

Janvier 2026

CAPTAGE, STOCKAGE DU CARBONE ET VALORISATION (CCUS)

ABÉCÉDAIRE DE LA CHAÎNE DE VALEUR

Nouveaux Systèmes Énergétiques
Comité Stratégique de Filière

SOMMAIRE

Cliquer sur les n° des pages

UN VOCABULAIRE COMMUN POUR UNE REFLEXION PARTAGEE 4

INFOGRAPHIE 5

VOCABULAIRE GENERIQUE 6

Captage, stockage du carbone et valorisation dans la chaîne de valeur 6

CSCV (captage, stockage du carbone et valorisation) / CCUS (carbon capture utilization & storage / sequestration) 6

CVC (Captage et Valorisation du Carbone) / CCU (Carbon Capture & Utilization) 6

CSC (captage et stockage / séquestration du carbone) / CCS (carbon capture and storage / sequestration) 6

Captage / Capture 7

Chaîne de valeur / Value Chain 7

Défossilisation / Defossilization 7

Décarbonation / Decarbonization 7

Stockage (séquestration) / Storage (sequestration) 8

Transport / Transport 9

Valorisation / Utilization 9

Acteurs de la chaîne de valeur 10

Emetteur / Emitter 10

Exploitant / Operator 10

Partie prenante / Stakeholder 10

Régulateur / Regulator 10

Le CO_2 et ses appellations 11

CO_2 – Dioxyde de carbone / Carbon dioxide 11

CO_2 biogénique / Biogenic CO_2 11

CO_2 capté / Captured CO_2 11

CO_2 évité / Avoided CO_2 12

CO_2 fossile / Fossil CO_2 12

CO_2 incompressible / Hard to abate emission 12

Emission négative / Negative emission 12

ACV (Analyse en Cycle de Vie) / LCA (Life Cycle Analysis) 13

ABECEDAIRE 14

Absorption (chimique) / Chemical absorption 14

Adsorption / Adsorption 14

Aquifères salins (profonds) / (Deep) Salin Aquifer 14

Biocarburant / Biofuel 14

Carboduc / Carboduc 15

Capacité de stockage / Storage capacity 15

Captage direct du CO_2 dans l'air / Direct Air Capture (DAC) 15

Carbonatation minérale (minéralisation) / Carbonatation 15
Carburant durable / Renewable fuel 16
Carburants d'aviation durable (CAD) / Sustainable Aviation Fuels (SAF) 16
Complexe de stockage (Site de stockage) / Storage complexe 16
Cryogénie (distillation) / Cryogenic (distillation) 16
Dissolution / Dissolution 17
E-carburants (électro-carburants) / E-fuels 17
Economie circulaire / Circular economy 18
Exploration / Exploration 18
Fuite / Leak 18
Gisement (champs) déplété / Depleted oil or gas field 19
Infrastructure de transport / Transport infrastructure 19
Injection / Injection 19
Membrane (séparation) / Membrane (separation) 19
Migration / Migration 19
Oxycombustion / Oxycombustion 20
Permis de stockage / Storage permit 20
Permis d'exploration / Exploration permit 20
Piégeages (mécanismes) / Trap mechanism 20
Piège géologique / Geological trap 21
Piège structurel / Structural trap 21
Postcombustion / Postcombustion 22
Précombustion / Precombustion 22
Puits / Wells 22
Purification / Purification 23
Récupération Assistée de Pétrole ou de gaz (RAP) / Enhanced Oil or Gas Recovery (EOR/EGR) 23
Réservoir poreux / Porous reservoir 23
Roche couverture / Caprock 23
Saumure / Brine 24
Sismicité (naturelle vs induite) / Seismicity (natural vs induced) 24
Site de stockage de surface / Surface storage 24
Stockage géologique / Geological storage 24
Synthèse (de carburant) / Synthesis (for fuel) 25
Surveillance / Monitoring 25
Terminal d'exportation / Export terminal 25
Valorisation chimique / Chemical use 26
Valorisation directe / Direct use 26
SOURCES 27
LES NOUVEAUX SYSTEMES ENERGETIQUES 28

1 / UN VOCABULAIRE COMMUN POUR UNE REFLEXION PARTAGÉE

Dans le cadre du Comité Stratégique de Filière, Nouveaux Systèmes Energétiques, qui regroupe la filière industrielle des énergies renouvelables et de la décarbonation, l'Etat et les organisations syndicales, le troisième contrat de filière pour la période 2025-2027 a été signé le 14 février 2025.

Ce contrat engage les parties prenantes à des actions pour le développement de ces filières et le déploiement de projets industriels. C'est dans ce cadre que le groupe de travail sur le Carbon Capture Utilization & Storage (CCUS) a produit ce document : **un abécédaire sur le vocabulaire utilisé par les professionnels du CCUS.**

L'objectif de ce document est d'apporter **une base commune de vocabulaire** neutre et appliqué au CCUS afin d'avoir une compréhension partagée des sujets spécifiques au CCUS. Il nous paraît non seulement important que tous les acteurs parlent le même langage, mais aussi de donner au grand public des définitions claires et compréhensibles afin de mener des réflexions et des échanges constructifs. Nous avons donc adapté ces définitions au cadre de notre sujet.

Ce travail pédagogique a été réalisé par un comité de rédaction issu des professionnels de la filière, puis vérifié et validé par un comité de relecture composé d'experts scientifiques et techniques (BRGM, CEA et IFPEN).

Pour une meilleure compréhension nous avons choisi de diviser le lexique en catégories correspondant à la chaîne de valeur CCU et CCS :

- Vocabulaire générique : termes génériques et non techniques
- Vocabulaire sur le captage : termes techniques liés aux technologies de captage de CO_2
- Vocabulaire sur le transport : termes liés au transport du CO_2 et à ses infrastructures
- Vocabulaire sur la valorisation / utilisation : termes liés à la valorisation du CO_2
- Vocabulaire sur le stockage : termes techniques liés au stockage de CO_2. Vocabulaire souvent lié aux géosciences que nous avons voulu vulgariser et rendre compréhensible à l'aide de schémas.

Une infographie (page suivante) reprend ces catégories qui correspondent aux maillons de la chaîne de valeur du CCU et du CCS pour une meilleure visualisation.

Nous tenons à remercier tous les participants à la rédaction et à la relecture de ce document. Leur temps et leur engagement ont permis de clarifier et de rendre plus accessible à tous un vocabulaire parfois trop technique et propre à la filière CCUS.

Bonne lecture,

Émetteur

- CO_2 fossile
- CO_2 biogénique

Captage

Procédé

Précombustion
Oxycombustion
Postcombustion

Technologies

Absorption - Adsorption - Membrane
Cryogénie - Boucle thermique

Transport

- Camion
- Train
- Bateau
- Carboduc

Stockage géologique

- Aquifère salin
- Réservoir déplétée

Valorisation

Valorisation chimique

- Carburant
- Chimie
- Construction

Valorisation directe

- Agroalimentaire
- Agriculture
- Industrie

2 / VOCABULAIRE GÉNÉRIQUE

Cette partie introductive, qui précède l'abécédaire en tant que tel, regroupe le vocabulaire non technique ainsi que des notions de base que nous pensons nécessaires pour appréhender les enjeux du CCUS.

