

Q&A

Extraction et stockage du CO₂ : questions et réponses

De manière globale et plus spécifiquement dans le contexte suisse

En bref

Il est possible de limiter le réchauffement climatique uniquement dans la mesure où la concentration de CO₂ dans l'atmosphère cesse d'augmenter. Pour ce faire, il existe deux options : mettre en place des mesures pour réduire les émissions de CO₂ ou implémenter des approches pour réduire la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. Les méthodes consistant à extraire le CO₂ de l'atmosphère pour le stocker durablement sont appelées technologies d'émission négative (NET). Elles se déclinent en une grande diversité d'approches. Le CO₂ retiré de l'atmosphère peut être stocké de manière durable dans le sous-sol ou dans des produits à longue durée de vie tels les matériaux de construction. Il reste cependant une série de points à éclaircir avant d'appliquer les technologies d'extraction et de stockage du CO₂ à large échelle. Par ailleurs, étant donné leur coût élevé, ces mesures se destinent en priorité aux rejets difficilement évitables à l'avenir, par exemple des émissions dans le domaine de l'agriculture. Pour protéger le climat, il reste ainsi et avant tout primordial d'éviter les rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Le processus consistant à capter le CO₂ directement à sa source d'émission pour le stocker ensuite (CSC) est souvent confondu avec celui consistant à extraire puis stocker le CO₂. La question 6 explique pourquoi ces deux processus doivent être distingués l'un de l'autre, mais aussi ce qu'ils ont en commun.

Les questions et réponses sur le captage et le stockage du CO₂ ont été élaborées avec le soutien de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) dans le cadre de la Swiss Carbon Removal Platform, une initiative de la fondation Risiko-Dialog.

Associée à un stockage à long terme, l'extraction du CO₂ de l'atmosphère a un rôle clé à jouer dans la protection du climat. Mais comment peut-on extraire le CO₂ pour le stocker ? Le fait-on déjà aujourd'hui ? Et que dit la législation suisse à ce sujet ?

Vu la progression des changements climatiques, il est grand temps de prendre des mesures efficaces pour freiner le réchauffement d'origine anthropique. Il est important de réduire les rejets de gaz à effet de serre, mais aussi d'éliminer le CO₂ présent dans l'atmosphère. Certaines émissions sont difficilement évitables dans un futur proche, dans l'agriculture notamment. À l'avenir, il faudra donc également procéder à une extraction et à un stockage du CO₂ si l'on entend atteindre l'objectif de [zéro émission nette](#) de gaz à effet de serre. Il existe de nombreuses méthodes d'extraction et de stockage du CO₂ permettant de diminuer la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. On les appelle les technologies d'émission négative (NET). Comment peut-on extraire du CO₂ de l'atmosphère ? Et où peut-on le stocker ensuite ? À quoi faut-il veiller dans le développement des NET ? Toutes ces questions font l'objet de recherches à l'échelle internationale et de tests dans des installations pilotes. En outre, des discussions sont menées sur leur mise en œuvre.

Les réponses aux questions ci-dessous fournissent quelques repères essentiels sur ce thème complexe qu'est l'extraction et le stockage du CO₂. Elles soulignent le rôle de ces technologies dans la protection du climat au niveau mondial et pour la Suisse. Elles sont ponctuées de quelques sources d'informations complémentaires qui permettent d'approfondir le sujet.

L'introduction de nouvelles technologies a un prix et s'accompagne de nombreuses attentes, incertitudes et craintes, aussi concernant la protection du climat. Du point de vue sociétal, l'extraction de CO₂ de l'atmosphère poursuit des objectifs bien précis : freiner le réchauffement climatique et atténuer les conséquences catastrophiques qui pourraient en résulter. Dans un premier temps, il s'agit d'évaluer la pertinence des méthodes d'extraction et de stockage du CO₂ ainsi que d'autres mesures de protection du climat par rapport à ces objectifs. Il y a par ailleurs lieu de se demander à quel prix ces technologies sont viables sur les plans éthique, écologique et économique. Ces aspects doivent être régulièrement rediscutés par la société et les acteurs politiques. L'appréciation de nouvelles possibilités technologiques est tout aussi importante que la discussion de fond sur la manière dont la société doit gérer la crise climatique. Il est vital de développer durablement de telles technologies au cours des prochaines décennies pour réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre et ne pas dépasser la limite de +1,5 °C. En Suisse, la loi sur le climat et l'innovation (LCI) fournit le cadre juridique nécessaire. Mais sur la voie menant à un bilan net nul de nombreuses questions restent en suspens.

Pour que l'extraction et le stockage du CO₂ servent durablement la protection du climat, il faut s'assurer que le CO₂ retiré de l'atmosphère est effectivement stocké à long terme hors de celle-ci et que les conséquences environnementales éventuelles sont prises en compte dans le processus. Il est par ailleurs primordial de répartir les coûts et les bénéfices de manière équitable et de définir un processus qui soit transparent afin de favoriser l'acceptation sociale. Dans cette perspective, la *Swiss Carbon Removal Platform* souhaite promouvoir un débat éclairé en Suisse sur la thématique de l'extraction et du stockage du CO₂.

1) Qu'entend-on par « zéro net » ?

« Zéro net », ou zéro émission nette de gaz à effet de serre, signifie que la quantité de gaz à effet de serre d'origine anthropique équivaut à la quantité de CO₂ que l'être humain retire de l'atmosphère. Le zéro net cherche ainsi à maintenir une proportion constante de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et à prévenir toute augmentation. Sachant que certaines émissions ne sauraient être ramenées à zéro à brève échéance, il est indispensable, pour atteindre le zéro net, de compléter la réduction des émissions par l'extraction du CO₂ de l'atmosphère. Il faut pour ce faire développer puis consolider rapidement des méthodes d'extraction et de stockage du CO₂ afin de compenser les émissions résiduelles, soit celles qui sont difficiles à éviter. Parvenir à zéro émission nette de CO₂ (le gaz à effet de serre le plus important) constitue une étape intermédiaire de première importance dans la lutte contre l'augmentation de la température moyenne de la planète. En Suisse, l'objectif net zéro doit être atteint jusqu'à 2050. La loi sur le climat et l'innovation LCI, acceptée par la population électorale suisse le 18 juin 2023, prévoit en outre d'autres objectifs intermédiaires ; et en plus un rôle de pionnier pour la Confédération et les cantons.

2) Que sont l'extraction et le stockage du CO₂ ?

L'objectif de l'extraction et du stockage du CO₂ est de maintenir constante la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, voire de la réduire, en retirant du CO₂ de l'atmosphère et en le stockant durablement. Le processus d'extraction et de stockage du CO₂ contribue ainsi à la protection du climat et à l'atteinte de l'objectif du zéro net. Il peut être réalisé selon diverses méthodes, regroupées sous l'appellation NET ou Carbon Dioxide Removal (CDR).

Le processus consistant à capter le CO₂ directement à sa source d'émission pour le stocker ensuite (CSC) est souvent confondu avec celui consistant à extraire puis stocker le CO₂. Il convient cependant de faire une distinction entre les deux. On parle de NET si on retire de l'atmosphère du CO₂ qui a déjà été émis. Le CSC est le processus par lequel le CO₂ est capturé directement à sa source d'émission : il évite un rejet de CO₂ dans l'atmosphère et le remplace par un stockage. Le CSC peut donc être utilisé pour réduire les émissions (p. ex. liées aux combustibles fossiles). Toutefois, dans certaines circonstances, le CSC peut également générer des émissions négatives (voir questions 5 et 6).

Sur le long terme, l'extraction et le stockage du CO₂ pourraient même compenser des émissions historiques, c'est-à-dire faire reculer la quantité de CO₂ présent dans l'atmosphère et participer à la baisse du réchauffement climatique. Il reste cependant un long chemin à parcourir avant d'en arriver là. Pour la Suisse, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a calculé qu'il faudrait extraire de l'atmosphère plusieurs millions de tonnes de CO₂ pour atteindre l'objectif du zéro net d'ici à 2050 au niveau national (voir question 9 : Quel rôle jouent l'extraction et le stockage du CO₂ du point de vue des objectifs climatiques de la Suisse ?). Selon les scénarios figurant dans le [rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat de l'ONU \(GIEC\) 2022](#), il s'agirait même, au niveau mondial, de quelque 10 à 20 milliards de tonnes par an. Si l'on entend atteindre l'objectif du zéro net d'ici à 2050 par des moyens technologiques, ceux-ci doivent être disponibles à un niveau suffisant. Il faut donc poser les jalons sans attendre et tester puis mettre en œuvre ces approches technologiques prometteuses.

