

Captage, Utilisation et Stockage du Carbone (CUSC)

Dioxyde de Carbone Dans L'environnement

Le dioxyde de carbone (CO_2) est un gaz produit par des sources naturelles et humaines. L'activité humaine a contribué à l'augmentation de la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, principalement à cause de la combustion de combustibles fossiles.

Lors de la combustion de combustibles fossiles, le gaz agit comme une couverture invisible, provoquant un lent réchauffement de la Terre. Le dioxyde de carbone s'accumule dans l'atmosphère terrestre au fil des ans avec l'utilisation croissante de combustibles fossiles.

Que Sont les Combustibles Fossiles?

Les combustibles fossiles sont des sources d'énergie non renouvelables, comme le charbon, le pétrole, le gaz naturel et les éléments radioactifs. Ces sources sont considérées comme non renouvelables, car elles ne se renouvellent pas au même rythme qu'elles sont consommées.



Captage, Utilisation et Stockage du Carbone (CUSC)

Le captage, l'utilisation et le stockage du carbone (CUSC) font partie des technologies les plus prometteuses pour réduire les émissions de carbone. Ce procédé combine des technologies qui captent, transportent et utilisent ou stockent le CO_2 en toute sécurité sous terre. Le stockage du CO_2 sous terre permet de ne pas contribuer aux émissions mondiales. Le CO_2 capté peut être réutilisé par diverses industries pour produire des biens et des services.



L'effet Sur le Changement Climatique

Les combustibles fossiles resteront la principale source d'énergie tant que des changements significatifs ne seront pas opérés. Cela entraînera une augmentation des émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, contribuant ainsi largement au changement climatique. Les technologies à faibles émissions de carbone sont essentielles pour réduire l'impact négatif des combustibles fossiles sur l'environnement.

Que Sont les Technologies à Faibles émissions de Carbone ?

Des technologies d'énergie verte qui réduisent les émissions de carbone, comme les panneaux solaires et les éoliennes.



Comment Fonctionne le CUSC ?

Le processus de CUSC comprend trois étapes clés : le captage, le transport et l'utilisation ou le stockage. L'utilisation du CO₂ peut remplacer son stockage, lorsqu'il peut être réutilisé, ou cette étape peut être ignorée avant le stockage.

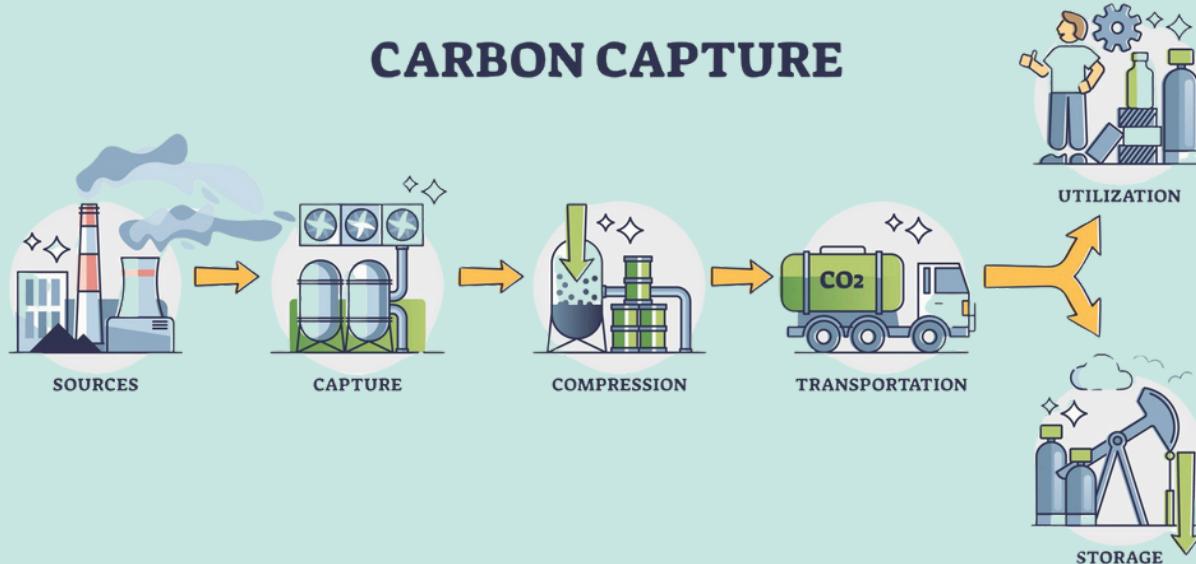


Figure 1 : Le processus général de captage, d'utilisation et de stockage du CO₂, avec l'aimable autorisation de Pathways : Shopping your energy future.