CAPTAGE, STOCKAGE DU CARBONE ET VALORISATION DANS LA CHAÎNE DE VALEUR

CSCV (Captage, stockage du carbone et valorisation) / **CCUS** (carbon capture utilization & storage / sequestration)

Le captage de CO_2 désigne un ensemble de technologies qui permettent de capter sélectivement le CO_2 d'un flux de gaz industriel, ou de l'air ambiant (DAC*). Une fois capté, ce CO_2 peut être :

- **Valorisé (CCV/CCU*) :** Valorisé directement* comme produit, ou comme matière première (valorisation chimique*) pour la synthèse de produits
- **Stocké (CSC/CCS*) :** Injecté et séquestré de manière sûre et permanente dans des formations géologiques : aquifères salins et réservoirs déplétés*

Le captage, le transport, la valorisation et le stockage représentent quatre segments bien distincts de la technologie CCUS, qui peuvent être traités de manière indépendante sur le plan technique, mais pas sur le plan économique.

CVC (Captage et Valorisation du Carbone) / **CCU** (Carbon Capture & Utilization)

Ensemble de la chaîne de valeur de captage et d'utilisation / valorisation du CO_2.

CSC (Captage et stockage / séquestration du carbone) /**CSC** (carbon capture and storage / sequestration)

Ensemble de la chaîne de valeur de captage et stockage / séquestration du CO_2.

Captage / Capture

Ensemble de procédés ou de technologies consistant à capter le CO_2 d'une source d'émission*, industrielle (cimenterie, raffinerie, etc) ou énergétique (centrale électrique fossile, biomasse, déchets) ou autre.
Il existe **plusieurs technologies de captage du CO_2** avec différents niveaux de maturité : absorption chimique*, séparation physique* (adsorption*, cryogénie*, etc.), membranes*, boucle chimique* et solide.
Le captage du CO_2 via ces technologies peut se faire à différentes étapes d'un procédé industriel. Dans le cas d'une combustion d'énergies fossiles, le captage peut se faire : avant (pré-combustion*), pendant (oxycombustion*) ou après l'étape de combustion (post-combustion*).
Enfin, le CO_2 peut être capté directement dans l'air ambiant via ces mêmes technologies de captage. Dans ce cas, le terme de DAC* (Direct Air Capture) est utilisé.



Chaîne de valeur / Value Chain

Séquence complète ou partielle qui fournit ou reçoit de la valeur sous la forme d'un produit ou de service. La chaîne de valeur CCU & CCS se compose du **captage de CO_2** à partir d'une source d'émission de CO_2, de son **traitement (purification)** et compression pour le **transport** jusqu'à un site de **stockage** (CCS*) ou vers une unité industrielle pour une **valorisation** (CCU*) comme matière première.

Défossilisation / Defossilization

La défossilisation est le **processus visant à limiter l'introduction de carbone fossile* supplémentaire dans l'atmosphère.**

Cela implique de substituer un produit fossile par un produit de synthèse pour le même usage. Ils restent carbonés mais sont synthétisés à partir de CO_2 biogénique capté et n'ajoute donc pas de CO_2 supplémentaire dans l'atmosphère. Ces produits s'inscrivent dans une économie circulaire* du CO_2.

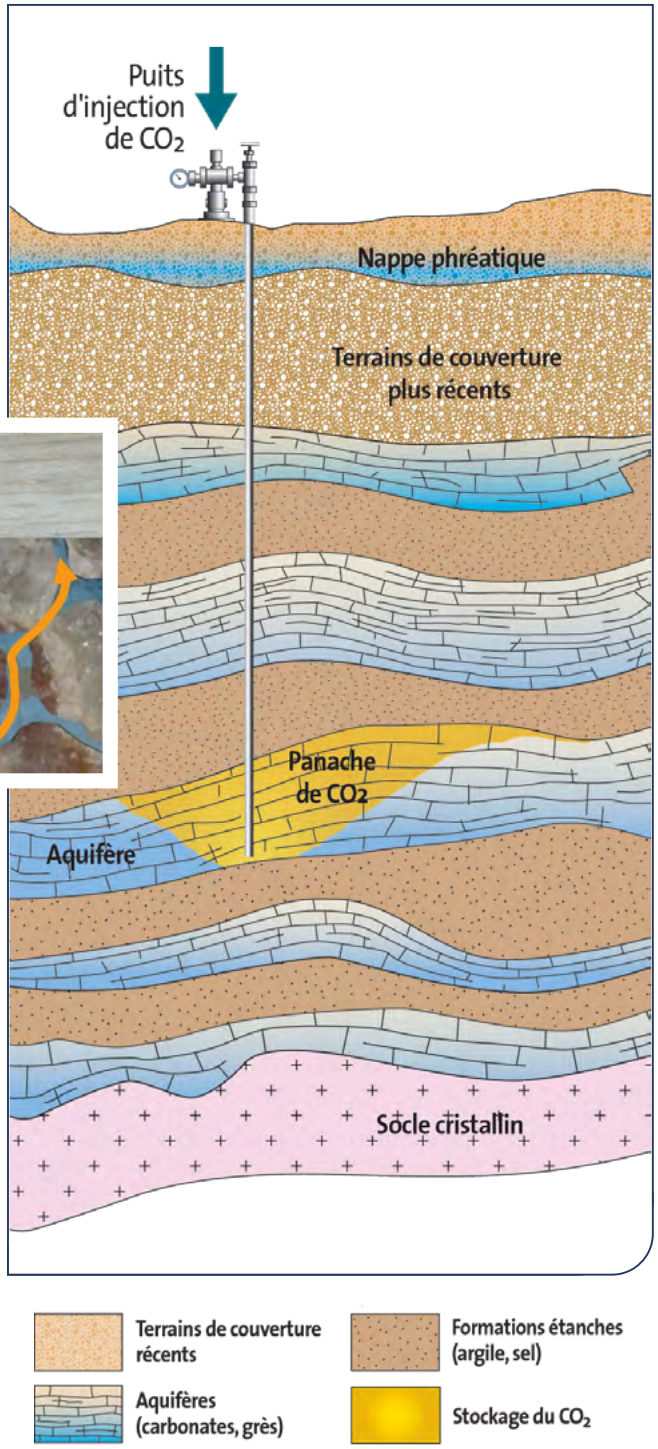
Décarbonation / Decarbonization

La décarbonation est le **processus visant à réduire les émissions CO_2** provenant des activités humaines. Cela implique de diminuer l'utilisation des énergies fossiles, d'améliorer l'efficacité énergétique, de développer les énergies renouvelables et de capter et de stocker (CCS*) le CO_2 émis.

Stockage (séquestration) / Storage (Carbon sequestration)

Le stockage géologique* de CO_2, également connu sous le nom de séquestration géologique, est un processus qui **consiste à injecter du CO_2 dans des formations rocheuses profondes pour le stocker de manière sûre et permanente.**

Principe du stockage de CO_2 en couches géologiques profondes (© BRGM)



Vue au microscope.