3) Quelles sont les approches d'extraction du CO₂ de l'atmosphère actuellement à l'étude ?

Une très large portefeuille d'approches sont aujourd'hui explorées, testées, et même déjà employées. Toutes ces approches se donnent pour objectif central d'extraire le CO₂ (ou d'autres gaz) de l'atmosphère. Les modes d'action des différentes méthodes d'extraction et de stockage du CO₂ diffèrent parfois fortement. Parmi les approches existantes, on citera par exemple le boisement, la gestion des forêts et l'exploitation du bois ; la production de charbon végétal riche en carbone et son stockage ; l'apport de carbone dans les sols ; l'extraction du CO₂ de l'air par filtration mécanique et stockage (*direct air carbon capture and storage*, DACCS) ; l'altération accélérée ; l'utilisation de carbone atmosphérique dans la fabrication du ciment ; la bioénergie avec captage et stockage du CO₂ (*bioenergy carbon capture and storage*, BECCS) ; ou encore l'amélioration de l'alcalinité des océans.

Ces méthodes ont toutes un point commun : le CO₂ doit d'abord être fixé avant d'être stocké. Dans un premier temps, le CO₂ présent dans l'atmosphère doit donc être lié, par exemple par un processus biologique (photosynthèse), géochimique (altération) ou chimique. Dans un second temps se pose la question du stockage. Comme puits de carbone, on pensera notamment à la végétation, aux sols, aux sédiments, aux minéraux, aux formations géologiques, aux matériaux à longue durée de vie et aux océans. Le carbone peut y être stocké sous forme de CO₂ concentré, sous forme organique (biomasse) ou encore sous forme de composés minéraux, l'objectif étant à chaque fois d'empêcher son retour dans l'atmosphère. Au vu de la grande diversité de processus utilisés, il n'est pas étonnant qu'il existe d'importantes différences entre les approches en matière d'emplacement, de besoins en ressources, d'effets collatéraux et de coûts. Si de nombreuses approches s'intègrent à des processus existants (production d'énergie, agriculture, etc.), certaines nécessitent de nouvelles installations et infrastructures. Tirée du rapport du GIEC de 2022, [l'illustration](#) ci-après propose une classification scientifique des différentes méthodes d'extraction du CO₂ de l'atmosphère.

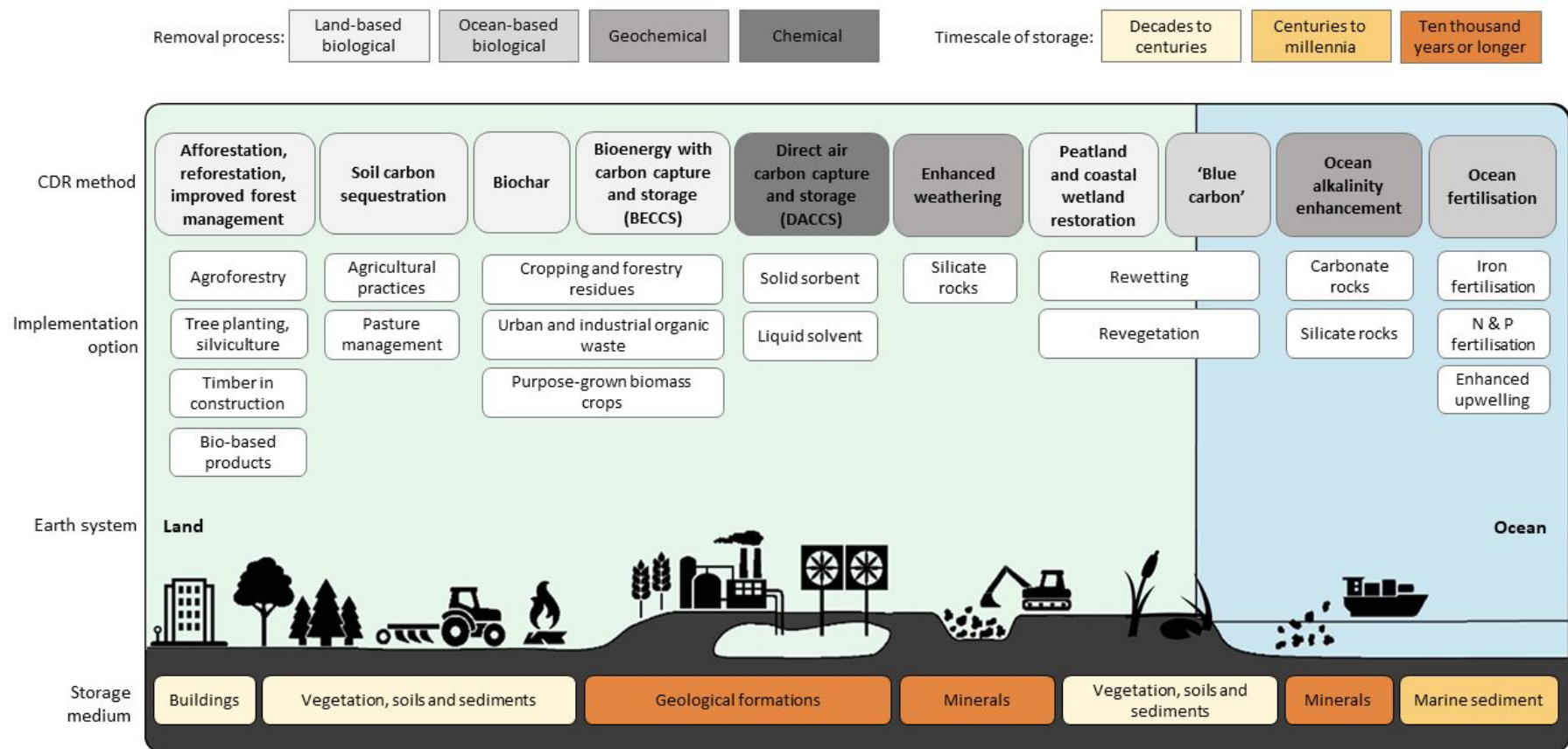


Illustration : Classification systématique des méthodes d'extraction et de stockage du CO₂ (NET) et de leurs divers effets. En anglais, ces méthodes sont regroupées sous le terme *carbon dioxide removal* (CDR). Source : Troisième partie du sixième rapport mondial sur le climat du GIEC : <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>.

4) L'extraction et le stockage du CO₂ remplacent-ils les autres mesures de protection du climat ?

Non. La priorité absolue reste de réduire rapidement et drastiquement les émissions de gaz à effet de serre. Cependant, pour atteindre l'objectif du zéro net, il est indispensable d'extraire du CO₂ de l'atmosphère afin de compenser des émissions difficilement évitables.

Certaines incertitudes subsistent quant au véritable potentiel et à la durabilité de ces technologies, car la plupart d'entre elles ne sont pas encore pratiquées à grande échelle. En outre, il est complexe et onéreux d'extraire de grandes quantités de CO₂, sans oublier qu'il faut prouver la permanence du stockage, ce qui implique certaines charges et soulève des incertitudes. C'est pourquoi la priorité reste de diminuer les émissions en évitant les rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Plus tôt la réduction des émissions intervient et plus elle est importante, plus le besoin de retirer du CO₂ de l'atmosphère diminuera.

Cependant, certaines émissions ne sauraient être évitées à brève échéance ou ne pourraient l'être qu'à des coûts très élevés. Ainsi, il est indispensable d'éliminer du CO₂ de l'atmosphère pour compenser ces émissions difficilement évitables si l'on entend progresser sur la voie du zéro net. La Confédération estime actuellement que les émissions résiduelles difficiles à éviter sont avant tout les émissions provenant de l'agriculture, des industries cimentière et chimique ainsi que de l'incinération des ordures ménagères. Définir quelles sont les émissions inévitables est une question technique, mais aussi et surtout politique et économique, qui appelle des débats de société ainsi que des décisions politiques.

