

DemoUpCARMA & DemoUpStorage – FAQ (version française)

1. Qu'est-ce que l'objectif "zéro net" et pourquoi est-il important de l'atteindre d'ici 2050 ?

La Suisse s'est engagée à atteindre l'objectif convenu au niveau international de limiter le réchauffement climatique mondial bien en-dessous de 2° C, de préférence à 1.5° C, par rapport aux niveaux préindustriels, tel que défini dans l'Accord de Paris. Atteindre cet objectif, et par conséquent limiter les effets du changement climatique est d'une grande importance pour la Suisse. Le réchauffement de la planète est causé par l'émission de gaz à effet de serre, dont le dioxyde de carbone (CO₂) représente la plus grande part. Pour atteindre l'objectif de température mondiale, les émissions globales doivent atteindre le niveau zéro d'ici 2050. Par objectif "zéro net", on entend une réduction des émissions de gaz à effet de serre aussi proche de zéro que possible, et la compensation des émissions de CO₂ qui sont difficiles à réduire (voir question 5).

2. Quelle est la différence entre le CO₂ fossile, biogénique et atmosphérique ?

Le CO₂ atmosphérique est le CO₂ qui a été libéré dans l'atmosphère et qui provoque donc l'augmentation de la température mondiale. Le CO₂ atmosphérique peut avoir différentes origines. Dans le contexte du "zéro net", on distingue le CO₂ fossile du CO₂ biogénique.

Le CO₂ fossile est émis lors de la combustion de ressources fossiles, comme le charbon, le pétrole ou le gaz. Le CO₂ fossile est stocké sous terre depuis des millions d'années. En brûlant des combustibles fossiles, cette grande quantité de CO₂ stockée est libérée dans l'atmosphère. En outre, d'autres installations industrielles et chimiques, comme la production de ciment, émettent du CO₂ fossile.

Le CO₂ biogénique est le CO₂ libéré par la combustion ou la décomposition de matières organiques (biomasse telle que le compost, le bois brûlé ou les boues résiduelles) qui ont absorbé le CO₂ de l'atmosphère par photosynthèse au cours des derniers mois et années.

3. Quelle est la différence entre CCS, CCUS et CCTS ?

CCS est l'abréviation du **captage et stockage de CO₂**. Le CCS désigne le captage du CO₂ à partir de sources d'émission localisées, telles que les installations de traitement des déchets, les usines chimiques ou les cimenteries, et son stockage permanent dans des formations géologiques souterraines ou dans des matériaux de construction (par exemple le béton). La source du CO₂ ainsi capturé peut être d'origine fossile ou biogénique (cf. question 2).

Dans DemoUpCARMA, nous nous concentrons sur et distinguons deux approches spécifiques du CCS, qui sont appelées **CCUS (captage, utilisation et stockage de CO₂)** et **CCTS (captage, transport et stockage de CO₂)**. Dans ces deux acronymes, les lettres "U" et "T" sont ajoutées pour souligner les composantes "utilisation" et "transport" de ces deux approches.

Le CCUS comporte deux étapes : (i) le captage du CO₂ à partir de sources d'émission localisées, (ii) l'utilisation du CO₂ comme matière première pour fabriquer toute une série de produits, tels que le béton, le méthanol, l'éthanol, les carbonates, les plastiques, etc. DemoUpCARMA étudie une voie de CCUS qui optimise le stockage permanent du CO₂ dans les matériaux de construction, c'est-à-dire le recyclage du béton. Dans DemoUpCARMA, un projet pilote CCUS est étudié et démontré, dans lequel le CO₂ biogénique capturé dans une usine de biogaz est utilisé et stocké dans du béton, lui-même ensuite employé comme matériau de construction.

De même, le CCTS comporte trois étapes : (i) le captage du CO₂ à partir de sources d'émission localisées, (ii) le transport du CO₂ par la route, par le rail, par voies navigables ou par conduites, et (iii) le stockage permanent du CO₂ dans un réservoir géologique. Dans DemoUpCARMA, un projet pilote CCTS est étudié et démontré, dans lequel le CO₂ biogénique capturé dans une usine de biogaz est transporté depuis la Suisse jusqu'en Islande, où il est dissous dans de l'eau de mer et stocké sous terre dans une formation basaltique.