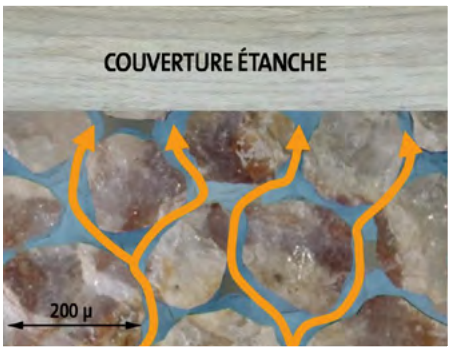


Figure 1
Plus léger que l'eau, le CO_2 injecté a tendance à remonter avant d'être arrêté par la couche imperméable au dessus.

Transport / Transport

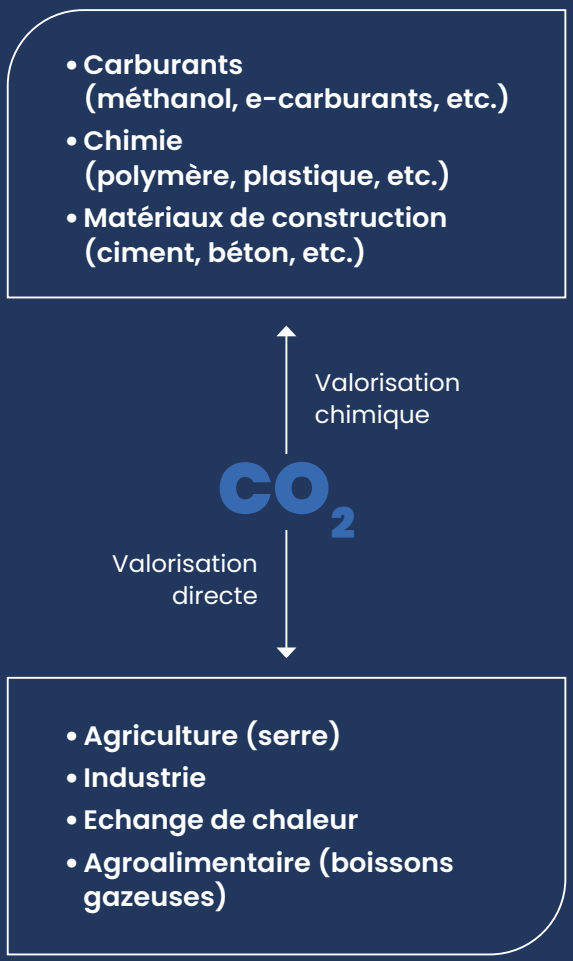
Acheminement du CO_2 des points de captage aux sites de stockage ou de valorisation.
Il peut être effectué par différents moyens logistiques : canalisation (carboduc*), bateaux, trains, camions, barges et sous différentes formes physiques : gazeux à différentes pressions, liquide (cryogénique ou non) ou supercritique (état liquide ou gazeux dense maintenu à une température et une pression critique).

Valorisation / Utilization

Le CO_2 capté peut être valorisé via les principales voies suivantes :

1. **Valorisation Chimique***: le CO_2 est utilisé comme matière première pour la synthèse de molécules : carburants (e-carburant*, SAF*, etc.), produits chimiques (polymères, plastiques, etc.), et matériaux de construction.
2. **Valorisation directe*:** le CO_2 est utilisé sans transformation pour ses propriétés physico-chimiques ou comme apport à la biomasse.





Emetteur / Emitter

Partie émettant du CO_2 fossile* ou biogénique* lors de son activité.

Exploitant / Operator

Toute personne physique ou morale, publique ou privée, qui exploite ou contrôle tout ou partie des opérations d'un projet CCU ou CCS (infrastructure de transport, infrastructure de surface, site de stockage, site de valorisation, etc.), selon la législation nationale qui s'est vu déléguer un pouvoir économique déterminant à l'égard du fonctionnement technique de ces installations.

L'exploitant a reçu un permis d'exploitation par une entité ayant le pouvoir d'autoriser, d'approuver ou de valider un permis, et/ou une ou plusieurs activités d'un projet, et/ou de vérifier la conformité de ces activités aux conditions du permis.

Partie prenante / Stakeholder

Individu, groupes d'individus ou organisations intéressés par le CCUS ou qui pourraient être impactés par un projet CCUS.

Régulateur / Regulator

Au niveau national, la Commission de régulation de l'énergie (CRE) est l'autorité administrative indépendante française en charge du bon fonctionnement des marchés de l'électricité et du gaz en France au bénéfice de tous les consommateurs. Elle régule les réseaux de gaz et d'électricité qui sont des monopoles. Elle a émis des recommandations concernant les grandes orientations de régulation dans le secteur du CCUS visant à créer un cadre stable et favorable aux investissements, adapté au développement progressif de ces filières.

Au niveau de l'Union Européenne, la Commission européenne est considéré comme un régulateur puisque publie des directives sur le stockage géologique du CO_2, la surveillance et l'expoitation des sites de stockage géologique du CO_2.

LE CO_2 ET SES APPELLATIONS

CO_2 – Dioxyde de carbone / Carbon dioxide

Le dioxyde de carbone, ou **CO_2, est un gaz invisible et inodore**. Bien qu'il soit souvent perçu comme un simple polluant, il joue un rôle fondamental dans de nombreux processus naturels et fait partie du cycle naturel du carbone et de la synthèse de biomasse.
Dans ce cycle, le CO_2 est produit de manière continue et naturelle par : la respiration (végétaux, animaux et humains), la décomposition (plantes, animaux, matière organique) et lors d'événements naturels (incendie, éruption volcanique).
Les plantes, l'atmosphère et les océans stockent naturellement ce CO_2, maintenant un équilibre délicat.
Les émissions d'origine humaine de CO_2 sont dites anthropiques et viennent perturber cet équilibre naturel. Elles sont principalement générées par l'exploitation de ressources fossiles (la combustion d'énergies fossiles pour la production d'électricité, le transport, le chauffage, l'industrie, etc.) ainsi que par l'agriculture et l'élevage.

CO_2 biogénique / Biogenic CO_2

Le CO_2 biogénique est émis lors de la dégradation, la combustion ou la transformation de matière organique d'origine biologique récente, comme par exemple les plantes, les résidus agricoles, le bois, les déchets organiques. Il s'inscrit dans le cycle court du carbone : les plantes absorbent le CO_2 de l'atmosphère via la photosynthèse, et ce même CO_2 est relâché lorsqu'elles se décomposent ou sont brûlées.
Le CO_2 biogénique est particulièrement intéressant dans le CCUS*. S'il est capté et stocké (CCS*), il y a un retrait effectif du CO_2 de l'atmosphère (émissions négatives*). S'il est valorisé (CCU*) pour produire des carburants synthétiques ou des matériaux, le CO_2 entre dans une logique de circularité*.
Dans l'industrie, nous retrouvons les émissions de CO_2 biogénique lors de la production d'éthanol, la valorisation énergétique des déchets biologiques, dans les unités de méthanisation ou encore dans les unités de chaleur ou de production électrique brûlant des matières organiques d'origine végétale ou animale (biomasse).