L'objectif du zéro net nécessite une large palette d'approches et d'efforts complémentaires, et ce le plus rapidement possible. Compte tenu des conséquences désastreuses découlant de chaque dixième de degré supplémentaire, il convient de tester sans attendre diverses mesures et technologies de protection du climat et de combiner plusieurs approches.

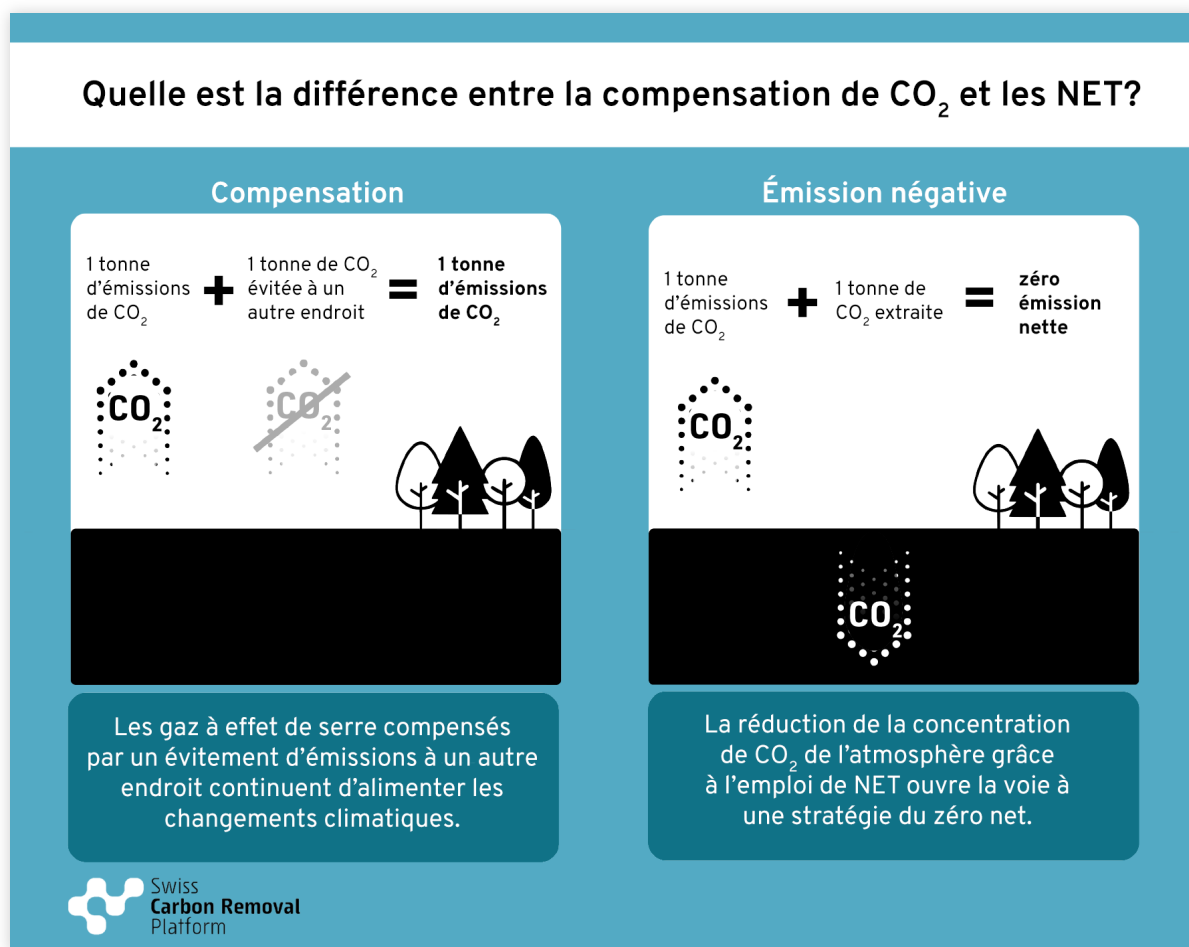
La vidéo intitulée « [Negative Emissionen – Wir müssen jetzt anfangen !](#) » (en Allemand), sur SRF News, fournit de plus amples informations sur le rôle de l'extraction et du stockage du CO₂ en matière de protection du climat.

5) Quelle est la différence entre l'extraction du CO₂ de l'atmosphère et la compensation du CO₂ ou d'autres mesures de protection du climat ?

La compensation du CO₂ consiste à éviter des émissions de gaz à effet de serre à un autre endroit dans une proportion similaire, mais les gaz à effet de serre déjà émis restent dans l'atmosphère. Les NET retirent quant à elles le CO₂ de l'atmosphère. Ainsi, si un passager compense l'empreinte carbone de son vol en avion en payant une certaine somme, le CO₂ émis par l'avion reste dans l'atmosphère. L'argent qu'il a versé à titre de compensation servira alors, par exemple, à construire ailleurs une installation solaire pour remplacer des générateurs diesel, avec à la clé une quantité d'émissions comparable évitée. De tels mécanismes de compensation peuvent jouer un rôle central pour financer des projets de protection du climat selon le principe du pollueur-payeur. Toutefois, à elles seules, ces compensations ne permettront pas d'atteindre l'objectif du zéro net. En effet, les compensations de CO₂ permettent certes de réduire les quantités d'émissions à l'échelle mondiale, mais ne les ramènent pas à zéro. Une extraction du CO₂ de l'atmosphère suivie d'un stockage durable de ce

gaz permet en revanche de faire diminuer les émissions jusqu'à une valeur de zéro (zéro émission nette). Il faut pour ce faire extraire rapidement le CO₂ de l'atmosphère pour le stocker hors de l'atmosphère en toute sécurité et à long terme.

Les entreprises et les particuliers peuvent soutenir des projets de compensation ainsi que de piégeage du carbone, qui ouvrent la voie à une extraction et à un stockage du CO₂ à différentes échelles de temps.