1

Captage

Le captage du dioxyde de carbone est la première étape du CUSC. Il peut avoir lieu avant ou après la combustion, ou en même temps que celle-ci. Le choix d'une méthode spécifique de captage du CO₂ dépend des sources d'émission utilisées.



Termes Clés

Pré-combustion - se produit avant que le carburant ne soit brûlé dans l'atmosphère

Post-combustion - se produit après que le carburant a été brûlé dans l'atmosphère

Gaz de Combustion - les gaz d'échappement produits par le processus de combustion

Absorbeur - colonne cylindrique utilisée pour séparer les gaz lors de la capture post-combustion

Captage de Précombustion

Le CO₂ est isolé des autres gaz et éliminé directement des combustibles fossiles (c'est-à-dire le charbon et le gaz) avant la combustion.

Captage Post-Combustion

Le CO₂ des combustibles fossiles est absorbé après la combustion à l'aide d'un absorbeur contenant des produits chimiques pour le séparer des gaz de combustion.

Captage par Combustion Oxy-Combustible

Les combustibles fossiles sont brûlés avec de l'oxygène pur plutôt qu'avec de l'air pour produire des concentrations plus élevées de CO₂ à capturer.

Captage par Membrane

Le CO₂ peut traverser la membrane, tout en empêchant le passage des autres gaz. Cette technologie peut être utilisée pour le captage avant, après ou après combustion.

2

Transport

Une fois le CO₂ capturé, il est transporté par pipelines, navires, chemins de fer et camions.

Les pipelines constituent généralement l'option la plus rentable et la plus sûre pour les projets de grande envergure. Le transport par pipeline est contrôlé par les différences de pression des gaz. Ces derniers se déplacent des zones de haute pression vers les zones de basse pression. En modifiant la pression du CO₂ dans les pipelines, celui-ci peut ensuite être transporté vers différents endroits.

Le CO₂ est capté dans les installations et transporté vers des zones adaptées au stockage ou à l'utilisation du dioxyde de carbone. Ce captage s'étend parfois sur de vastes régions, ce qui fait des pipelines l'option la plus efficace pour transporter le CO₂ capté. Parmi toutes les options de transport CUSC, les pipelines ont le plus faible impact climatique, mais ils ont néanmoins un impact environnemental négatif. Ils peuvent endommager les habitats et la végétation environnantes et en cas de fuite ou de rupture, le risque de dommages est plus élevé.

3a

Utilisation

Le CO₂ capté peut être utilisé de plusieurs manières. L'une des plus courantes est la récupération assistée du pétrole. Il peut également être utilisé pour la carbonatation des boissons gazeuses et la production de glace carbonique.



Récupération Assistée du Pétrole

La récupération assistée du pétrole consiste à injecter du CO₂ dans des réservoirs pétroliers matures, augmentant ainsi la pression et améliorant le débit du pétrole. Cela permet d'extraire davantage de pétrole des puits épuisés. Cela peut prolonger la durée de vie des champs pétroliers tout en assurant un stockage souterrain sûr.



Saviez-Vous?



Plus de 5 000 miles de pipelines de CO₂ à travers les États-Unis transportent environ 80 millions de tonnes métriques de CO₂ par an (American Petroleum Institute).

3b

Stockage

Une fois le CO₂ transporté jusqu'à sa destination, il est injecté dans des formations rocheuses profondes. Cela permet de le stocker en toute sécurité sous terre sans contribuer à des émissions nocives dans l'atmosphère.

Les formations rocheuses utilisées sont similaires à celles qui ont retenu le pétrole et le gaz sous terre pendant des millions d'années. Les sites de stockage possibles pourraient inclure des réservoirs de pétrole épuisés (pour la récupération assistée du pétrole) ou des aquifères salins où le pétrole se dissout ensuite dans la roche.

Projets CUSC Dans le Monde

Le Canada est un chef de file mondial dans le développement des technologies de captage, d'utilisation et de stockage du carbone (CUSC). Les apprenants trouveront de nombreux exemples dans ce [document de référence](#). À l'échelle mondiale, l'Amérique du Nord et l'Europe comptent le plus grand nombre de projets de CUSC en exploitation et en construction. Dans cette section, deux exemples canadiens et américains seront présentés pour illustrer le travail réalisé.