CO_2 capté / Captured CO_2

Le CO_2 capté est le **CO_2 qui a été extrait d'une source d'émission**.
Dans l'industrie, c'est le CO_2 qui a été séparé d'un mélange gazeux, issu d'un procédé industriel, par des procédés comme l'absorption*, l'adsorption*, la cryogénie* ou d'autres techniques de captage.
Le CO_2 peut aussi être capté directement dans l'atmosphère avec le procédé DAC* (Direct Air Capture) et également de manière naturelle (plantes, océan, etc.).

CO_2 évité / Avoided CO_2

Dans le cadre d'une évalution des unités de captage, les émissions de CO_2 évitées sont calculées en faisant **la différence entre une unité de production émettant du CO_2, sans procédé de captage, et cette même unité avec un procédé de captage.**

CO_2 fossile / Fossil CO_2

Le CO_2 fossile est généré par l'utilisation de combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel) pour produire de l'électricité, fabriquer des produits, se déplacer, se chauffer, se nourrir, mais aussi lors de la valorisation de déchets fossiles par incinération ou traitement ou encore par l'exploitation de ressources fossiles non énergétiques (exploitation du calcaire et autres roches carbonaté ou la production d'acier par exemple).

CO_2 incompressible / Hard to abate emission

C'est le CO_2 co-produit lors d'une réaction chimique afin d'obtenir une molécule recherchée, indépendamment de la source d'énergie utilisée. Il peut donc être fossile ou biogénique. Il est dit « incompressible » car généré intrinsèquement par la réaction chimique elle-même (i.e: production de clinker pour le ciment) ou lorsque le CO_2 est émis du fait de l'activité elle-même (i.e: incinération de déchets).
On le retrouve dans l'industrie du ciment, de l'acier, de l'aluminium primaire, la chimie ainsi que d'autres secteurs (incinération de déchets, papier, etc.).

Emission négative / Negative emission

Un procédé est dit à « émissions négatives » lorsqu'il soustrait davantage de CO_2 qu'il n'en émet. Les émissions négatives sont possibles lorsque le CO_2 biogénique est physiquement éliminé de l'atmosphère, que le processus de piégeage et de stockage élimine plus de CO_2 qu'il n'en émet, et que le CO_2 est stocké de manière permanente. On distingue :

- BioCCS « captage et stockage de CO_2 biogénique ». On capte puis séquestre du CO_2 biogénique*.
- BECCS / BECCU « bioénergie avec captage de carbone et stockage / utilisation ».
  Il s'agit d'une application spécifique du BioCCS. On capte les émissions de CO_2 biogéniques issues de la combustion de biomasses (bioénergie).
- DACCS/DACCU : Direct Air Carbon Capture & Storage / Utilization.
  Procédé de captage de CO_2 dans l'atmosphère puis de stockage ou valorisation.



ACV (Analyse en Cycle de Vie) / LCA (Life Cycle Analysis)

L'ACV est une méthode d'évaluation environnementale. C'est **une approche multicritère,** internationalement reconnue et normalisée par des normes ISO (série 14 040/044). Cela permet d'évaluer les impacts potentiels sur la santé humaine et sur l'environnement des produits, procédés et services, **tout au long de leur cycle de vie, c'est-à-dire de l'extraction des matières premières, à la fabrication, au transport, à l'utilisation, et jusqu'à la fin de vie (recyclage, élimination, stockage, etc.).**
Elle prend en compte différentes catégories d'impacts : émissions de gaz à effet de serre, consommation d'énergie, pollution de l'eau, etc.

Dans le cadre de projets intégrant le CCUS*, **l'ACV permet d'évaluer dans son ensemble, d'un point de vue environnemental, le réel bénéfice de ces technologies.** Dans ce contexte, l'ACV intègre non seulement la « brique » CCUS mais aussi le(s) procédé(s) « émetteur(s) » de CO_2 et, le cas échéant, le(s) procédé(s) de stockage et de valorisation de CO_2. Cela permet aussi de s'assurer que les bénéfices potentiels sur le changement climatique ne se font pas aux dépens d'autres indicateurs environnementaux (ex. : impacts sur l'utilisation des sols, l'épuisement des ressources, etc.).

3 / ABÉCÉDAIRE

Absorption (chimique) / Chemical absorption

Captage

Réaction chimique entre un solvant et le CO_2 dans une colonne d'absorption. Les molécules de **CO_2 contenues dans les fumées viennent se lier au solvant**, souvent à base d'amine. Le solvant riche en CO_2 est chauffé dans une colonne de désorption où il libère le CO_2 concentré pour stockage ou valorisation et est régénéré pour un nouveau cycle d'absorption / désorption.

Adsorption / Adsorption

Captage

Phénomène physique de surface dans lequel **les molécules de CO_2 viennent se lier à la surface d'un matériau** généralement solide (adsorbant), type charbon actif ou éponge moléculaire.
Le CO_2 capté est ensuite libéré par apport d'énergie ou par baisse de pression. L'adsorbant libéré du CO_2 est régénéré pour être réutilisé.

Aquifère salin (profond) / (Deep) Salin Aquifer

Stockage

Les aquifères sont des couches de roches réservoir* poreuses et perméables gorgées d'eau. Pour le stockage de CO_2, les aquifères salins profonds peuvent servir de réservoir pour séquestrer le CO_2. Ils sont situés à une profondeur de plus de 800m et contiennent une eau salée (saumure*) impropre à la consommation.
Une partie du CO_2 se dissout dans la saumure et une autre s'accumule dans les pores de la roche réservoir*.

Biocarburant / Biofuel

Valorisation

Les biocarburants couvrent l'ensemble des carburants liquides, solides ou gazeux d'origine biologique, **produits à partir de ressources renouvelables,** et destinés à une valorisation énergétique dans les transports et le chauffage.

Carboduc / Carboduc

Transport

Un carboduc est une **canalisation de transport (pipeline) de CO_2**. Elle transporte le CO_2 sur de longues distances d'un site émetteur captant du CO_2 vers un site de stockage ou pour être valorisé.

Capacité de stockage / Storage capacity

Stockage

La capacité de stockage désigne la quantité théorique de CO_2 qu'un réservoir géologique (aquifère salin* ou gisement déplété*) peut séquestrer de manière sûre et permanente.

Captage direct du CO_2 dans l'air / Direct Air Capture (DAC)

Captage

Ensemble de procédés permettant le captage du CO_2 présent dans l'air ambiant.
Deux approches technologiques sont actuellement utilisées pour capter le CO_2 présent dans l'air :

- L'adsorption* : des filtres adsorbants solides qui se lient chimiquement au CO_2. Lorsque ces filtres sont chauffés, ils libèrent le CO_2 concentré, qui peut alors être purifié pour être stocké ou valorisé.
- L'absorption chimique*: un système liquide fait passer l'air à travers une solution chimique, qui capte le CO_2 tout en renvoyant le reste de l'air dans l'environnement.