Si les approches CCUS ou CCTS sont basées sur le CO₂ fossile (par exemple, le CO₂ capté dans une usine chimique), elles permettent d'éviter les émissions de CO₂. Au contraire, si les approches CCUS ou CCTS sont basées sur le CO₂ biogénique (par exemple, le CO₂ capté dans une usine de biogaz), cela permet de générer des émissions négatives (élimination du CO₂). Dans ce dernier cas, l'application CCUS ou CCTS serait classée comme une technologie à émissions négatives (NET ; pour plus de détails, voir question 4). Ceci s'applique également aux deux projets pilotes DemoUpCARMA décrits ci-dessus.

4. Que sont les NETs?

Les NETs sont des **technologies à émissions négatives**. Les NETs englobent toutes les solutions d'origine humaine qui éliminent définitivement le CO₂ de l'atmosphère, y compris les solutions de gestion du paysage telles que la gestion du carbone dans le sol et le reboisement. Ces processus sont également appelés élimination du dioxyde de carbone (*Carbon dioxide removal* - CDR). Les solutions les plus discutées, développées et mises en œuvre sont le biochar, le piégeage du carbone dans le sol, le reboisement, la bioénergie avec captage et stockage du CO₂ (BECCS), et le captage direct dans l'air et stockage du CO₂ (DACCS). Lorsque le CO₂ biogénique est définitivement retiré de l'atmosphère par le biais d'une NET, des émissions négatives sont générées.

Vous trouverez de plus amples informations ici : <https://www.carbon-removal.ch/cdr-methods/>

ou ici : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/info-specialistes/extraction-et-stockage-du-co2.html>

5. Pourquoi est-ce que la Suisse a besoin de CCS et de NETs ?

Conformément à la stratégie climatique à long terme de la Suisse, les émissions de gaz à effet de serre difficiles à réduire dans l'industrie, la gestion des déchets et l'agriculture s'élèveront à environ 12 millions de tonnes d'équivalent CO₂ à l'horizon 2050. Ces émissions peuvent être soit réduites par CCS, soit compensées par NET. Environ 5 millions de tonnes de ces émissions de CO₂ seront prélevées par CCS à partir des grandes sources industrielles localisées. Les 7 millions de tonnes restantes seront compensées par des NETs telles que la bioénergie avec captage et stockage permanent du CO₂ (BECCS) et le captage direct dans l'air et stockage permanent du CO₂ (DACCS).

6. D'où provient le CO₂ capté dans le projet DemoUpCARMA?

Pour les deux projets pilotes (voir question 3), le CO₂ biogénique sera capté dans la station d'épuration des eaux usées [ARA Bern](#), où du biogaz est généré et transformé en bio-méthane. Actuellement, le CO₂ est ensuite séparé et rejeté dans l'atmosphère. En captant et en stockant ce CO₂ comme dans DemoUpCARMA, des émissions négatives sont générées.



7. Est-ce sans danger de stocker du CO₂ dans du béton?

Le dioxyde de carbone est minéralisé dans le béton. Ainsi, le CO₂ se lie aux granulats du béton et est donc stocké sous forme solide. Cette technique de stockage est considérée comme sûre et permanente.

8. Que se passe-t-il avec le CO₂ stocké dans le béton lorsqu'un bâtiment est démolì?

La durée de vie moyenne des bâtiments modernes suisses est d'environ 70 à 100 ans, selon leur utilisation. En général, le béton carboné peut être recyclé et réutilisé. Dans tous les cas, une fois que le CO₂ est minéralisé dans le béton, il y reste indéfiniment, même lorsque le bâtiment est démantelé.

9. Sous quelle forme le CO₂ est-il capté et transporté dans DemoUpCARMA?

Le biogaz de la station d'épuration des eaux usées ARA Bern est constitué d'un mélange gazeux de méthane (60%) et de CO₂ (40% vol.), qui doit être séparé pour obtenir du méthane de haute pureté, appelé bio-méthane. Après avoir été capté, le CO₂ est conditionné sous forme liquide. Le CO₂ liquide est ensuite chargé dans des conteneurs-citernes ISO dédiés (plus communément appelés ISOtainers, voir question 10) et transporté vers le site de stockage à une pression de 22 bar maximum.