Projet de pipeline principal de L'Alberta (Carbon Trunk Line)

Le projet de pipeline principal de l'Alberta est le plus vaste projet de captage et de stockage du carbone au monde. Il comprend un pipeline de 240 km de long conçu pour capter et comprimer le CO₂, puis l'injecter dans des gisements de pétrole épuisés. Ce projet vise à atténuer les émissions de carbone et à promouvoir des pratiques de gestion durable du carbone.

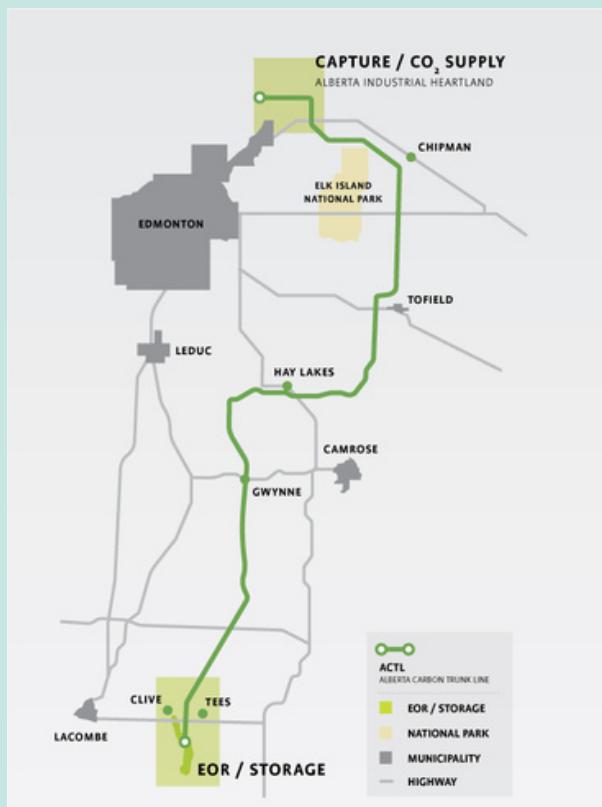


Figure 2: Carte du réseau de l'Alberta Carbon Trunk Line, avec l'aimable autorisation d'Enhance Energy.

Projet de Captage et de Stockage du Carbone Industriel de L'Illinois

Il s'agit d'un projet commercial de grande envergure visant à collecter 3 000 tonnes de CO₂ par jour pour les stocker sous terre. Cela équivaut à 1 million de tonnes de CO₂ par an. Le CO₂ est capté lors du processus de fermentation utilisé pour produire de l'éthanol dans une usine de transformation de maïs de l'Illinois. Il est ensuite transporté vers un site géologique pour y être stocké de manière appropriée.



Figure 3 et 4: Photo aérienne du projet industriel de captage et de stockage du carbone de l'Illinois, avec l'aimable autorisation de NETL.

Impacts Positifs et Négatifs

Le CUSC a des impacts à la fois positifs et négatifs sur le climat, l'environnement, l'économie et les communautés environnantes. Il peut être difficile pour les entreprises d'installer des pipelines efficaces et rentables tout en tenant compte de l'impact environnemental ou des risques encourus. À mesure que les recherches progressent, il devient plus facile de comprendre les avantages et les coûts de cette technologie.



Saviez-vous que?

Selon l'Institut Global CCS, l'injection et le stockage de CO₂ fonctionnent efficacement aux États-Unis depuis plus de 50 ans, permettant de stocker avec succès près de 300 millions de tonnes sous terre (Loria & Bright, 2021).



Avantages du CUSC

- Le CUSC extrait le CO₂ de sources déjà produites (sources non renouvelables) de combustibles fossiles, réduisant ainsi efficacement les émissions existantes.
- Les pipelines peuvent être construits au-dessus ou sous terre, ce qui les rend adaptables.
- Le CUSC s'est avéré efficace pour réduire les émissions dans des secteurs qui sont généralement difficiles à réduire, en particulier les secteurs industriels émetteurs comme le ciment, l'acier et les usines chimiques.
- Le CUSC peut être utilisé à différentes fins : il peut limiter les émissions provenant des combustibles fossiles ou il peut accélérer la réduction des émissions et réduire la température s'il est combiné à la bioénergie ou aux technologies de capture directe de l'air.