Il existe d'autres technologies, encore au stade développement.

Carbonatation minérale (minéralisation) / Carbonatation (mineralization)

Valorisation

Procédé permettant de transformer le CO_2 en matière solide, appelée carbonate, par réaction chimique du CO_2 avec des minéraux, généralement des oxydes à base de calcium ou de magnésium. Les carbonates peuvent être valorisés comme calcaire, produits chimiques ou matériaux de construction. Certains sont stables sur le temps long et peuvent être considérés comme du stockage de CO_2 permanent.

Carburant durable / Renewable fuel

Valorisation

Un carburant est qualifié de durable quand il est **produit à partir de sources renouvelables** (biomasse, déchets organiques, etc.). Cela inclut les biocarburants et les carburants de synthèse (e-carburants* et e-biocarburants) valorisant le CO_2 non-fossile capté et produit à partir de sources biogéniques.

Carburants d'aviation durable (CAD) / Sustainable Aviation Fuels (SAF)

Valorisation

Ce sont des **carburants alternatifs destinés à l'aviation.** Ils sont actuellement mélangés aux carburants fossiles (kérosène) en proportion variable. Il existe trois types de CAD :

- Les biocarburants (bio CAD / bioSAF), produits directement à partir de biomasse ou de déchets organiques.
- Les carburants de synthèse (e-carburants* / e-SAF), **obtenus par conversion du CO_2 biogénique capté avec de l'hydrogène produit à partir d'électricité renouvelable ou bas carbone**.
- Les biocarburants de synthèse (e-biocarburants / e-bioSAF) produits à partir de biomasse ou déchets organiques, combinés avec de l'hydrogène produit à partir d'électricité renouvelable ou bas carbone.

Complexe de stockage (Site de stockage) / Storage complexe

Stockage

Un complexe de stockage, ou site de stockage, est **l'ensemble du système de confinement du CO_2**. Il est composé du piège géologique* (la formation réservoir* et sa roche couverture*), de toutes les autres structures géologiques qui l'entourent, comme des roches couvertures secondaires, ainsi que des éléments ouvragés, comme les puits d'injection et les installations en surface.

Cryogénie (distillation) / Cryogenic (distillation)

Captage

Il s'agit d'un procédé de séparation des composants d'un mélange gazeux effectué à très basse température. Certains gaz se liquéfient tandis que d'autres restent gazeux, permettant ainsi leur séparation par distillation.
Dans le cadre de captage de CO_2, les gaz de combustion sont refroidis de manière à liquéfier seulement le CO_2. Il est ainsi facilement récupérable et peut être transporté à l'état liquide ou remis à l'état gazeux pour transport puis stockage ou valorisation.

Dissolution / Dissolution

Stockage

La dissolution est le processus par lequel le CO_2 est dissous dans l'eau et d'autres fluides géologiques présent dans les aquifères salins* ou les réservoirs déplétés*.

E-carburants (électro-carburants) / E-fuels

Valorisation

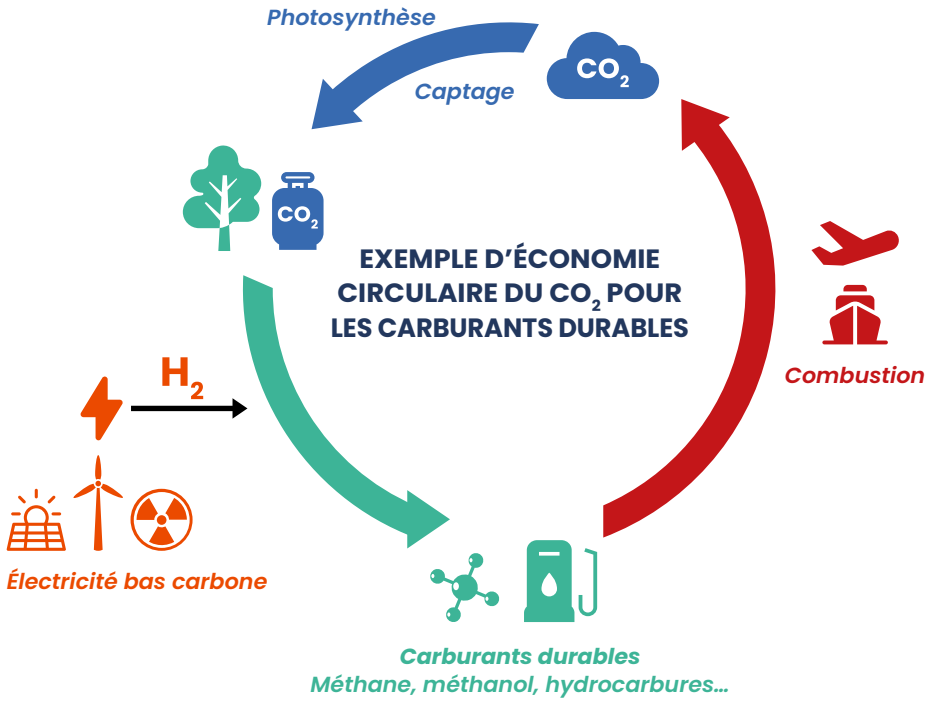
Les e-carburants sont des carburants synthétiques bas carbone produits à partir de CO_2 biogénique* capté (ou d'azote dans le cas de l'e-ammoniac) et d'hydrogène bas-carbone issue de l'électrolyse de l'eau avec de l'électricité renouvelable ou bas-carbone.

CO_2 + H2 (ou N_2) ⟶ E-carburants

Economie circulaire / Circular economy

Valorisation

L'économie circulaire du carbone est un concept qui vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre, en particulier celles de CO_2. En mettant en place des **boucles de valorisation du carbone biogénique** déjà présent dans l'atmosphère, en le captant puis **en le valorisant en produit qui se substitue à son équivalent fossile.**
L'économie circulaire du carbone cherche à boucler le cycle du carbone, c'est-à-dire à éviter l'émission de nouveau CO_2 et à réutiliser ou recycler le carbone déjà émis.



Exploration / Exploration

Stockage

L'exploration permet l'évaluation d'un complexe de stockage* potentiel, pour en faire un stockage géologique* de CO_2. Des études sismiques ainsi que des forages dans les formations souterraines permettent de recueillir des données géologiques essentielles sur les strates du complexe de stockage potentiel. Si les données sont concluantes, des essais d'injection permettent de caractériser le site de stockage.

Fuite / Leak

Stockage

Mouvement de CO_2 hors du complexe de stockage*.

Gisement (champs) déplété / Depleted oil or gas field

Stockage

Un gisement déplété est un ancien gisement de gaz ou de pétrole **dont l'exploitation a cessé** ou qui est phase d'épuisement. Il est constitué de roches réservoirs* poreuses et perméables gorgées d'eau et d'hydrocarbures. Après l'extraction des hydrocarbures, les roches réservoirs peuvent être réutilisées pour stocker d'autres substances, comme du gaz naturel ou du CO_2.