10. Comment le CO₂ est-il transporté jusqu'en Islande dans le cadre du projet pilote de CCTS ?

Après le captage du CO₂ à la station d'épuration des eaux usées ARA Bern, le CO₂ est liquéfié et chargé dans des ISOtainers mobiles, qui peuvent conserver le CO₂ à l'état liquide jusqu'au point de livraison (c'est-à-dire le site de stockage) grâce à une isolation par le vide. Les ISOtainers sont transportés par camion du site de captage à la gare de Weil am Rhein (environ 100 km). De là, les ISOtainers sont d'abord transportés par rail jusqu'à Rotterdam (environ 800 km), puis par cargo jusqu'à Reykjavik (environ 2200 km). Une fois livrés à Reykjavik, les ISOtainers sont transférés au site d'injection par camion.

Un conteneur-citerne ISO ou ISOtainer est conçu pour transporter en toute sécurité des liquides dangereux et non dangereux dans le monde entier par camion, train, péniche ou cargo. L'abréviation ISO signifie "International Organization for Standardization" (Organisation internationale de normalisation).



11. Comment le CO₂ est-il stocké sous terre dans le projet pilote CCTS DemoUpCARMA/DemoUpStorage ?

Pour le projet pilote DemoUpCARMA, le CO₂ est dissous dans de l'eau de mer et injecté dans des formations rocheuses basaltiques, avec lesquelles il réagit et forme des minéraux carbonatés, pour un stockage minéral permanent. DemoUpStorage surveille à la fois la réaction du sous-sol islandais à l'injection de CO₂ dissous dans de l'eau de mer et le processus de minéralisation.

Cette méthode de stockage a déjà été mise en œuvre avec de l'eau douce : une fois injectée, l'eau carbonatée réagit avec la formation rocheuse souterraine, libérant ainsi du calcium, magnésium, et du fer dans le flux d'eau. Au fil du temps, ces éléments se combinent avec le CO₂ pour former des carbonates stables.

Cette méthode diffère des autres méthodes de stockage de CO₂ qui injectent directement le CO₂ dans des réservoirs souterrains, comme les bassins sédimentaires, où le CO₂ est physiquement piégé dans des roches poreuses situées en dessous d'une couche de roche imperméable, qui empêche le CO₂ de remonter à la surface.

12. Pourquoi le CO₂ est-il stocké en Islande plutôt qu'en Suisse pour le projet pilote CCTS ?

Le potentiel de stockage du CO₂ dans des formations géologiques a été étudié dans le cadre du projet SCCER-SoE (Centre de compétence suisse pour la recherche énergétique - Approvisionnement en électricité) ainsi que du projet de recherche international ELEGANCY. Les recherches menées dans le cadre de ces projets ont montré que les premières estimations du potentiel de stockage géologique en Suisse sont limitées. En outre, le développement d'un projet de stockage en Suisse prendra plusieurs années. Par conséquent, il est important d'explorer d'autres options de stockage à l'étranger.

L'Islande possède à la fois des caractéristiques géologiques favorables (formations basaltiques) et le savoir-faire et l'expérience nécessaires pour stocker le CO₂ sous terre. Dans le cadre de DemoUpCARMA, Carbfix mettra en œuvre et exploitera le système d'injection de CO₂. Cette entreprise islandaise est pionnière dans le stockage du CO₂ dans les formations basaltiques depuis 2012 et a démontré que le CO₂ peut se minéraliser en quelques années après l'injection en se transformant en pierre. DemoUpCARMA ainsi que ses projets partenaires DemoUpStorage et CO2SeaStone visent à démontrer la faisabilité de l'injection de CO₂ dissous dans de l'eau de mer pour un stockage minéral permanent. L'utilisation d'eau de mer au lieu d'eau douce devrait réduire l'impact environnemental de la technologie de stockage, en particulier son empreinte hydrologique, et permettre sa mise en œuvre en mer (offshore), donnant accès ainsi à une plus grande capacité de stockage dans le monde.

DemoUpCARMA évalue également l'empreinte écologique de cette option, voir Q16.

13. Le stockage souterrain du CO₂ est-il sûr ?

Les risques liés au stockage souterrain du CO₂ dépendent de la formation géologique sélectionnée et de la procédure choisie. Jusqu'à présent, le stockage du CO₂ à l'échelle commerciale a visé les aquifères salins profonds ou les réservoirs de pétrole et de gaz épuisés. Actuellement, il existe environ 30 projets d'exploitation dans le monde qui stockent du CO₂ dans de telles formations, et une centaine de projets supplémentaires sont prévus. Ces projets réussis démontrent qu'un stockage souterrain de CO₂ correctement conçu et exploité est sûr, mais chaque projet doit être accompagné d'une évaluation des risques détaillée et spécifique au projet. Deux des risques qui doivent être soigneusement évalués dans les projets de stockage en aquifère sont le risque de fuite à travers la formation géologique ou les forages existants, et le risque de sismicité induite (voir Q14) et/ou de déformation de la surface.