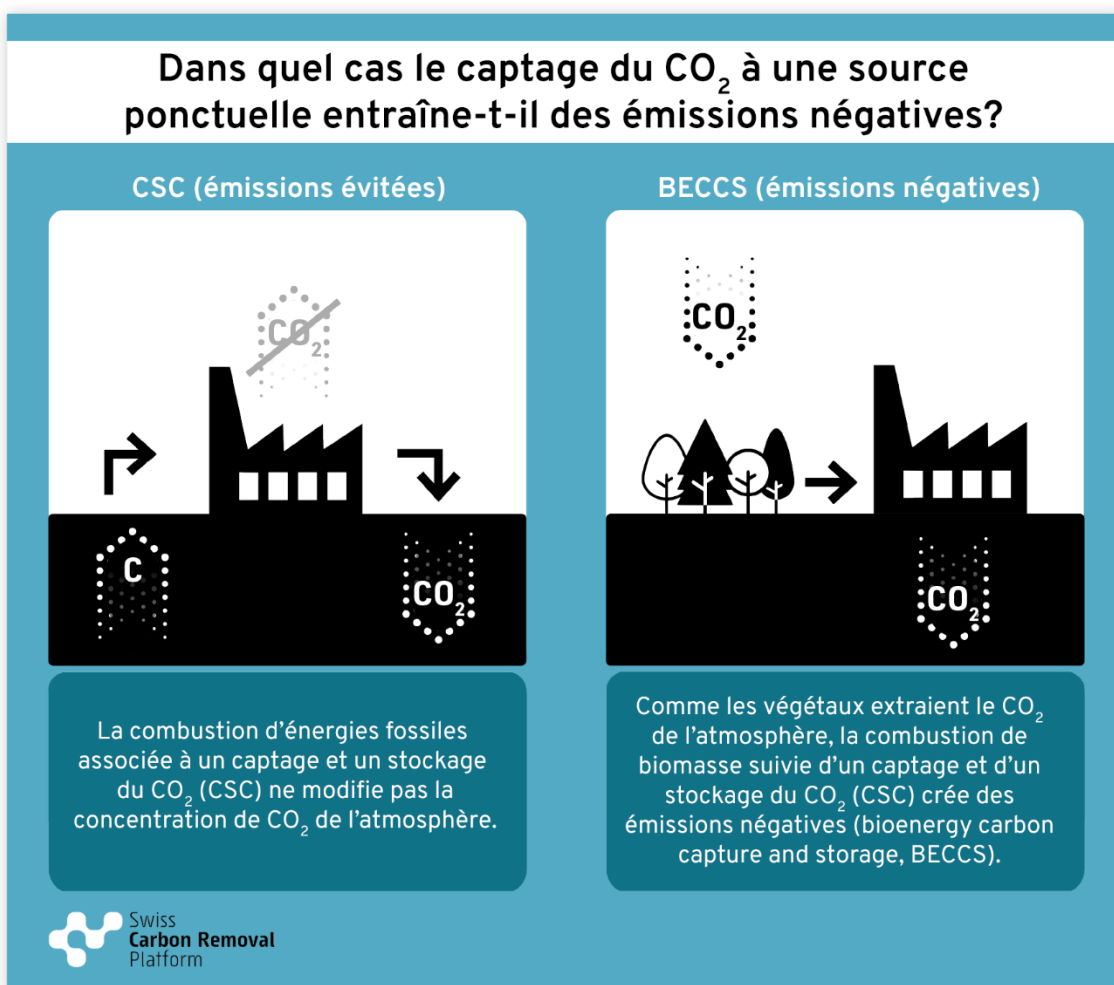


6) Quelles sont les différences entre les technologies NET (technologies d'émission négative), CSC (captage et stockage du CO₂) et CUC (captage et utilisation du CO₂) ?

L'origine du CO₂ stocké ou réutilisé est déterminante aussi bien dans la différenciation des méthodes que dans le suivi de leurs effets sur le climat. Les technologies d'émission négative (NET) sont toutes les méthodes qui extraient les gaz à effet de serre (principalement le CO₂) de l'atmosphère pour les stocker. En Anglais on parle de Carbon Dioxide Removal (CDR). Le terme de captage et stockage du CO₂ (CSC) désigne quant à lui le captage du CO₂ directement à sa source d'émission (appelée source ponctuelle), par exemple une cheminée d'usine ou d'installations industrielles, suivie du stockage de ce gaz. Les émissions sont issues soit de processus chimiques (p. ex. lors de la production de ciment), soit de la production d'énergie. Le combustible utilisé peut provenir de sources fossiles (pétrole, gaz naturel ou charbon) ou

de la biomasse. Selon le combustible, le processus CSC peut contribuer à réduire les émissions de CO₂ d'origine fossile et liées aux processus (CSC fossile). On peut également capter et stocker le CO₂ issu de la combustion de la biomasse (BECCS).

La technologie BECCS utilise des matières végétales comme matières premières pour la production d'énergie (bioénergie), en captant le CO₂ directement au cours du processus industriel pour le stocker. Comme les plantes absorbent le CO₂ et le stockent (par photosynthèse), la combustion de végétaux combinée au captage et au stockage du CO₂ (CSC) contribue à réduire la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. La technologie BECCS convient par exemple aux installations agricoles de méthanisation et aux centrales thermiques à bois.



La Suisse prévoit actuellement de capter du CO₂ dans des usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM). Environ la moitié des ordures qui y sont brûlées proviennent de sources végétales (biomasse), le reste étant d'origine fossile (p. ex. plastiques). Au sein d'une UIOM, une installation CSC est donc en mesure pour moitié de générer des émissions négatives (technologie BECCS pour la fraction biomasse) et pour moitié de réduire des émissions difficilement évitables (CSC fossile).

La technologie de captage et d'utilisation du CO₂ (CUC) utilise le CO₂ capté directement à la source dans des produits nouveaux ou le réemploie sans transformation, par exemple comme gaz carbonique dans les boissons ou dans la fabrication de carburants synthétiques. Si le carbone est stocké sur une période prolongée hors de l'atmosphère, par exemple dans des matériaux de construction à longue durée de vie (béton recyclé, bois), on parle alors de captage, utilisation et stockage du CO₂ (CUSC).

Comme exemple d'application de la technologie CUSC, on citera l'utilisation et le stockage du CO₂ capté dans le béton de démolition. Cette méthode a été testée dans le projet de recherche et de démonstration DemoUpCARMA (2021-2023) et a déjà été partiellement opérationnalisée et intégrée dans la chaîne de valeur. Dans ce cas également, l'origine du CO₂ influence nettement les effets sur le climat : si le CO₂ provient de sources fossiles ou de processus, le CUC retarde les émissions et le CUSC permet de les éviter. Si le CO₂ résulte de la combustion de biomasse, le CUC peut contribuer à une production neutre sur le plan climatique, alors que les technologies CUSC et BECCS peuvent entraîner des émissions négatives. La [foire aux questions](#) de DemoUpCARMA fournit davantage de renseignements sur les technologies CSC et CUSC.

7) Quels sont les dangers, les risques et les impondérables liés à l'extraction et au stockage du CO₂ ?

Les méthodes actuellement en discussion pour l'extraction et le stockage du CO₂ sont en principe sûres d'utilisation pour autant que des principes fondamentaux soient définis et respectés. Le développement de nouvelles technologies à large échelle est source de défis, car il s'accompagne toujours d'incertitudes et potentiellement de conflits d'objectifs. Dans de tels projets, la sécurité et la durabilité revêt une importance primordiale. Il est donc nécessaire d'en discuter en amont et d'instaurer certaines mesures de précaution correspondantes en la matière.

Dans [une étude de TA Swiss](#) de 2023, les chances et les risques de cinq méthodes de prélèvement et de stockage du CO₂ sont traités en détail. Sur la base de l'analyse de l'état des connaissances et d'une enquête systématique auprès des spécialistes en Suisse des recommandations sont formulées.

Dans le cas de l'extraction et du stockage du CO₂, les dispositions de sécurité concernent par exemple la manutention, le transport et le stockage du CO₂ extrait de l'atmosphère. Bien qu'il soit un gaz non toxique, le CO₂ doit être manipulé avec précaution afin de protéger aussi bien l'être humain que l'environnement. C'est pourquoi il y a lieu de respecter, dans le cadre du processus d'extraction et de stockage du CO₂, les normes de sécurité éprouvées relatives à la manutention industrielle de gaz. Dans la recherche et l'expérimentation de nouvelles techniques, il faut porter une attention particulière aux aspects liés à la sécurité, par exemple dans la recherche d'un site de stockage géologique potentiel pour le CO₂ dans le sous-sol. De plus, il ne faut pas négliger l'impact à long terme. Dans le cas du charbon végétal par exemple, il y a lieu de s'intéresser aux conséquences à long terme de la technique sur les sols comme habitats. Les projets pilotes qui font l'objet d'un accompagnement scientifique avec un suivi approprié ont ici un rôle de premier plan.

À petite échelle et moyennant des mesures de sécurité adéquates, l'extraction et le stockage du CO₂ peuvent être pratiqués sans risque. Cependant, pour contribuer de manière considérable à la protection du climat, cette technique devrait être déployée à large échelle, ce qui se traduirait par un accroissement des ressources nécessaires. Le type de défis qui se présentent dépend de l'approche retenue, car les différentes techniques font appel à diverses ressources. Certaines méthodes requièrent en effet beaucoup d'énergie. Un autre défi est celui du besoin accru en NET pour les surfaces forestières et agricoles ainsi que de matériaux d'origine végétale tels que le bois. Tous ces éléments soulèvent des questions de faisabilité et de durabilité qui doivent être prises en compte et évaluées de manière systématique à chaque étape de développement de l'extraction et du stockage du CO₂.