Infrastructure de transport / Transport infrastructure

Transport

Les infrastructures de transport permettent de relier les bassins industriels aux exutoires de CO_2 (capacités de stockage ou de valorisation, ou terminaux d'export de CO_2).
Ces infrastructures se composent de matériels et d'équipements permettant le transport de CO_2, qui peuvent être enterrées ou en surface : canalisations (carboducs*), stations de compression, terminaux d'export*, etc.

Injection / Injection

Stockage

Action de déplacer le CO_2 de la surface vers la roche réservoir* via des puits*, pour un stockage sûr et permanent.

Membrane (séparation) / Membrane (separation)

Captage

Les composants présents dans le flux de gaz sont séparés en fonction de leur habilité à passer à travers la membrane (polymériques ou inorganiques). Les membranes utilisées dans le captage de CO_2 sont hautement sélectives en permettant au CO_2 de passer au travers tout en retenant les autres composants du flux de gaz.

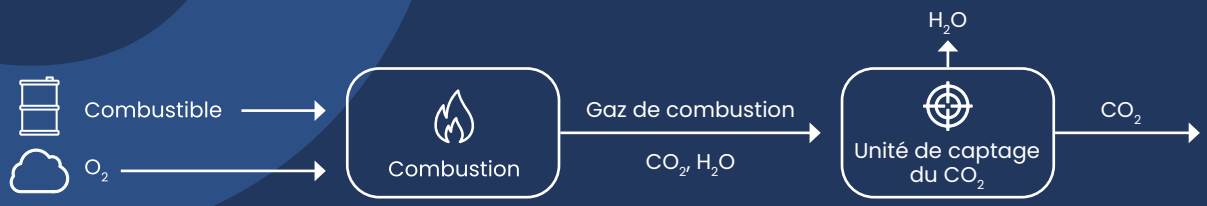
Migration / Migration

Stockage

Déplacement du CO_2 au sein du complexe de stockage*.

Oxycombustion / Oxycombustion
Captage

Ce procédé consiste à **brûler les combustibles en présence d'oxygène pur plutôt que de l'air.** Le gaz de combustion est ainsi composé presque exclusivement de CO_2 et de vapeur d'eau. Cette dernière s'élimine facilement par un procédé de déshydratation qui permet d'obtenir un flux de CO_2 de haute pureté. L'oxycombution peut aussi être partielle avec un enrichissement de l'air en oxygène.



Permis de stockage / Storage permit
Stockage

Décisions écrites et motivées, prises par l'autorité compétente conformément aux exigences des directives en vigueur, autorisant le stockage géologique* du CO_2 dans un site de stockage par l'exploitant. Il est précisé les conditions dans lesquelles ce stockage peut avoir lieu.

Permis d'exploration / Exploration permit
Stockage

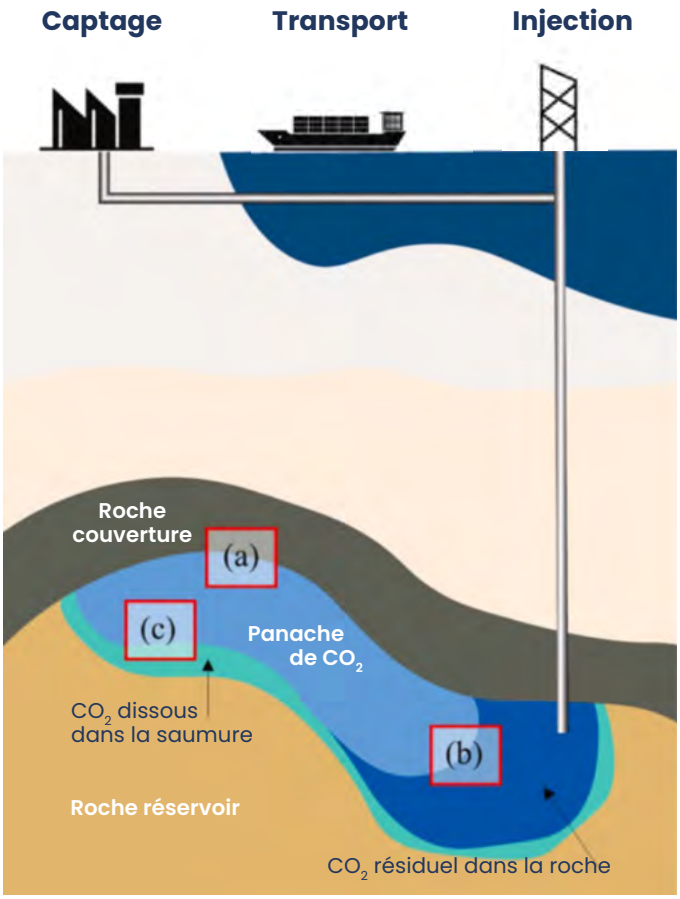
Décisions écrites et motivées, prises par l'autorité compétente conformément aux exigences des directives en vigueur, autorisant l'exploration du sous-sol en vue d'un stockage de CO_2. Il est précisé les conditions dans lesquelles la campagne d'exploration peut avoir lieu.

Piégeage (mécanisme) / Trap mechanism
Stockage

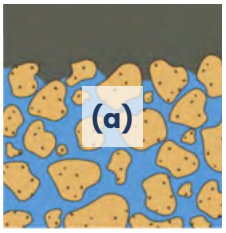
Le CO_2 est soumis, lors de son écoulement dans la roche réservoir*, à différents mécanismes de piégeages* :

- Piégeage structurel : La roche couverture, imperméable, empêche le CO_2 de remonter vers la surface
- Piégeage résiduel : Le CO_2 se fragmente en petites bulles qui sont bloquées par les forces capillaires dans la porosité de la roche.
- Piégeage par dissolution : Le CO_2 se dissout dans l'eau et les fluides déjà présents dans la roche réservoir.
- Piégeage minéral : Le CO_2 dissous réagit chimiquement avec des éléments en solution dans l'eau du réservoir pour former des minéraux solides (carbonates).

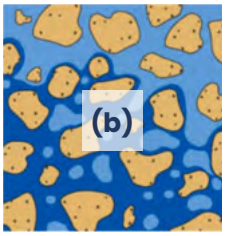
Ces mécanismes participent à la retenue du CO_2 dans le complexe de stockage*.



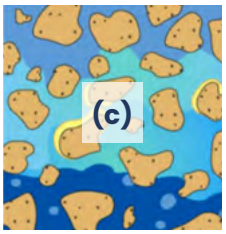
Piégeage structural



Piégeage résiduel



Piégeage par dissolution & minéralisation



Source : K. Kim et al, Heliyon 9 (2023) e23135, «A review of carbon mineralization mechanism during geological CO_2 storage»

Piège géologique / Geological trap

Stockage

Un piège géologique est une **structure souterraine qui empêche le CO_2 de remonter à la surface**. Il est composé de deux éléments principaux :

- Une roche réservoir*, qui est une roche poreuse où le CO_2 peut s'accumuler.
- Une roche couverture*, qui est une couche de roche imperméable qui agit comme un couvercle pour maintenir le CO_2 dans le complexe de stockage*

Ce concept de piège géologique inclut les pièges structuraux* (formés par des plis ou des failles) et les pièges hydrodynamiques* (où les fluides sont retenus par des gradients de pression).