Dans le projet DemoUpCARMA et dans ses projets partenaires DemoUpStorage et CO2SeaStone, une formation de roches basaltiques située à une profondeur de 300 à 500 m est utilisée pour le stockage. Cette technologie promue par Carbfix diffère des approches décrites ci-dessus et offre potentiellement plusieurs avantages en matière de sécurité.

- Le CO₂ est dissous dans l'eau de mer et injecté à basse pression dans des formations hautement perméables et déjà saturées en fluides. En raison de la faible profondeur et parce que l'injection ne nécessite pas de surpressions importantes, le risque de sismicité induite est faible.
- Le risque de fuite est également moindre par rapport à l'injection sous forme de fluide supercritique (la pratique actuelle dans les projets en cours), car le CO₂ est dissous dans de l'eau.
- Enfin, des expériences en laboratoire ont montré que les processus de minéralisation du CO₂ dissous dans de l'eau et injecté dans des basaltes sont beaucoup plus rapides que l'injection dans des aquifères salins profonds des couches sédimentaires. Dans les formations basaltiques, le CO₂ se minéralise en carbonates et est donc définitivement fixé en quelques années, un même processus qui prend des centaines ou des milliers d'années dans d'autres options de stockage.

L'un des principaux objectifs de DemoUpStorage est d'observer in-situ les processus de propagation des fluides et de minéralisation à l'aide de techniques de surveillance géophysique et géochimique. Cela fournira des données importantes et indépendantes pour les évaluations des risques et de la sécurité, les stratégies de surveillance et la mise à l'échelle des futurs projets de séquestration.

14. Quel est le risque sismique du réservoir souterrain en Islande ?

La sismicité induite a été observée à la suite de la production de pétrole et de gaz, de projets géothermiques, d'activités minières ou de barrages hydroélectriques. La sismicité induite liée au stockage du CO₂ présente un risque en soi (la secousse proprement dite), mais un tremblement de terre peut aussi potentiellement créer des voies de fuite du CO₂ et influencer négativement l'acceptation par le public des projets de CCS, en particulier les projets terrestres (onshore).

Jusqu'à présent, seuls quelques cas mineurs de sismicité induite liés au stockage de CO₂ dans des aquifères salins ou des réservoirs épuisés ont été signalés, et aucun ne concerne le stockage dans des formations basaltiques. En Islande, le risque de séismes induits lors de l'injection de CO₂ dissous dans l'eau de mer est très faible, en raison de la faible profondeur d'injection et des faibles surpressions. Néanmoins, le [Service Sismologique Suisse \(SED\)](#) à l'ETH de Zurich est en train d'installer un réseau de capteurs sismiques près du site d'injection, capable d'observer des microséismes jusqu'à une magnitude d'environ 0.5 sur l'échelle de Richter.

15. Qui surveille l'injection de CO₂ du projet pilote CCTS en Islande ?

En tant que responsables du site d'injection, Carbfix et EAWAG, partenaire dans DemoUpStorage, effectueront un suivi chimique et un contrôle des flux de CO₂ à l'aide de puits dédiés afin de déterminer l'efficacité de la minéralisation du CO₂ après l'injection. En outre, dans le cadre de DemoUpStorage, le Service Sismologique Suisse de l'ETH Zurich installera un réseau de surveillance sismique (voir Q14) pour contrôler la sismicité. DemoUpStorage effectuera également des mesures géophysiques entre les trous de forage, dans le but de suivre la migration et potentiellement la minéralisation du CO₂ injecté.

16. Quelle est l'empreinte carbone totale des deux projets pilotes ?

Pour évaluer les impacts environnementaux ainsi que l'empreinte carbone réelle et finale des deux projets pilotes, une analyse du cycle de vie sera réalisée. Ainsi, l'ensemble de la chaîne sera évalué incluant le captage, le transport, ainsi que l'utilisation ou le stockage du CO₂. Cela comprend par exemple l'énergie nécessaire au transport et au stockage souterrain du CO₂.