En outre, certaines méthodes CDR nécessitent des investissements à long terme dans les infrastructures, notamment pour le captage, le transport et le stockage de millions de tonnes de CO₂. Compte tenu des incertitudes susmentionnées, les différentes méthodes doivent être testées et les jalons posés dès aujourd'hui si l'on veut qu'elles contribuent de manière significative à la réalisation des objectifs climatiques 2050. Étant donné les coûts élevés de l'extraction et du stockage du CO₂, il faut être certain que le processus contribue durablement à la protection du climat. Pour ce faire, il faut tenir compte de l'ensemble de la chaîne de création de valeur afin de s'assurer que le processus ne crée pas davantage d'émissions qu'il n'en retire de l'atmosphère. Quelques approches se situent encore dans une phase expérimentale et, pour la plupart des technologies, il manque encore des études à long terme portant sur la permanence du stockage du CO₂ extrait de l'atmosphère (voir question 13 : Pendant combien de temps faut-il garantir le stockage du CO₂?). Compte tenu de ces incertitudes, il faut tester dès aujourd'hui les différentes méthodes et préparer les bases sans attendre, si l'on souhaite que ces technologies contribuent à la réalisation des objectifs climatiques d'ici à 2050. Des certifications et de nouveaux actes législatifs doivent garantir que seules des approches suffisamment sûres et durables sont implémentées et que chaque tonne de CO₂ extraite de l'atmosphère est comptabilisée correctement.

Afin d'assurer l'acceptation sociale et l'intégrité éthique du processus d'extraction de CO₂, il est nécessaire de mettre en place un financement selon le principe du pollueur-payeur ainsi qu'une répartition sociale des coûts, des risques et des bénéfices (voir question 16 : Comment mettre en place un financement conforme au principe du pollueur-payeur pour l'extraction et le stockage du CO₂ ?). Des conditions-cadres équitables et transparentes sont indispensables en la matière. Il est dans ce contexte essentiel d'organiser un débat public sur le rôle des différentes approches pour la protection du climat en Suisse et dans le monde. Il faudra déterminer notamment quelles émissions peuvent être qualifiées de difficilement évitables, mais aussi répondre à des questions de responsabilité internationale et de justice climatique mondiale.

Davantage d'informations sur les défis éthiques à prendre en compte dans le développement de technologies d'extraction et de stockage du CO₂ sont disponibles sur notre [blog](#).

8) Quel est le potentiel pour les approches d'extraction et de stockage du CO₂ en Suisse ?

Le potentiel pour extraire puis stocker durablement du CO₂ en Suisse est estimé actuellement à quelques tonnes de CO₂ par an, mais le potentiel durablement réalisable pourrait être considérablement plus faible en raison de facteurs économiques, écologiques et sociaux (cf. [Rapport du Conseil fédéral en réponse au postulat 18.4211 du 2 septembre 2020](#)). Les [fiches d'information de TA Swiss](#) de 2023 (en Allemand) proposent des estimations du potentiel de cinq méthodes de captage et de stockage du CO₂ - ainsi qu'un aperçu des coûts, des opportunités et des risques.

Le potentiel est limité notamment par les surfaces à disposition (pour le boisement) et la disponibilité de biomasse d'origine végétale pour des méthodes spécifiques telles que l'utilisation de la bioénergie avec captage et stockage du CO₂ (BECCS) et la production de charbon végétal. Dans le cas des méthodes BECCS et d'extraction du CO₂ de l'air par filtration mécanique et stockage (DACCS), on peut imaginer comme facteurs limitants, d'une part, les besoins énergétiques des méthodes et, d'autre part, les capacités de stockage disponibles dans le sous-sol pour le CO₂ capté. Pour d'autres approches (p. ex. séquestration accrue de CO₂ dans les sols agricoles, altération accélérée de poudre de roche ou béton recyclé), la quantité de données disponibles est encore trop faible pour fournir une estimation réaliste du potentiel et des facteurs limitants.

À titre de comparaison : en 2020, les émissions totales de gaz à effet de serre sur territoire helvétique s'élevaient à 43 millions de tonnes d'équivalents CO₂. L'OFEV s'attend à une réduction des émissions de plus de 80 % d'ici à 2050. Il resterait alors 7 millions de tonnes d'émissions résiduelles qu'il s'agirait de compenser en Suisse et à l'étranger par extraction et stockage. Des estimations détaillées du potentiel et des coûts pour la Suisse sont proposées d'une part par [une étude de TA Swiss](#) (en Allemand) datant de 2023 et d'autre part par [une étude de l'EPFZ](#) (en Allemand) réalisée pour le compte de l'OFEV en 2022.

9) Quel rôle jouent l'extraction et le stockage du CO₂ du point de vue des objectifs climatiques de la Suisse ?

Dans les modèles et scénarios climatiques actuels, l'extraction et le stockage du CO₂ jouent un rôle central pour respecter la limite de + 1,5 °C retenu par l'Accord de Paris (accord sur le climat), mais aussi pour atteindre l'objectif helvétique de zéro émission nette d'ici à 2050. En vertu de la [Stratégie climatique à long terme 2050](#) et des [Perspectives énergétiques 2050+](#), il s'agit de réduire le plus possible les rejets de gaz à effet de serre en Suisse. Les émissions difficilement évitables devraient être compensées à l'avenir grâce à une extraction et un stockage du CO₂ afin d'atteindre l'objectif du zéro net d'ici à 2050. La Confédération souhaite renforcer les capacités actuelles d'ici à 2050 afin que 7 millions de tonnes de CO₂ puissent être éliminées de l'atmosphère en Suisse et à l'étranger, puis stockées en toute sécurité. Ces 7 millions de tonnes correspondent à environ 16 % des gaz à effet de serre actuellement émis sur le territoire helvétique. En Suisse, il s'agit en particulier de capter directement à la source le CO₂ issu de l'épuration des eaux usées, de la production de biogaz et de la combustion de matières végétales dans des UIOM et de l'acheminer vers des sites de stockage appropriés. Ces approches appartiennent à la catégorie bioénergie avec captage et stockage du CO₂ (BECCS). Il faudra par ailleurs parvenir à des émissions négatives supplémentaires à l'étranger, par

exemple grâce à l'extraction du CO₂ de l'air par filtration mécanique et stockage (DACCS). En plus de l'extraction du CO₂ de l'atmosphère, il s'agira d'éviter 5 millions de tonnes d'émissions de CO₂ grâce au CSC fossile (à propos du CSC, voir la question 6). Le dossier « Émissions négatives de CO₂ » paru dans le magazine [« l'environnement »](#) de l'OFEV (2/2022, p. 9) ainsi que la [feuille de route de la Confédération sur le CSC et les NET](#) donnent un aperçu des applications prévues en Suisse pour les diverses approches.

En plus de la gestion des émissions sur territoire suisse, il faut se poser deux autres questions liées aux émissions générées au-delà des frontières : celle de la réduction ou de la compensation des effets du trafic aérien sur le climat et celle de l'empreinte carbone de la consommation indigène (marchandises importées et investissements suisses). De plus amples informations à ce sujet sont disponibles par exemple dans la [Stratégie climatique à long terme 2050](#) de la Suisse (section 8.5) ainsi que dans le [Masterplan climat Suisse](#) de l'Alliance climatique suisse.

La loi sur le climat et l'innovation LCI, approuvée par le peuple suisse le 18 juin 2023, définit un cadre juridique pour atteindre zéro émission nette de gaz à effet de serre dans le pays : La principale priorité est de réduire les émissions le plus rapidement possible. L'élimination du CO₂ de l'atmosphère (CDR) doit en outre permettre de compenser les émissions résiduelles difficilement évitables d'ici 2050. Pour plus d'informations sur la LCI, voir la réponse à la question 17 ci-dessous.

Pour ne pas dépasser la limite de + 1,5 °C, il faudra non seulement parvenir aux émissions zéro net, mais aussi, dans la seconde moitié du siècle, arriver à des émissions négatives à l'échelle mondiale. En d'autres termes, il faudra extraire plus de CO₂ de l'atmosphère que les quantités émises. Cela aussi est déjà prévu dans la LCI (article 3.2) : « Après 2050, la quantité de CO₂ extraite et stockée en recourant à des technologies d'émission négative doit être supérieure aux émissions de gaz à effet de serre restantes ». Il est toutefois important, dans le cadre de ce débat à si long terme, de ne pas perdre de vue la nécessité de mesures drastiques de réduction et de ne pas avoir des attentes trop élevées vis-à-vis de ces technologies, car le potentiel durablement réalisable est limité.