Piège structural / Structural trap

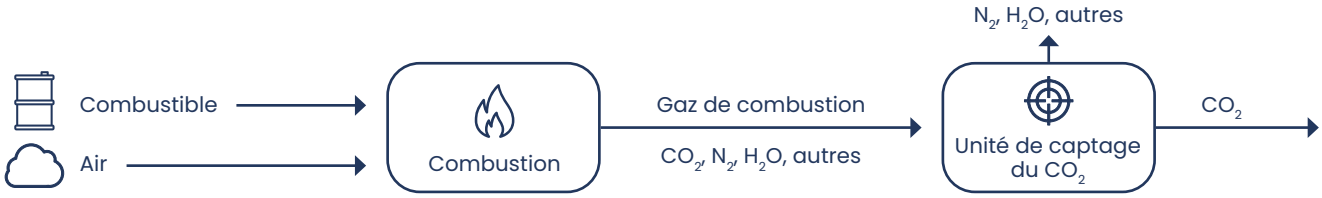
Stockage

Un piège structural est une configuration de la roche couverture* qui, **par sa forme, crée un espace où les fluides peuvent être piégés.** En d'autres termes, la structure même des couches de roche agit comme un « couvercle » pour empêcher le CO_2 de s'échapper du complexe de stockage*.

Postcombustion / Postcombustion

Captage

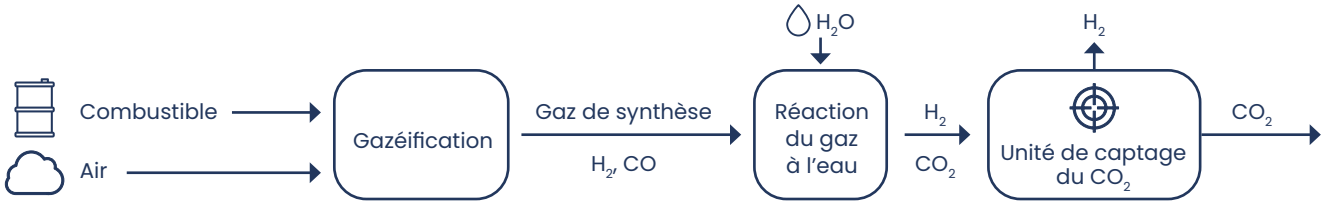
Procédé dans lequel le captage de CO_2 se fait après la combustion, avant l'évacuation des fumées par la cheminée. Le CO_2 est dilué dans les fumés avec les autres gaz de combustion.
Plusieurs technologies existent pour capter le CO_2 des autres composants : absorption chimique*, adsorption*, membranes de séparation* et distillation cryogénique* par exemple.



Précombustion / Precombustion

Captage

Procédé qui consiste à décarboner le combustible avant qu'il ne soit brûlé en **le transformant en gaz de synthèse** (gaz composé d'eau, d'hydrogène et de monoxyde de carbone). En introduisant de la vapeur d'eau dans ce gaz de synthèse, le monoxyde de carbone réagit pour former du CO_2 et de l'hydrogène. Le CO_2 est ensuite séparé de l'hydrogène pour être stocké ou valorisé, tandis que l'hydrogène sert de gaz de combustion décarboné.



Puits / Wells

Stockage

Le trou de forage creusé dans le sol qui constitue le puit, est composé de plusieurs éléments clés dont un tube en acier (casing) inséré dans ce trou et du ciment injecté autour du tube pour assurer son étanchéité.
Cette construction garantit qu'aucun fluide, comme le CO_2, ne s'échappe ou ne se mélange aux autres couches de roche traversées. Le CO_2 passe donc de la surface à la couche de roche visée de manière sécurisée.
On distingue plusieurs types de puits, chacun ayant une fonction spécifique :

- Puits d'injection : Utilisés pour injecter le CO_2 dans la roche réservoir*.
- Puits d'observation et de surveillance : Permettent de contrôler le mouvement du CO_2, de prélever des échantillons de fluides et de mesurer des paramètres comme la pression, la température ou le pH.
- Puits fermés : Anciens puits (d'injection, de production ou d'observation) qui ont été définitivement scellés. Leur fermeture est un processus rigoureux qui implique la vérification de l'étanchéité et la mise en place de bouchons de ciment.

Les dimensions typiques d'un puits sont de l'ordre d'un mètre de diamètre en surface et d'une dizaine de centimètres en profondeur, pour une longueur de l'ordre kilométrique.

Purification / Purification

Captage

Le CO_2 capté contient des impuretés qui doivent être retirées afin d'atteindre les spécifications (qualités) requises pour son transport, son stockage ou sa valorisation. L'étape de purification permet d'atteindre ces spécifications en éliminant notamment les traces d'eau, les composés soufrés et azoté qui sont toxiques et / ou corrosifs.

Récupération Assistée de Pétrole ou de gaz (RAP) / Enhanced Oil or Gas Recovery (EOR/EGR)

Stockage

La récupération assistée du pétrole est un ensemble de techniques utilisées **pour augmenter la quantité de pétrole (ou de gaz) extraite d'un gisement une fois que les méthodes d'extraction initiales ne sont plus efficaces.**
Ces techniques consistent à injecter des fluides (eau, gaz, vapeur, CO_2, ou produits chimiques) dans le gisement pour :

- Maintenir la pression dans le réservoir.
- Faciliter le mouvement du pétrole vers les puits de production.

Bien que du CO_2 soit utilisé pour la RAP et qu'une partie reste effectivement piégée dans le gisement, cette technique n'est pas considérée comme un stockage de CO_2 par la réglementation européenne et ne peut faire l'objet de subventions européennes ou nationales.

Réservoir poreux / Porous reservoir

Stockage

Un réservoir poreux est une **formation géologique qui possède des espaces vides, ou pores,** entre les grains de roche. Ces pores sont suffisamment grands et bien connectés pour permettre à des fluides, du pétrole, du gaz ou de l'eau de circuler et de s'y accumuler. Ce sont les roches réservoirs idéales pour le stockage de CO_2.

Roche couverture / Caprock

Stockage

Une roche couverture est **une couche de roche imperméable qui agit comme une barrière,** empêchant le CO_2 de s'échapper du réservoir poreux.

Saumure / Brine

Stockage

La saumure est de l'eau naturellement salée qui se trouve en profondeur dans les formations géologiques, comme les roches réservoirs*. Elle est souvent présente en même temps que le pétrole et le gaz. **La concentration en sel de la saumure dépasse celle de l'eau de mer et la rend impropre à la consommation,** ce qui offre une certaine garantie contre une compétition d'usage avec l'utilisation du réservoir pour la production d'eau potable.

