

DemoUpCARMA en bref

DemoUpCARMA (Demonstration and Upscaling of CARbon dioxide MAnagement solutions for a net-zero Switzerland) est un projet pilote conduit par l'EPF de Zurich. L'objectif était d'expérimenter deux approches conduisant à la capture continue de CO₂ de l'atmosphère ou à éviter des émissions de CO₂:

- L'utilisation et le stockage permanent de CO₂ dans du béton de démolition en Suisse au moyen d'un nouveau procédé. Cette solution est de type CCUS (*Carbon dioxide Capture, Utilisation and Storage* - captage, utilisation et stockage du CO₂).
- Le transport et le stockage permanent de CO₂ dans un réservoir géologique à l'étranger. Cette solution fait partie des approches CCTS (*Carbon dioxide Capture, Transport and Storage* - Captage, transport et stockage du CO₂).

DemoUpCARMA a étudié, en tenant compte des aspects technologiques, économiques, réglementaires, politiques et sociaux, comment ces solutions pouvaient être conçues et mises en œuvre à grande échelle de manière optimale à moyen et long terme. Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre de la Suisse à zéro net d'ici 2050 et atteindre les objectifs climatiques du pays, les « émissions négatives » sont un élément indispensable. [Les perspectives énergétiques 2050+](#) partent du principe que 12 millions de tonnes de CO₂ émises chaque année sont difficilement évitables, par exemple celles des usines d'incinération des déchets ou de l'agriculture. Parmi celles-ci, 7 millions de tonnes de CO₂ devront probablement être compensées par des émissions négatives.

Le projet DemoUpCARMA a été financé et soutenu par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Le projet a impliqué 24 partenaires scientifiques et industriels, qui ont parfois apporté des moyens financiers supplémentaires ainsi que des contributions matérielles. Voir aussi www.demoupcarma.ethz.ch.

Pour plus d'informations : Marco Mazzotti (marco.mazzotti@ipe.mavt.ethz.ch), Viola Becattini (viola.becattini@ipe.mavt.ethz.ch), direction du projet, Institut pour l'énergie et la technologie des procédés de l'ETH Zurich

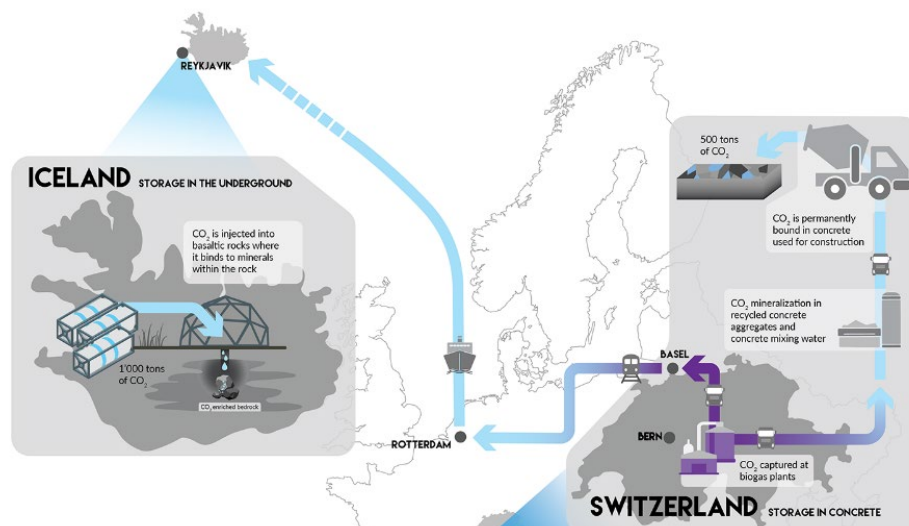


Illustration : Les deux trajectoires du CO₂ du projet DemoUpCARMA (DemoUpCARMA, EPF Zurich)

Stockage de CO₂ dans le béton de démolition en Suisse

Dans le cadre du projet DemoUpCARMA, Neustark, une spin-off de l'EPFZ fondée en 2019, a perfectionné et testé à grande échelle son procédé de stockage permanent de CO₂ dans du béton recyclé et dans l'eau de gâchage du béton (l'eau provenant du nettoyage des bétonnières et des centrales).