10) Certaines méthodes d'extraction et de stockage du CO₂ sont-elles déjà appliquées en Suisse ?

Différentes approches pour extraire puis stocker le CO₂ durablement sont déjà employées en Suisse, pour des quantités limitées cependant : le potentiel reste largement sous-exploité.

Les forêts et les sols suisses fixent depuis longtemps de grandes quantités de CO₂, mais émettent également, en fonction des conditions, du CO₂, du méthane et du protoxyde d'azote. Ils représentent ainsi à la fois des sources et des puits de gaz à effet de serre. Selon les connaissances actuelles, le potentiel de réduction du CO₂ (effet de puits) que présentent la forêt et les sols pourrait être conservé, voire augmenté à l'avenir si l'exploitation est durable à long terme (voir [Thuerig, Esther. In : Zürcher Wald, 2022 | 8, pp. 28-32](#)). L'accroissement de l'effet de puits des forêts et des sols par une intervention humaine peut être considéré comme une méthode d'extraction du CO₂ du moment que le stockage du CO₂ concerné est durable. Le risque existe que le carbone stocké dans les forêts ou les sols soit de nouveau libéré dans l'atmosphère par des changements d'utilisation des terres ou par les changements climatiques

(sécheresse, incendie de forêt). C'est pourquoi il est essentiel que l'exploitation soit durable à long terme. Aujourd'hui déjà, on utilise du bois pour fabriquer des produits à longue durée de vie ainsi que pour produire du charbon végétal riche en carbone, ensuite réutilisé dans l'agriculture, dans les jardins, voire dans la fabrication de matériaux de construction. Ce sont autant de possibilités de maintenir le carbone des arbres hors de l'atmosphère sur le long terme. À l'avenir, les produits ligneux et les déchets végétaux pourraient, à l'issue de leur cycle de vie, être utilisés à des fins énergétiques sans que le CO₂ ne retourne dans l'atmosphère : par exemple grâce à la combustion de produits ligneux et de déchets végétaux pour générer de l'énergie tout en captant du CO₂ (BECCS) ou grâce à d'autres techniques de combustion spécifiques (pyrolyse pour la production de charbon végétal).

Parallèlement aux applications actuelles, des études portant sur des périodes prolongées se penchent aujourd'hui sur le potentiel à long terme des approches d'extraction du CO₂ dans les domaines de la forêt, des sols et du charbon végétal. Par ailleurs, outre les projets pilotes, il existe déjà les premières installations opérationnelles pour le captage direct de l'air, pour le captage du CO₂ des émissions de biogaz et de l'épuration des eaux usées, et pour le stockage du CO₂ dans le béton de démolition. Le captage du CO₂ des gaz d'échappement des usines d'incinération des ordures ménagères et des cimenteries pourrait constituer la prochaine grande étape (situation en 2023). Pour ces approches toutefois, la Suisse manque encore de capacités de stockage du CO₂ extrait, car le potentiel du béton recyclé reste limité pour l'heure et que le pays ne dispose encore d'aucun site de stockage dans le sous-sol. La Suisse doit évaluer son potentiel de stockage géologique du CO₂ (voir les questions 12 et 13).

Vous trouverez plus d'informations et d'exemples sur l'extraction et le stockage du CO₂ en Suisse dans [notre brochure d'information](#) (en Allemand), sur le [site web de l'OFEV](#), ainsi que dans le dossier [« Émissions négatives de CO₂ »](#) paru dans le magazine [« l'environnement » \(édition 2022 | 2\)](#) de l'OFEV. Sur le thème du charbon végétal, l'Office fédéral de l'environnement OFEV et l'Office fédéral de l'agriculture OFAG ainsi que le Cercle Sol des cantons ont publié la fiche technique [« Utilisation de charbon végétal dans l'agriculture en Suisse - Risques et opportunités pour les sols et le climat »](#) en janvier 2023.

11) Comment le CO₂ est-il transporté et stocké ?

Le CO₂ peut être transporté dans des conteneurs ou par pipeline. Le stockage peut se faire soit dans le sous-sol, soit dans des produits ou des matériaux de construction riches en carbone et à longue durée de vie. Il est par ailleurs possible de stocker du carbone dans les forêts et les sols, du moins de manière temporaire. Le CO₂ extrait de l'atmosphère peut être stocké géologiquement, dans des couches rocheuses appropriées, par exemple des couches de basalte souterraines. Le CO₂ dissous dans l'eau est pompé dans ces couches, ce qui entraîne une formation de calcaire. D'autres sites de stockage géologique sont envisageables, par exemple des gisements de gaz épuisés ou des couches rocheuses contenant de l'eau saline en profondeur (aquifères salins). En Suisse actuellement, seuls les aquifères salins sont envisageables comme sites de stockage du CO₂.

Si la source de CO₂ et le site de stockage sont très éloignés l'un de l'autre, le CO₂ doit être transporté sur de longues distances. Le CO₂ est pour ce faire liquéfié, puis acheminé à destination dans des conteneurs par camion, train ou bateau. De tels transports s'effectuent

déjà aujourd'hui en quantités restreintes dans les industries chimiques et alimentaires. Pour prétendre transporter de grandes quantités de CO₂ de manière rentable tout en limitant les émissions de CO₂ générées par le transport, il faudrait à long terme mettre en place des pipelines et des navires-citernes destinés spécifiquement au transport de CO₂. Ces dispositifs pourraient par exemple acheminer vers des sites de stockage géologique à l'étranger (p. ex. en Islande ou dans la mer du Nord) du CO₂ issu d'UIOM, d'installations agricoles de méthanisation, de cimenteries ou d'installations d'épuration des eaux usées situées sur territoire suisse. Le projet de recherche et de démonstration [DemoUpCARMA](#) a testé avec succès, d'une part, l'utilisation et le stockage permanent de CO₂ dans du béton frais et recyclé et, d'autre part, le transport de CO₂ vers l'étranger en vue d'un stockage permanent dans un réservoir géologique. La [foire aux questions](#) de DemoUpCARMA fournit davantage de renseignements sur ces points.

D'autres méthodes misent sur le stockage durable du carbone dans les forêts et les surfaces agricoles, un objectif qui peut être atteint par une gestion appropriée des sols et l'apport de charbon végétal. Dans le cas de l'altération accélérée (p. ex. utilisation de poudre de roche), le CO₂ réagit de nouveau chimiquement avec la roche et se dissout.

12) Du CO₂ est-il stocké dans des sites géologiques en Suisse ?

Actuellement, il n'y a pas de CO₂ stocké dans le sous-sol helvétique. Certains chercheurs essaient d'évaluer le potentiel de stockage du CO₂ en Suisse. Selon des estimations de l'Office fédéral de l'énergie, la Suisse devrait attendre au moins 15 à 20 ans avant de disposer de premiers sites de stockage géologique du CO₂ (état en 2022). Des essais pilotes pourraient avoir lieu plus tôt. Les [Perspectives énergétiques 2050+](#) de la Confédération tablent sur un stockage géologique possible à partir de 2040, qui pourrait se développer pour atteindre jusqu'à 3 millions de tonnes de CO₂ par an d'ici à 2050. Il s'agit cependant uniquement d'un scénario : il existe trop peu de recherches sur le sous-sol suisse pour donner des indications précises. D'un point de vue géologique, les sites envisageables pour le stockage du CO₂ sont notamment certaines parties du bassin molassique entre Olten et Schaffhouse ainsi que la région s'étendant d'Yverdon à Nyon en passant par Morges. La [motion 20.4063](#), qui souhaitait un programme national d'exploration du sol pour trouver des sites de stockage géologique de CO₂, a été adoptée par le Parlement en 2021. Un premier rapport devrait être disponible d'ici à 2023. Étant donné que les capacités de stockage ont manqué jusqu'à présent en Suisse et qu'elles sont potentiellement limitées, deux autres possibilités étudiées sont celle du transport du CO₂ extrait en Suisse vers des sites de stockage à l'étranger ainsi que celle de l'extraction du CO₂ de l'air par filtration mécanique et stockage (DACCS) (voir le magazine [« l'environnement » 2022 | 2](#), p. 14 et p. 21).