Sismicité (naturelle vs induite) / Seismicity (natural vs induced)

Stockage

La sismicité naturelle est l'ensemble des tremblements de terre causés par des processus géologiques naturels, sans intervention humaine. La principale cause en est la tectonique des plaques : le mouvement constant et lent des plaques tectoniques exerce une pression sur la croûte terrestre. Cette pression s'accumule le long des failles géologiques jusqu'à ce que la roche se brise, libérant soudainement cette énergie sous forme d'ondes sismiques. C'est ce qui provoque un séisme.
Il est important de distinguer la sismicité naturelle de la sismicité induite, qui peut être provoquée par les activités humaines, comme l'injection de fluides dans le sous-sol ou l'exploitation minière.

Site de stockage de surface / Surface storage

Transport

Désigne la localisation du **stockage temporaire** dédié à la réception, au conditionnement ou au stockage de CO_2 avant sa valorisation ou son injection dans un site de stockage géologique*.

Stockage géologique / Geological storage

Stockage

Le stockage géologique* de CO_2, également connu sous le nom de séquestration géologique, est un processus qui consiste **à injecter du CO_2 capté dans des formations rocheuses profondes pour le stocker de manière sûre et permanente.**

Synthèse (de carburant) / Synthesis (for fuel)

Valorisation

Dans le cadre de la valorisation du CO_2 (CCU*), la synthèse de carburant désigne l'ensemble des procédés utilisés pour **produire des carburants à partir de sources renouvelables par des réactions chimiques contrôlées.**
Le procédé le plus courant pour la production de carburant de synthèse est le procédé « Fischer-Tropsch » qui consiste en :

1. Convertir la matière première renouvelable en gaz de synthèse (syngas) qui est un mélange de CO et H_2.
2. Transformer ce syngas en hydrocarbures liquides avec ou sans ajout de CO_2 capté et d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone par voie catalytique.
3. Raffiner ces hydrocarbures liquides pour obtenir des carburants utilisables.

Les carburants obtenus sont similaires à leurs équivalents fossiles : diesel, kérosène, etc…

Surveillance / Monitoring

Stockage

La surveillance d'un complexe de stockage* de CO_2 est l'**ensemble des moyens utilisées pour s'assurer que le dioxyde de carbone injecté reste bien piégé sous terre.** Son objectif est de vérifier l'intégrité du stockage et de prévenir tout risque de fuite hors du complexe de stockage.

La surveillance repose sur une variété de méthodes qui peuvent être réparties en trois grandes catégories :

- En surface : On utilise des capteurs pour mesurer les concentrations de CO_2 dans l'air et le sol, ainsi que des techniques de télédétection pour observer le site depuis l'espace (par satellite).
- Dans le sous-sol : On se sert de puits d'observation* pour prélever des échantillons de fluides, mesurer la pression, la température et le pH.
- À l'interface surface / sous-sol : On utilise des techniques de géophysique pour suivre l'extension de la bulle de CO_2 dans le réservoir. La sismologie est également utilisée pour détecter d'éventuels mouvements de la roche.

La surveillance est cruciale pour plusieurs raisons :

- Sécurité : Elle garantit la sécurité des personnes et de l'environnement en détectant toute fuite potentielle.
- Efficacité : Elle confirme que le CO_2 est bien stocké de manière permanente, ce qui est l'objectif principal du processus.
- Conformité : Elle permet de s'assurer que le site respecte les réglementations en vigueur.

Terminal d'exportation / Export terminal

Transport

Infrastructure dédiée à la réception, au stockage temporaire et à l'expédition du CO_2 capté sur les sites industriels vers un terminal importateur de CO_2. Un terminal d'exportation est équipé de dispositifs d'exportation comme des bacs de stockage, une jeter d'export ou encore des systèmes de chargement de CO_2.

Valorisation chimique / Chemical use

Valorisation

La valorisation chimique du CO_2 consiste à utiliser le CO_2 capté comme matière première pour la synthèse de produits chimiques, carburants, matériaux de construction, etc.

Valorisation directe / Direct use

Valorisation

La valorisation chimique du CO_2 consiste à **utiliser le CO_2 capté comme molécule pour ses propriétés physico-chimiques.** Exemples d'utilisations directes : solvant, boissons gazeuses, agriculture sous serre, sécurité incendie, etc.

4 / SOURCES

Documents :

Lignes de conduite pour la sécurité d'un site de stockage géologique de CO_2, BRGM/RP-60369-FR

ISO 27917:2017

Carbon capture, utilisation and storage in the European Union, EUR 40063 EN

Contrat stratégique de filière 2024-2027, Février 2025

Rapport du GIEC "climate change 2023, synthesis report » - glossaire

Rapport du GIEC "climate change 2022, mitigation and climate change » - glossaire

Etat des lieux et perspective CCUS en France, Juillet 2024

Académie des Sciences, captage et stockage de CO_2 : puits de carbone géologique, Isabelle Czernichowski-Lauriol

Sites internet :

CO2 | natrangroupe.com

https://CO2value.eu/what-is-ccu/

https://objectifzeroCO2.terega.fr/ccus-en-bref/chaine-valeur-ccus

https://systemesenergetiques.org/wp-content/uploads/2023/06/Guide-projet-valorisation-bioCO2-methanisation-VF-2023.05.30-1.pdf

https://prod-basecarbonesolo.ademe-dri.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?CO2_biogenique.htm

https://objectifzeroCO2.terega.fr/ccus-en-bref/CO2-loupe

https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/article/captage-du-CO2-mieux-comprendre-chemical-looping-combustion-clc

Direct Air Capture of CO2 with Chemicals | American Physical Society

https://librairie.ademe.fr/ged/6412/Avis-Technique-CCU-Janvier2022.pdf

https://www.iea.org/reports/about-ccus

Club C02 - Le CCS et le CCU en deux mots

La CRE présente ses recommandations portant sur le cadre de régulation des infrastructures d'hydrogène et de dioxyde de carbone | CRE

5 / Les Nouveaux Systèmes énergétiques, comité Stratégique de Filière

Ministères

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE,
DE LA BIODIVERSITÉ
ET DES NÉGOCIATIONS
INTERNATIONALES
SUR LE CLIMAT ET LA NATURE
Liberté
Égalité
Fraternité

MINISTÈRE
DE L'ÉCONOMIE,
DES FINANCES
ET DE LA SOUVERAINETÉ
INDUSTRIELLE, ÉNERGÉTIQUE
ET NUMÉRIQUE
Liberté
Égalité
Fraternité

Grands groupes fondateurs

EDF · ENGIE · Schneider Electric · TotalEnergies

Grands groupes

AIRFRANCE · Air Liquide · BlueSolutions · Capgemini · equinor · GRDF

LAFARGE · natran Le cœur de vos énergies · orano · slb · SYENSQO

TEN TECHNIP ENERGIES · TEREGA · Valeo · VEOLIA · VICAT

Établissements publics nationaux à caractère industriel ou commercial (EPIC)

brgm Géosciences pour une Terre durable · cea · IFP Energies nouvelles

ETI / PME du club Batteries



ETI / PME des enR et de la décarbonation





www.systemesenergetiques.org

Nouveaux Systèmes Énergétiques
Comité Stratégique de Filière