

Illustration pour la conférence présentée par l'Académie des Sciences de votre chaire

CAPTAGE ET STOCKAGE DU CO₂

Le puits de carbone géologique

Isabelle Czernichowski-Lauriol, email : i.czernichowski@brgm.fr

BRGM – Service Géologique National

CO₂GeoNet – Réseau d'Excellence européen sur le stockage géologique de CO₂

Extraits du Projet de Stratégie Nationale Bas Carbone, janvier 2020



La neutralité carbone

C'est un équilibre entre :

- les émissions de GES sur le territoire national ;

- l'absorption de carbone :

- par les écosystèmes gérés par l'être humain (forêts, sols agricoles...);

- par les procédés industriels (capture et stockage ou réutilisation du carbone).



Facteur 6

La neutralité carbone implique de diviser nos émissions de GES au moins par 6 d'ici 2050, par rapport à 1990.

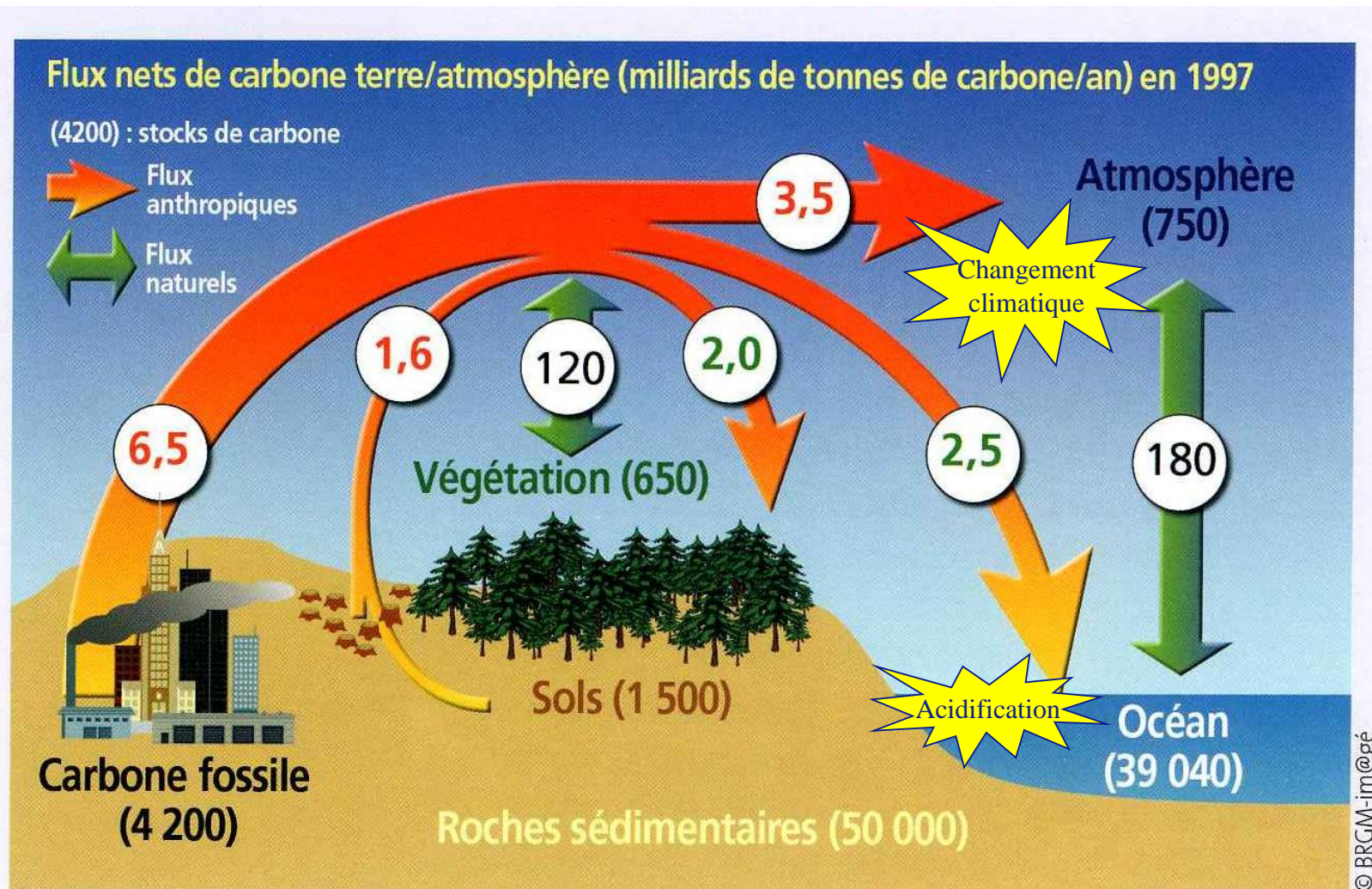
Emissions
incompressibles

Puits de
carbone

- À l'horizon 2050, un certain niveau d'émissions de gaz à effet de serre paraît incompressible, en particulier dans les secteurs non énergétiques
- Ces émissions doivent être compensées par des **puits de carbone** (permettent de capter et de stocker une quantité significative de dioxyde de carbone - CO₂, de manière à en limiter la concentration dans l'atmosphère) :
 - Le puits du secteur des terres (forêt et terres agricoles) optimisé et durable
 - Le puits technologique de captage et stockage de CO₂
- Les **technologies de Captage et Stockage du CO₂ (CSC)** sont mobilisées, de manière prudente, dans le scénario de référence visant à atteindre la neutralité carbone de la France en 2050 :
 - En 2050, elles permettraient d'éviter environ **6 MtCO₂/an dans l'industrie** et de réaliser annuellement **une dizaine de MtCO₂ d'émissions négatives** sur des installations de production d'énergie à partir de biomasse (BECSC).