Les résultats montrent que l'infrastructure nécessaire au stockage du CO₂ peut être installée et exploitée de manière industrielle dans une centrale de recyclage du béton déjà existante. Pour ceci, des granulats de béton issus de la démolition (de bâtiments par exemple) sont mélangés à du CO₂ biogène provenant de la station d'épuration des eaux de Berne (ARA Bern). Le CO₂ se minéralise en formant du carbonate de calcium, et reste ainsi stocké durablement ; il faudrait des températures supérieures à 600 °C ou des acides très forts pour libérer le CO₂ fixé. La minéralisation garantit que le CO₂ restera prisonnier des granulats de la production jusqu'à la démolition, que ce soit pour la construction de routes ou pour produire du béton frais recyclé. Environ 13 kg de CO₂ peuvent être fixés par tonne de granulats. Des tests en laboratoire à l'Empa montrent en outre que le béton contenant des granulats recyclés carbonatés présente une résistance à la compression meilleure que celle du béton primaire. Cela recèle un potentiel de réduction de la teneur en ciment du béton recyclé et des émissions de CO₂ qui y sont liées.

L'eau de gâchage du béton est un sous-produit obtenu lors du nettoyage des bétonnières et des centrales. Elle contient moins de 10 % de matières solides (principalement du ciment et du sable) et peut absorber environ 25 kg de CO₂ par mètre cube. Cette eau est collectée dans un bassin et mélangée au béton prêt à l'emploi pour remplacer de l'eau fraîche. L'adjonction d'eau de gâchage carbonatée au béton primaire a montré en laboratoire une meilleure maniabilité du béton et également une résistance à la compression accrue par rapport au béton primaire auquel on a ajouté de l'eau de gâchage non carbonatée.

Tant le stockage de CO₂ dans les granulats de béton recyclé que dans l'eau de gâchage présente un impact positif sur le climat. Des émissions sont évitées et, grâce à l'utilisation de CO₂ biogène comme dans le projet DemoUpCARMA, on élimine plus d'émissions qu'on en produit. Les rendements (rapport entre l'énergie utile et l'énergie fournie) étaient supérieurs à 90 %. Au niveau financier, on constate des économies d'échelle : avec une installation de stockage intégrée, il est possible de réduire les coûts à long terme à partir d'une quantité de 500 tonnes de CO₂ stockées par année.

Pour plus d'informations sur cette approche, voir notamment l'article de blog « [Wie sich der CO₂-Fussabdruck von Beton schon heute verkleinern lässt - Comment réduire dès aujourd'hui l'empreinte carbone du béton](#) ».

Pour plus d'informations : Johannes Tiefenthaler, Fondateur et co-directeur général, Sophie Dres (sophie.dres@neustark.com) Responsable de la communication, Neustark AG

Stockage de CO₂ dans un réservoir géologique en Islande

Le projet DemoUpCARMA a démontré pour la première fois l'efficacité d'une chaîne logistique du CO₂, depuis le captage jusqu'au stockage géologique dans des basaltes islandais, en passant par le transport. À la station d'épuration de Berne, le CO₂ biogène est capturé, liquéfié, et chargé dans des containers spéciaux. De là, il est transféré par camion jusqu'à Weil am Rhein (D), puis par train vers le port de Rotterdam (NL), d'où il est acheminé par cargo jusqu'en Islande. Finalement, les conteneurs sont transportés par camion du port jusqu'au réservoir géologique.

Jusqu'à présent, ce sont 80 tonnes de CO₂ qui ont été transportées vers l'Islande. Une analyse du cycle de vie a montré que l'ensemble de la chaîne génère nettement moins d'émissions de gaz à effet de serre que ce qui est stocké géologiquement. Pour chaque tonne de CO₂ stockée, on observe environ 200 à 250 kg d'émissions au long de la chaîne logistique. Il est donc possible d'éviter les émissions de 750 à 800 kg de CO₂ net. S'il s'agit de CO₂ biogène, comme dans notre projet pilote, il y a même des émissions négatives. Ainsi, même si le transport génère la majorité des émissions à cause des combustibles fossiles, le bilan est finalement positif. À l'avenir, la consommation d'énergies renouvelables dans le transport ferroviaire ou la mise en place d'un réseau de pipelines de CO₂ pourrait permettre une réduction des émissions et d'encore améliorer ce bilan.