Inconvénients du CUSC



- L'installation de pipelines entraîne souvent la diminution de la végétation indigène, la perte d'habitat pour les animaux, une mauvaise qualité de l'eau et l'érosion des sols dans les environs.
- La qualité de l'air peut être affectée pendant la construction et par la combustion de combustibles fossiles dans les installations émettrices.
- Les communautés autochtones sont souvent injustement touchées par les fuites de pipelines et ont du mal à protéger leurs propres terres et leurs droits.
- Le risque de fuites ou de ruptures dans les pipelines de CO₂ peut entraîner des problèmes de santé, car le dioxyde de carbone est un gaz dangereux à respirer.
- La capacité de stockage du dioxyde de carbone à l'échelle mondiale est limitée.
- Le déploiement actuel du CUSC à l'échelle mondiale n'est pas encore suffisant pour atteindre l'objectif de zéro émission nette de CO₂ prévu d'ici 2050.

L'impact Mondial du Captage du Carbone

Il existe environ 50 projets CUSC opérationnels dans le monde, dont 44 en construction et plus de 500 en phase de planification.

Plus de 50 millions de tonnes de CO₂ sont actuellement captées chaque année, ce qui représente environ 0,1 % des émissions mondiales. Si tous les projets en cours de développement étaient menés à bien, la capture totale de CO₂ estimée se situerait entre 400 et 550 millions de tonnes par an. Cela représenterait environ 1 % des émissions actuelles de gaz à effet de serre.

La Feuille de route 2023 de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) pour la carboneutralité estime que le CUSC devrait contribuer à environ 8 % de l'atténuation totale des émissions de CO₂ pour atteindre la carboneutralité d'ici 2050 dans le secteur énergétique. Compte tenu de l'impact prévu de la technologie CUSC, son rôle représenterait probablement un pourcentage moindre de l'atténuation totale.



Saviez-vous que?



Près de 80 % de toutes les émissions de dioxyde de carbone produites par l'homme proviennent de la combustion de combustibles fossiles (ECCC, 2024).

Le Rôle de la Gestion du Carbone

Le plan climatique du Canada vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 à 50 % d'ici 2030 et à atteindre la carboneutralité d'ici 2050. Cela signifie qu'il existe un équilibre entre les émissions produites et celles éliminées de l'atmosphère. Cet élément est mondialement reconnu comme un élément essentiel de la lutte contre les changements climatiques. Il n'existe aucune voie crédible vers la carboneutralité sans le rôle des technologies de gestion du carbone comme le CUSC.

Dans ce plan climat, le CUSC joue un rôle important dans le déploiement d'autres technologies de captage du carbone. Celles-ci pourraient inclure l'élimination du dioxyde de carbone (CDR) par captage et stockage directs dans l'air et la bioénergie avec captage et stockage du carbone.

Prochaines étapes de la Technologie de Capture du Carbone

Le CUSC se heurte à des obstacles technologiques, économiques, environnementaux et socioculturels qui limitent le rythme actuel de déploiement nécessaire pour atteindre la carboneutralité d'ici 2050. Pourtant, il peut s'avérer essentiel pour réduire et atténuer les émissions dans les industries déjà existantes et fortement émettrices. Le principal facteur de réussite du CUSC réside dans le temps et la poursuite de la recherche. Avec plus de 500 projets de CUSC en phase de planification et plusieurs milliards d'investis dans ces projets à l'échelle mondiale, le CUSC gagnera en notoriété.