13) Pendant combien de temps faut-il garantir le stockage du CO₂ ?

Si le CO₂ stocké est relibéré dans l'atmosphère, il contribue de nouveau au réchauffement climatique, comme s'il n'avait jamais été extrait de celle-ci. C'est pourquoi il est primordial d'assurer la permanence du stockage du CO₂ pour contribuer durablement à la protection du climat. En la matière subsistent de grandes incertitudes et différences entre les diverses approches en fonction de la forme sous laquelle le carbone est stocké. La biomasse (p. ex. arbres, bois ou charbon) peut brûler ou se dégrader biologiquement, et des fuites peuvent survenir dans les sites de stockage. Un siècle, un millénaire, voire plus : il n'y a aucun consensus

sur la durée de stockage nécessaire pour les émissions négatives. Cet aspect dépend aussi du rôle que la méthode doit revêtir dans la stratégie climatique à long terme correspondante. En théorie, un stockage à court terme serait utile comme solution provisoire pour freiner le réchauffement climatique au cours des prochaines décennies, pour autant que des solutions de stockage durable prennent ensuite le relais. Cependant, ce type de logique, qui consiste à reporter la responsabilité sur les générations futures, comporte des risques moraux et politiques importants.

Certaines approches ont déjà fait leurs preuves en matière de permanence. Par exemple, si le carbone est stocké dans le sous-sol sous forme de calcaire, l'extraction du CO₂ sera effective 1000 ans ([GIEC, 2022](#)). Pour d'autres méthodes, la permanence du stockage du CO₂ sur plusieurs décennies ou siècles n'a pas encore été démontrée. D'une part, il n'existe pas suffisamment d'études à long terme (notamment pour le charbon végétal) et, d'autre part, la permanence dépend aussi des conditions environnementales, notamment pour le stockage du CO₂ dans les forêts et dans les produits à longue durée de vie tels les matériaux de construction. Dans le cas du « [Forest Protocol](#) » de Climate Action Reserve, les forêts doivent avoir une permanence d'un siècle pour être certifiées puits de carbone. Considérant les différents impondérables, il est essentiel de surveiller les sites de stockage et de garantir la traçabilité des produits. On pourrait aussi envisager une assurance contre les fuites de CO₂, mais ce modèle d'affaires comporterait de nombreuses incertitudes pour les assureurs.

14) Pourquoi ne pas tout simplement planter davantage d'arbres ?

Les forêts jouent un rôle important, et pas seulement pour la protection du climat, mais elles ne pourront pas sauver le climat à elles seules. De plus, elles se voient elles-mêmes menacées par le réchauffement climatique. En principe, toutes les plantes, en se développant, prélèvent et stockent du CO₂ de l'atmosphère à travers la photosynthèse. Les approches d'extraction du CO₂ fondées sur la biomasse tirent parti de ce processus. L'approche la plus évidente consiste à planter des arbres. Cette stratégie n'est cependant pas sans poser problème. En effet, les arbres poussent lentement et libèrent à nouveau le CO₂ stocké lorsque le bois se décompose naturellement ou s'il est brûlé. Par ailleurs, les changements climatiques apportent chaleur, sécheresse et risque d'incendie, autant de menaces qui pèsent sur les projets de boisement. Les peuplements forestiers existants en Suisse et à l'étranger sont d'ores et déjà menacés : même la conservation des puits actuels constitue un défi. Il est donc d'autant plus impératif de préserver les écosystèmes actuels et de gérer de manière durable les forêts exploitables. La capacité de stockage estimée actuellement pour les forêts indigènes s'élève à 2,5 millions de tonnes de CO₂ par an (cf. magazine « [l'environnement](#) » 2022 | 2, p. 36). Il n'existe qu'un faible potentiel d'amélioration des capacités de stockage, car peu de surfaces sont encore disponibles et que les forêts existantes stockent déjà bien plus de CO₂ que les forêts reboisées. Il est cependant possible d'augmenter, dans une certaine mesure, l'effet de puits dans le domaine sylvicole helvétique à travers une optimisation de la gestion des forêts et l'utilisation de bois dans des produits à longue durée de vie et dans le domaine du bâtiment ainsi que pour la production de charbon végétal et d'énergie. L'article « [Comment la forêt suisse peut-elle lutter contre le changement climatique](#) » (en Allemand) d'Esther Thuerig, publié en 2022, fournit davantage d'informations.

15) Combien coûtent les méthodes d'extraction et de stockage du CO₂ aujourd'hui ? Et demain ?

De nombreuses méthodes discutées actuellement pour l'extraction et le stockage du CO₂ sont aujourd'hui très onéreuses. On peut toutefois imaginer à l'avenir des économies d'échelle ainsi que des innovations qui feraient baisser les coûts. Des estimations détaillées du potentiel et des coûts pour la Suisse ont été proposées d'une part par [une étude de TA Swiss](#) datant de 2023 (en Allemand) et d'autre part par [une étude de l'EPFZ \(en Allemand\) réalisée pour le compte de l'OFEV](#) en 2022. En théorie, de nombreuses méthodes peuvent être implémentées à bas coût. Cependant, il arrive souvent que les approches économiques ne garantissent pas un stockage à long terme. Pour assurer un stockage à long terme du carbone, il faut par exemple surveiller, protéger et soigner les arbres une fois qu'ils sont plantés. Les estimations des coûts pour les méthodes offrant une meilleure permanence oscillent entre quelque 200 à plus de 1000 francs par tonne de CO₂ extraite. Les technologies les moins chères sont notamment le charbon végétal, l'exploitation des sols et des forêts ainsi que l'altération accélérée des roches et du béton recyclé. Parmi les technologies coûteuses, on citera notamment l'extraction du CO₂ de l'air par filtration mécanique et stockage géologique. L'extraction du CO₂ de l'atmosphère dans un futur proche requiert des ressources financières importantes, même en comparaison d'autres mesures de protection du climat, comme il ressort du [rapport du GIEC d'avril 2022](#). Souvent, l'évitement d'émissions est donc plus économique que l'extraction du CO₂ de l'atmosphère. C'est pourquoi la méthode d'extraction et de stockage du CO₂ doit être utilisée avant tout pour compenser les émissions difficilement évitables. En parallèle, il y a lieu de prendre en compte les efforts prometteurs visant à faire baisser le prix des émissions négatives ou à les intégrer aux chaînes de création de valeur. On citera comme exemples le captage du CO₂ issu d'UIOM, de stations d'épuration et d'installations agricoles de méthanisation ; l'utilisation de charbon végétal dans l'agriculture ; l'altération accélérée du béton recyclé.

16) Comment mettre en place un financement conforme au principe du pollueur-payeur pour l'extraction et le stockage du CO₂ ?

Un système de financement de l'extraction et du stockage du CO₂ conçu selon le principe du pollueur-payeur signifie que les coûts sont portés, directement ou indirectement, par les acteurs responsables des émissions de gaz à effet de serre à compenser. Plusieurs mécanismes sont envisageables, par exemple un financement étatique direct via une taxe sur le CO₂, une obligation légale de compenser les émissions par une extraction du CO₂ ou encore des paiements compensatoires volontaires comparables aux compensations des émissions de CO₂.

En Suisse, plusieurs mécanismes prévalent actuellement, bien que dans une moindre mesure. Ainsi, les installations pilotes pour l'extraction du CO₂ sont soutenues par l'État. De plus, depuis 2022, les importateurs de carburants ont la possibilité, dans le cadre de leur obligation de compenser les émissions, de comptabiliser les effets de puits ainsi que les projets de stockage du CO₂ provenant de sources fossiles ou de processus (CSC fossile), ce qui peut faire augmenter les financements pour l'extraction et le stockage du CO₂ ([en savoir plus sur les instruments de compensation](#)). Par ailleurs, il existe la possibilité sur le marché libre de

soutenir des projets de puits de CO₂, qui ouvrent la voie à une extraction et à un stockage du CO₂ à différentes échelles de temps.

