exemples de procédés relevant de brevets en cours de dépôts par le BRGM illustrent peu ou prou ces concepts.

Le premier (figure 1 ci-dessous) correspond à produire à partir d'un hydro-système salé des flux d'acides et de base fortes grâce à une électrodialyse, notamment alimentée en électricité photovoltaïque ou géothermique, pour répondre au cycle géochimique précédemment décrit d'attaque acide et de carbonatation basique. Une telle technique peut notamment se co-développer à la faveur de projets de dessalement ou encore d'attaque hydro-métallurgique acide de minerais (par exemple, la production *in situ* d'acide par énergie décarbonée produira par ailleurs les flux basiques de neutralisation de fin de processus sans recours à des carbonates naturels alors sources d'émissions de CO₂).

Le second (figure 2 ci-dessous) se limite à un dispositif d'absorption du CO₂ atmosphérique dans un lagunage de lait de chaux. La chaux est initialement fournie par la calcination de roches calcaires abondamment distribuées à la surface du globe en four par exemple solaire, produisant un CO₂ naturel alors directement concentré (non dilué dans d'autres gaz) et propre, apte à être re-stocké profondément en site géologique confiné. Le bilan global est équivalent à une absorption en site industriel mais de fait sur un site optimisé au regard de ses ressources énergétiques notamment décarbonées et des proximités de stockage, gérant du CO₂ atmosphérique et du CO₂ naturel des roches, indépendamment des types et lieux d'émissions primaires.

On perçoit que ces types de procédés sont très proches de la démonstration industrielle car enchaînant des opérations unitaires assez connues et ne nécessitant essentiellement qu'une ingénierie de calibrage. Ils ouvrent par contre des champs prospectifs importants pour sélectionner aussi bien les faciès pétrographiques naturels optimaux vis-à-vis des attaques acides que les sites géologiques favorables au stockage géologique profond potentiellement beaucoup plus nombreux, notamment en régions moins anthropisées, qu'en zones d'industries émettrices.

Ces procédés présentent de faibles emprises au sol (quelques hectares par million de tonnes de CO₂ annuellement absorbées) et correspondent à des confinements continentaux dont les aléas environnementaux apparaissent maîtrisables, les flux minéraux à gérer n'ayant rien d'extraordinaire en quantité et en qualité au regard des activités conventionnelles des industries extractives qui d'ailleurs pourraient les associer. Ils contrastent sur ce point avec d'autres concepts de « géo-ingénierie » spéculant sur des recours à des systèmes écologiques beaucoup plus ouverts et bio-diversifiés (océans, atmosphères,...). Ils correspondent alors à un axe de recherche et développement se différenciant donc des programmes plus que prospectifs du mouvement dit de « géo- ingénierie » et d'autre part de ceux visant la valorisation industrielle du CO₂ comme voie de résorption.

En conclusion, nous retiendrons des premiers le concept d'une prestation de décarbonatation de l'atmosphère globale techniquement indépendante des sources et filières émettrices et des seconds la proximité des pratiques et technologies innovantes. Face aux éclatements des divers lobbys énergétiques, face aux atouts de compétitivité procurés aux états par les énergies fossiles, la gouvernance globale du CO₂ mériterait de convertir un peu de ses efforts très en parole dans la recherche et développement d'outils physiquement techniques et raisonnablement accessibles sur le moyen terme dont l'offre collective concrète serait un fort dispositif de régulation. L'approfondissement de ces pistes technologiques devrait confirmer tout l'intérêt qu'il y a à considérer la gestion du CO₂ en regard de la dualité de son comportement gazeux et de son activité d'acidification. Au plan des opérations techniques de sa résorption, cette dualité peut être séquencée puis recombinaisonnée. Par contre, au regard des enjeux d'environnement, la dualité de l'effet de serre et l'acidification des milieux est à considérer en bilans globalisés et difficiles à dissocier.