En Islande, le CO₂ provenant de Suisse est mélangé à de l'eau de mer et injecté dans le sous-sol basaltique par un forage spécialement créé à cet effet, à une profondeur de 300 à 400 mètres. Jusqu'à présent, l'entreprise partenaire Carbfix dissolvait le CO₂ dans de l'eau douce afin de le minéraliser sous terre. Un vaste réseau de surveillance permet maintenant d'étudier si les processus de minéralisation fonctionnent également avec de l'eau de mer, et comment se déroule exactement celle-ci. En raison de conditions de livraison plus difficiles dues à la pandémie et à la guerre en Ukraine, le transport et l'approvisionnement en matériel ont été retardés. De plus, les forages ont progressé plus lentement qu'espéré initialement à cause de problèmes techniques. Par conséquent, les injections n'ont pu commencer qu'au début du mois de novembre 2023, et seuls quelques résultats sont disponibles à ce jour. Le projet partenaire DemoUpStorage accompagne et surveille l'injection et la minéralisation du CO₂ dans le réservoir jusqu'à fin 2024.

Les coûts calculés dans le projet s'élèvent à plusieurs centaines de francs suisses par tonne de CO₂ stockée. Ce calcul doit toutefois être considéré dans le contexte du caractère pilote du projet. Les défis qui en ont découlé ont probablement augmenté l'addition. À l'avenir, les économies d'échelle, un cadre réglementaire bien établi et une plus grande expérience dans la gestion du transport pourraient réduire des coûts.

Pour plus d'informations sur cette approche, voir entre autres l'article de blog « [Test eines neuen Verfahrens: erste Injektion von in Meerwasser gelöstem CO₂ in Basalte in Island - Test d'un nouveau procédé : première injection de CO₂ dissous dans de l'eau de mer dans des basaltes en Islande](#) ».

Pour plus d'informations : Stefan Wiemer (stefan.wiemer@sed.ethz.ch), directeur du Service Sismologique Suisse (SED) à l'EPF de Zurich

Transport et financement

Le transport du CO₂ depuis la source d'émission jusqu'au lieu de stockage est un élément central de toute solution CCT(U)S (Capture de carbone, transport (utilisation) et stockage). Dans le cadre du projet, la mise en place d'une chaîne logistique réelle, de l'installation de captage à la centrale de recyclage du béton, a fonctionné sans problème. En revanche, la chaîne transfrontalière vers l'Islande a posé quelques défis qui auraient difficilement été révélés par une simple modélisation. L'un des obstacles résidait par exemple dans la déclaration du CO₂ à exporter et des réglementations qui y sont liées.

Les deux études de cas considérées dans le projet DemoUpCARMA démontrent la diversité des défis qui s'apparentent à chaque chaîne logistique. Plusieurs solutions de captage ont été considérées pour l'usine d'incinération des déchets de Hagenholz (Zurich) et la cimenterie Jura à Wildeggen. Il s'est avéré que le choix d'une technologie de captage était déterminé par les ressources énergétiques (par exemple, la chaleur ou l'électricité) déjà disponibles sur le site ou pouvant être utilisées efficacement.

La chaîne de transport multimodale actuellement établie (avec des camions, des trains et des bateaux) est relativement onéreuse et offre probablement peu d'économies d'échelle. Une forte réduction des coûts et des émissions ne pourrait sans doute intervenir qu'à long terme, par la construction d'un réseau de pipelines. Mais pour mettre en place un tel réseau, il faudrait d'abord créer des bases légales au niveau cantonal ou fédéral, ce dernier nécessitant une modification de la Constitution. Les montants élevés du financement et des intérêts d'un projet aussi important seraient plus faibles si les pouvoirs publics pouvaient y prendre part. Mais pour cela, des bases juridiques sont requises, avec l'émergence d'une majorité politique. Alternativement, des cautionnements ou des garanties de la part de la Confédération mériteraient d'être examinés. Les coûts d'investissement pourraient éventuellement être réduits si un modèle s'établissait, dans lequel différents émetteurs de CO₂ se regrouperaient pour exploiter les effets de synergie au niveau du transport et du stockage.

Pour la gestion et l'exploitation d'un tel réseau, un modèle commercial réglementé avec une société d'exploitation centrale semble le plus approprié. Celui-ci offrirait de faibles coûts de financement, des incitations à une exploitation efficace et la flexibilité nécessaire pour évoluer avec les changements de l'environnement réglementaire au fil du temps. Actuellement, il n'existe pas encore de modèles commerciaux viables pour les projets CCT(U)S en Suisse. L'absence de garde-fous juridiques ou leur manque de clarté entravent le développement du marché. Il convient donc de mettre en place des mécanismes de financement climatique pour des cas spécifiques. Pour les exploitants d'installations à fortes émissions de gaz à effet de serre qui participent au Système d'échange de quotas d'émission (SEQE) suisse, la prise en compte des mesures CCT(U)S serait par exemple un élément important pour générer des investissements supplémentaires. C'est ce que prévoit la révision en cours de la loi sur le CO₂.