Au niveau mondial, certaines entreprises internationales donnent actuellement des impulsions importantes sous la forme d'investissements et d'engagements d'achat à hauteur de plusieurs milliards pour des projets d'extraction et de stockage du CO₂, qui devraient servir de financement de départ pour stimuler le marché. À titre d'exemples, on citera notamment [NextGen](#) ou [Frontier Fund](#). On ne sait pas encore (état en juillet 2022) clairement quel modèle de financement sera appliqué en Suisse à moyen et long terme.

17) Que dit la législation sur l'extraction et le stockage du CO₂ en Suisse ?

L'extraction et le stockage du CO₂ sont une thématique très actuelle dans la politique helvétique, mais la législation en la matière n'en est qu'à ses balbutiements. La loi sur le CO₂ et l'ordonnance y afférente sont révisées en continu. Plusieurs interventions parlementaires sont en cours de traitement sur le thème de l'extraction du CO₂. Dans les actes législatifs en vigueur, l'extraction et le stockage du CO₂ ne sont pas réglementés de manière exhaustive. On trouve de premières règles dans la révision de mai 2022 de l'[ordonnance sur le CO₂](#). Avec la prolongation des mesures de la loi sur le CO₂, les effets de puits réalisés en Suisse et à l'étranger sont aussi considérés comme des mesures de compensation (état en juillet 2022). La [feuille de route de la Confédération sur le CSC et les NET](#) présente les modifications planifiées aux niveaux des lois et des ordonnances ainsi que les mesures prévues ces prochaines années.

La [loi fédérale](#) sur les objectifs en matière de protection du climat, sur l'innovation et sur le renforcement de la sécurité énergétique (LCI), qui a été acceptée par le peuple suisse en juin 2023., prévoit la neutralité climatique en Suisse d'ici à 2050. Pour faire cela, les émissions de gaz à effet de serre doivent être réduites autant que possible. L'effet des émissions de gaz à effet de serre restantes doit être compensé par l'extraction et le stockage du CO₂ en Suisse et à l'étranger. La forme exacte de cette loi n'a pas encore été définie (situation en juillet 2023).

La LCI est importante pour le secteur du captage du CO₂. Elle (1) fixe des objectifs, (2) crée une demande et (3) encourage l'innovation dans le domaine du captage du CO₂. (1) Le CDR doit compenser les émissions restantes après la réduction des émissions et il est même prévu que la Suisse soit négative nette après 2050. Le Conseil fédéral peut à cet effet fixer des valeurs indicatives pour l'application de CDR. (2) La LCI crée une demande pour le Carbon Dioxide Removal en obligeant toutes les entreprises à avoir des émissions nettes nulles au plus tard en 2050. L'administration publique joue un rôle de modèle, puisque la Confédération et les cantons doivent avoir atteint zéro net dès 2040. (3) En outre, la Confédération encourage les nouvelles technologies et les nouveaux processus à hauteur de 1,2 milliard de CHF d'ici 2030. Elle couvre également les risques et les investissements dans les infrastructures publiques, par exemple les réservoirs de CO₂ et les pipelines. Il est toutefois important de noter que la LCI est une "loi-cadre" qui contient peu de mesures. Celles-ci doivent être introduites lors des révisions de la loi sur le CO₂. La loi sur le climat et l'innovation et son ordonnance d'application entreront en vigueur le 1er janvier 2025.

Sur notre [blog](#), vous trouverez une évaluation de l'importance de la loi sur le changement climatique (LCC) pour le captage et le stockage du CO₂ ainsi qu'un résumé de [la feuille de route CCS & NET](#) du gouvernement fédéral. Vous aussi trouverez plus de détails sur la loi sur le changement climatique (LCI) sur le [site de l'Office fédéral de l'environnement \(OFEV\)](#).

18) Quid des autres gaz à effet de serre tels le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O) ?

Les approches discutées et testées en Suisse actuellement misent toutes sur l'extraction du CO₂. Selon le [GIEC](#), le méthane déjà émis par l'être humain contribue au réchauffement climatique mondial à hauteur de 0,5°C environ. Il provient avant tout de l'agriculture, des décharges et de l'extraction des combustibles fossiles. C'est pourquoi la réduction des émissions de gaz à effet de serre tels le méthane et le protoxyde d'azote constitue un moyen hautement efficace et important à court terme pour honorer les objectifs climatiques. De plus amples informations sur les gaz à effet de serre à courte durée de vie et sur la notion d'équivalents CO₂ figurent dans la publication « [Effet climatique et émissions d'équivalents CO₂ des substances à courte durée de vie](#) » (ProClim, 2022).

L'extraction du méthane et du protoxyde d'azote de l'atmosphère pourrait également participer à la protection du climat à l'avenir. Des technologies pour ce faire sont à l'étude actuellement, mais elles se trouvent encore aux premiers stades de développement. L'article « [Perspectives on removal of atmospheric methane](#) » (Ming et al., 2022) donne un aperçu des méthodes d'élimination du méthane et d'évitement des émissions de ce gaz, en proposant de premières estimations des coûts.

Glossaire

Atmosphère : composée de CO₂ et d'autres gaz, l'atmosphère est une enveloppe qui entoure la Terre. En raison de sa composition, elle régule la température à la surface de la planète, d'une part, en réfléchissant (p. ex. via les nuages) vers l'espace une fraction du rayonnement solaire et, d'autre part, en absorbant une partie du rayonnement thermique de la Terre et en l'empêchant de repartir vers l'espace (effet de serre).

Biomasse : la biomasse est de la matière provenant de végétaux et de résidus animaux (p. ex. du bois ou du fumier). Elle constitue un agent énergétique naturel et peut être utilisée comme combustible pour produire une énergie qu'on appelle « bioénergie ».

Concentration de CO₂ dans l'atmosphère : les émissions liées aux activités humaines telles que les effluents gazeux provenant des usines ou des automobiles sont rejetées dans l'atmosphère et en modifient la composition et, par là même, le bilan de rayonnement. Le principe suivant s'applique : plus l'atmosphère contient de CO₂, plus la quantité de chaleur renvoyée vers l'espace est faible. Ainsi, la température moyenne de la planète augmente à mesure que la concentration de CO₂ dans l'atmosphère croît.

Équivalent CO₂ : l'équivalent CO₂ est une unité de mesure qui décrit l'impact des différents gaz à effet de serre sur les changements climatiques. Tous les gaz à effet de serre n'ont pas les mêmes effets sur le climat. Par exemple, une tonne de méthane a un pouvoir de réchauffement plus élevé qu'une tonne de CO₂. Par conséquent, dans les bilans des émissions, les autres gaz à effet de serre sont tous comptabilisés sous forme de parts de CO₂ et exprimés en quantité de CO₂. Il est ainsi possible de présenter la contribution au réchauffement climatique d'un mélange de différents gaz à effet de serre de manière chiffrée.

Limite de +1,5 °C : la limite de +1,5 °C correspond à un objectif arrêté dans l'accord sur le climat de 2015 qui consiste à maintenir la hausse moyenne des températures à l'échelle planétaire d'ici à 2100 en dessous de 1,5 °C par rapport à 1850. Si cet objectif n'est pas atteint, la planète risque non seulement une augmentation massive des événements météorologiques et climatiques extrêmes, mais aussi le franchissement de points de basculement irréversibles dans le système climatique.

Puits de carbone : on entend par puits de carbone (aussi piégeage de carbone ou piégeage de CO₂) des systèmes et des processus naturels qui absorbent une quantité de CO₂ supérieure à celle qu'ils rejettent et qui stockent donc le CO₂, de manière temporaire ou permanente. Il s'ensuit que la concentration de CO₂ dans un puits de carbone est une grandeur dynamique, qui peut évoluer au fil du temps. Parmi les puits de carbone, on citera par exemple des sols naturels, des forêts et des mers. Si la concentration de CO₂ est constante, on parle alors de réservoir de carbone.