Références

- American Petroleum Institute. Pipelines de CO₂ : de quoi s'agit-il et pourquoi sont-ils importants ? <https://www.api.org/news-policy-and-issues/co2-pipelines>
- American Pipeline Solutions (2018). Effets des pipelines sur l'environnement : Améliorer la durabilité. <https://www.americanpipelinesolutions.com/blog/pipeline-effects-on-environment>
- Service des délégués commerciaux du Canada (SDC). (s.d.). Le Canada : un chef de file mondial du captage, de l'utilisation et du stockage du carbone (CUSC). CCUS_FR_WEB-3.pdf.
- Forum de leadership sur la séquestration du carbone (CSLF). (2012). Projet de captage et de stockage du carbone industriel de l'Illinois. <https://fossil.energy.gov/archives/cslf/Projects/IllinoisIndustrial.html>
- Projet CHE. (2017). Principales sources d'émissions de dioxyde de carbone. <https://www.che-project.eu/news/main-sources-carbon-dioxide-emissions>
- Enbridge. (s.d.). Comment le carbone est-il capté ? [PDF]. https://www.enbridge.com/~/media/Enb/Documents/Factsheets/CCS_CO2_capture_FS_FINAL.p
- Améliorer l'énergie. (s.d.). <https://enhanceenergy.com>
- Environnement et Changement climatique Canada. (2024). Émissions de gaz à effet de serre : Facteurs et impacts. Gouvernement du Canada. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/indicateurs-environnementaux/emissions-gaz-effet-de-serre-facteurs-impacts.html>
- Gidden, M.J., Joshi, S., Armitage, J.J. et al. Une limite planétaire prudente pour le stockage géologique du carbone. *Nature* 645, p. 124–132 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09423-y>
- Gouvernement de l'Alberta. (s.d.). Captage, utilisation et stockage du carbone – Sécurité environnementale. <https://www.alberta.ca/carbon-capture-utilization-and-storage-environmental-safety>
- Hong, W. Y. (2022). Étude technico-économique des systèmes de captage, d'utilisation et de stockage du carbone pour un avenir à zéro émission nette de CO₂. *Carbon Capture Science & Technology*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2022.100044>
- Hua, W. Sha, Y. Zhang, X. et Cao, H. (2023). Progrès de la recherche sur la technologie de captage et de stockage du carbone (CSC) dans le secteur maritime. *Ocean Engineering*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114929>
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2018). Chapitre 7 : Carbonatation minérale [Rapport spécial sur le captage et le stockage du dioxyde de carbone]. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_chapter7-1.pdf
- Agence internationale de l'énergie (AIE). (2024). Transport et stockage du CO₂. <https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage/co2-transport-and-storage>
- Jaremkow, D. (2024). Les plateformes représentent l'avenir du captage et du stockage du carbone : Pourquoi l'Alberta est un endroit idéal pour y parvenir. Centre canadien de l'énergie. <https://www.canadianenergycentre.ca/hubs-are-the-future-of-carbon-capture-and-storage-why-alberta-is-an-ideal-place-to-make-it-happen/>
- Ji, G. et Zhao, M. (2017). Technologie de séparation membranaire pour le captage du carbone. InTech. doi : 10.5772/65723
- Lebling, K. Gangotra, A. Hausker, K. et Byrum, Z. (2025). 7 choses à savoir sur la capture, l'utilisation et la séquestration du carbone. World Resources Institute. <https://www.wri.org/insights/carbon-capture-technology>
- Loria, P. et Bright, M. B. H. (2021). Leçons tirées de 50 ans de projets de CSC. *The Electricity Journal*, 34(7). <https://doi.org/10.1016/j.tej.2021.106998>
- Lv, J. et Qin, S. (2016) Sur les technologies à faible émission de carbone. Économie à faible émission de carbone. 7(3). 107-115. doi: 10.4236/ice.2016.73010.
- Laboratoire national des technologies énergétiques (NETL). (2023). Membranes pour le captage du carbone. Programme 149 [PDF]. <https://netl.doe.gov/sites/default/files/2023-08/Program-149.pdf>
- National Grid. (2024). Qu'est-ce que le captage et le stockage du carbone ? <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/what-is-ccs-how-does-it-work>
- Ressources naturelles Canada. (2023). Saisir l'occasion : Une stratégie de gestion du carbone pour le Canada. <https://natural-resources.ca/energy-sources/carbon-management/canada-s-carbon-management-strategy>
- Pathways : Façonner votre avenir énergétique. Capture du carbone. <https://www.pathwaysenergy.org/carbon-capture-utilization-and-storage/>
- Thomley, E. (2023). Transport du dioxyde de carbone : notions de base. Institut des Grandes Plaines pour le développement durable. <https://betterenergy.org/blog/carbon-dioxide-transport-101/>
- Département de l'Énergie des États-Unis, Bureau de la gestion de l'énergie fossile et du carbone. (s.d.). Récupération assistée du pétrole. <https://www.energy.gov/fecm/enhanced-oil-recovery>
- Vega, F., Cano, M., Camino, S., Fernández, LMG, Portillo, E. et Navarrete, B. (2018). Solvants pour la capture du dioxyde de carbone. InTech. est ce que je : 10.5772/intechopen.71443
- Wagg, B. et Stephens, M. (s.d.). État des lieux du transport du CO₂ par pipeline. Connexions Énergie Canada. <https://energyconnectionscanada.com/wp-content/uploads/2024/10/CCUS-paper-Carbon-Transportation.-stand-alone.C-FER.pdf>
- Williams, T. (2012). Pipelines : Considérations environnementales. Bibliothèque du Parlement. https://publications.gc.ca/collections/collection_2012/bdp-lop/eb/2012-37-fra.pdf