Les technologies CCT(U)S permettent déjà de générer un bilan climatique positif, comme le montrent les analyses de cycle de vie effectuées. Indépendamment du procédé de transport et de captage choisi, les émissions qui en résultent sont inférieures à la quantité de CO₂ stockée.

Acceptation

Les futurs projets CCT(U)S ne doivent pas seulement être financés et réglementés, ils doivent également être soutenus et acceptés tant par la politique que par la société. Une enquête représentative menée dans le cadre de DemoUpCARMA montre que la population suisse ne sait actuellement que peu de choses sur les technologies CCT(U)S. Il en résulte un grand besoin d'informations, notamment en ce qui concerne la mise en œuvre concrète. Les avantages et les risques perçus diffèrent pour les deux approches de stockage du CO₂ étudiées et sont donc fortement spécifiques au contexte. L'acceptation est influencée par des facteurs personnels tels que l'attitude générale face au changement climatique ou l'orientation politique. Les initiatives menées par des acteurs de confiance bénéficient d'un soutien plus important, les institutions scientifiques arrivant en tête, suivies des autorités et des ONG.

Les résultats d'une expérience représentative en ligne indiquent en outre que les sondés sont plus disposés à supporter les coûts des solutions CCT(U)S si un stockage à long terme est garanti. Les personnes interrogées attachent de l'importance au fait qu'un stockage à l'étranger réponde à des normes de sécurité élevées et soit accepté par la population locale. Compte tenu des défis à venir pour la mise en œuvre des initiatives CCT(U)S, une implication précoce des différents groupes d'intérêt et une politique d'information transparente sont essentielles pour pouvoir susciter l'adhésion.

Une enquête auprès des parties prenantes a par ailleurs montré que des voix critiques pourraient s'élever dès que des initiatives CCT(U)S seront effectivement mises en œuvre, parfois à grande échelle. Il est donc important d'associer différents groupes d'intérêt le plus tôt possible. Parallèlement, les parties directement impliquées ont une forte conscience des problèmes et des actions à entreprendre, conscience qui a encore renforcée dans le cadre de DemoUpCARMA.

Renseignements : Michèle Marti (michele.marti@sed.ethz.ch), responsable de la communication et du groupe de recherche sur la communication des risques, Service Sismologique Suisse (SED) à l'ETH de Zurich

Conclusions

DemoUpCARMA a établi la faisabilité technique et le bilan climatique positif de deux approches de stockage durable du CO₂. La mise en place du projet pilote a permis, par rapport à une simple modélisation, de mettre en évidence des défis inattendus ainsi que des solutions réalisables. DemoUpCARMA a aussi contribué à créer et à diffuser de nouvelles connaissances sur les technologies CCT(U)S et à rassembler les parties concernées qui travaillent désormais sur des projets consécutifs. En se concentrant sur la mise en œuvre à grande échelle des initiatives CCT(U)S, DemoUpCARMA a également pu faire apparaître un certain nombre de défis, énumérés ci-dessous :

- Il manque un cadre établi pour une mise en œuvre viable et finançable des initiatives CCT(U)S à grande échelle.
- Actuellement, les émetteurs suisses de CO₂ ne disposent pas d'un modèle commercial solide pour les solutions CCT(U)S.
- On ne sait pas vraiment si et dans quelles conditions la population suisse soutient ou rejette des initiatives CCT(U)S concrètes.

Sur la base des conclusions du projet, l'équipe du projet estime qu'il est nécessaire d'agir en particulier dans les domaines suivants :

- Améliorer la confiance dans la planification, notamment en ce qui concerne le cadre réglementaire.
- Créer des systèmes d'incitations financières ou de mesures de soutien pour mettre en place des initiatives CCT(U)S.
- Nommer une instance pour le développement d'un système de pipelines afin de poursuivre cette option de transport de grandes quantités de CO₂.
- Réaliser des projets pilotes avec des unités de captage mobiles pour tester différents procédés dans la pratique.
- Planifier et construire des installations de captage de CO₂ à grande échelle pour des sources d'émission importantes.
- Poursuivre la recherche et mettre à jour régulièrement les analyses de cycle de vie et les analyses technico-économiques.
- Impliquer activement les différentes parties et la population dans l'évaluation, la planification et la mise en œuvre des initiatives CCT(U)S.

Renseignements : Marco Mazzotti (marco.mazzotti@ipe.mavt.ethz.ch), direction du projet, Institut pour l'énergie et la technologie des procédés de l'ETH Zurich