Principe de puits de résorption du CO₂ atmosphérique par combinaison de flux hydrochimiques minéraux

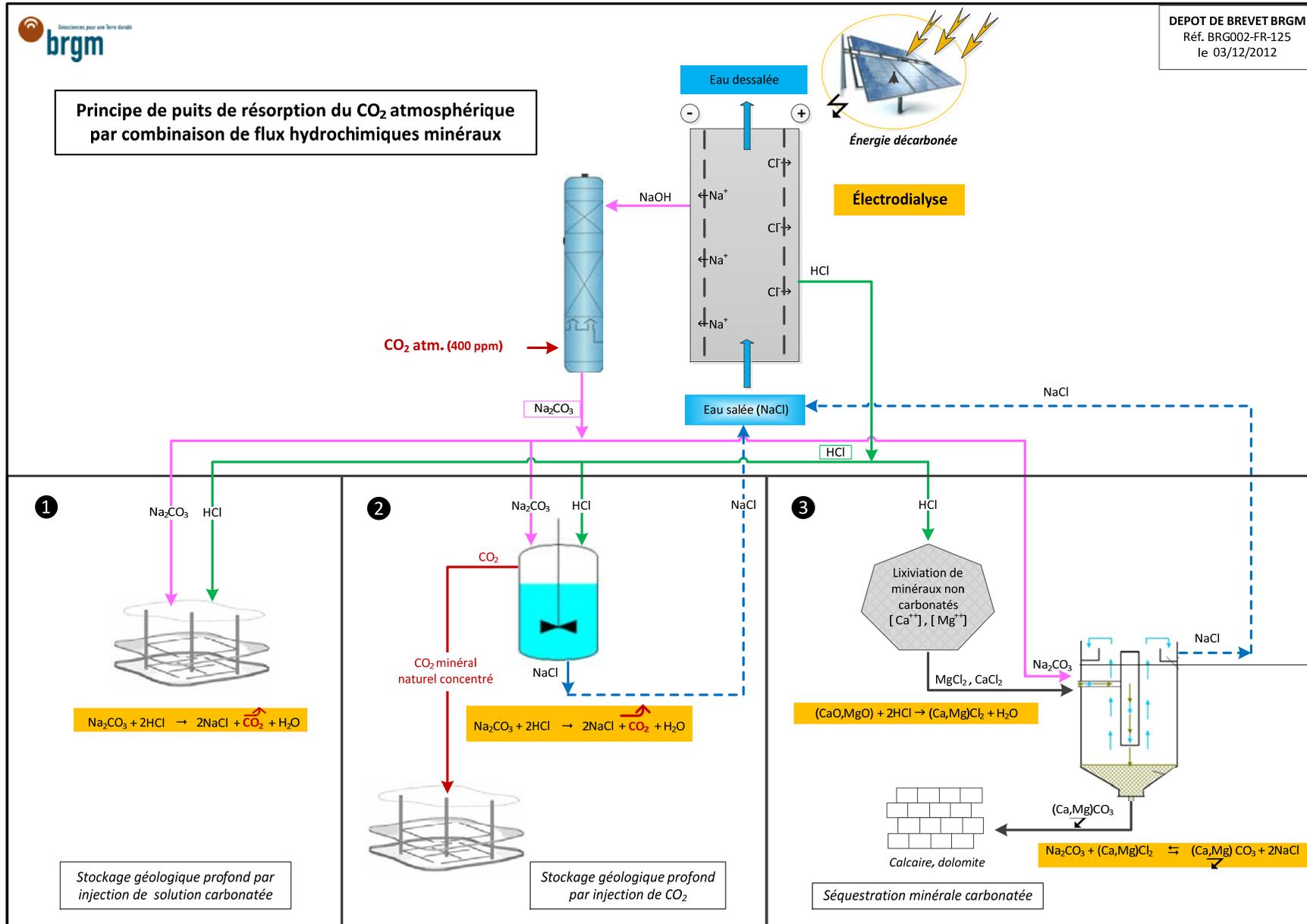


Figure 1: schéma explicatif du premier concept

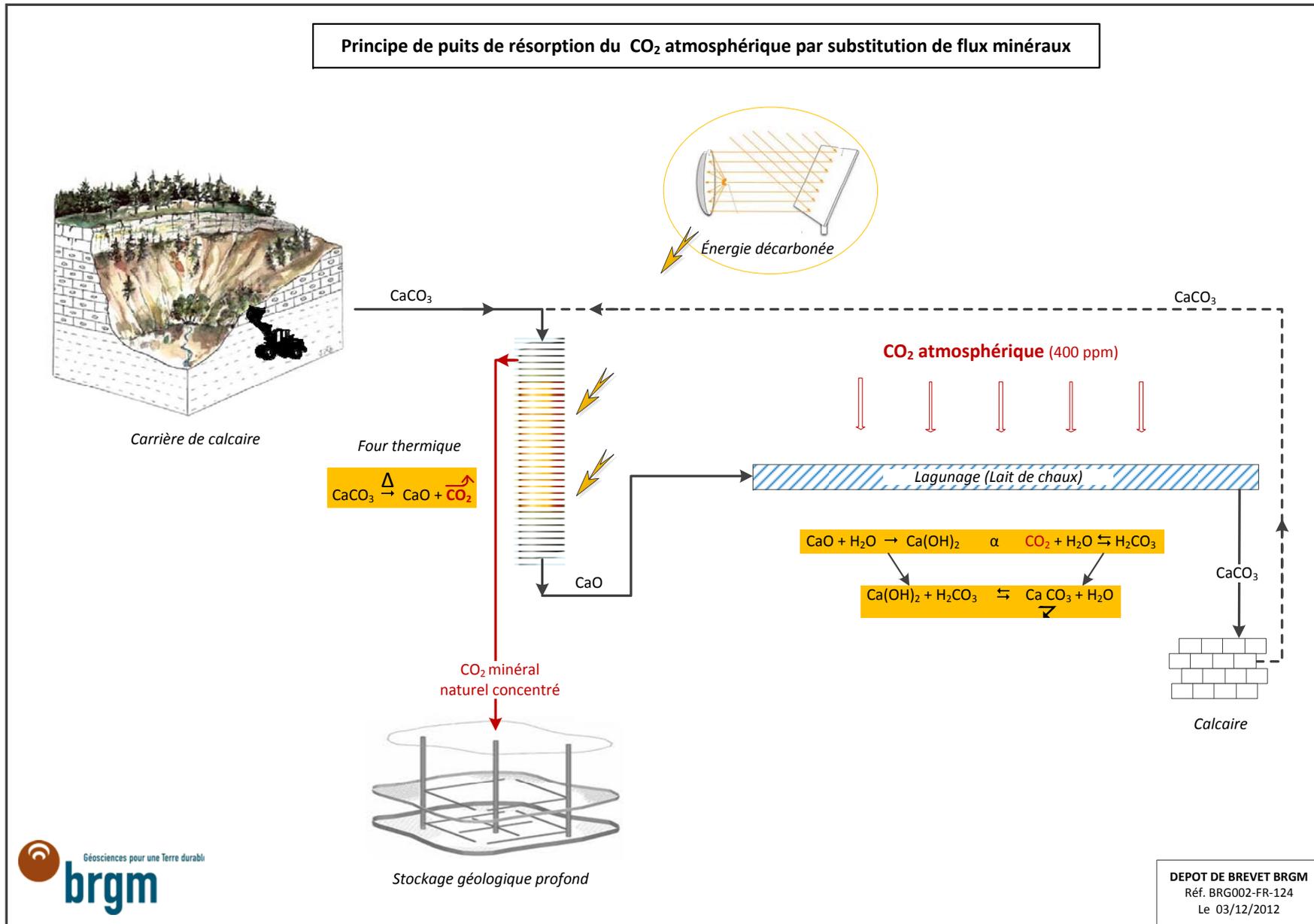


Figure 2: schéma explicatif du second concept