Soit un puits de carbone de **16 Mt CO₂/an** en 2050

La principale cause du réchauffement climatique : *le déstockage du carbone du sous-sol*



Emissions mondiales de CO₂ anthropique

(moyenne 2002-2011, GIEC AR5) :
9 Gt C /an (soit 34 Gt CO₂ /an)

- 90% dues à l'utilisation des combustibles fossiles (+ production de ciment)
- 10% dues aux changements d'utilisation des sols (déforestation, pratiques agricoles)

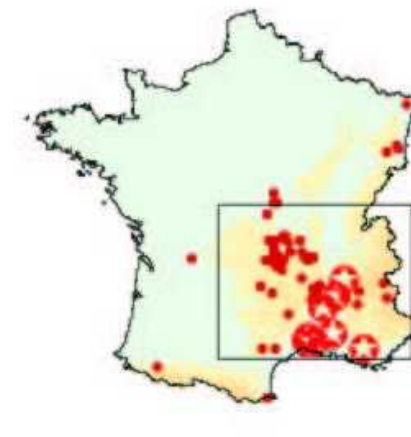
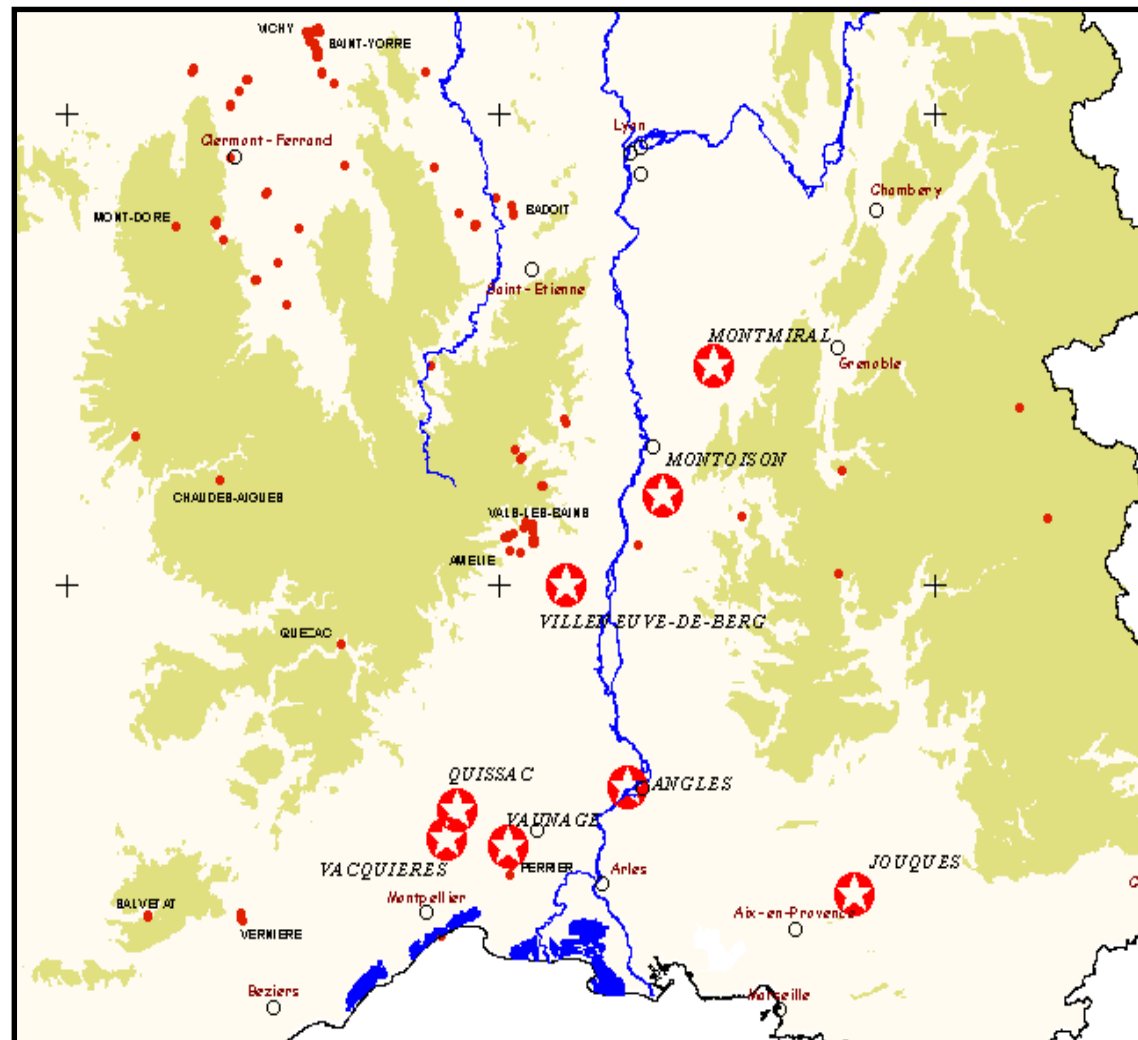
Renvoyons le Carbone dans le sous-sol !


Une boucle vertueuse pour l'environnement et le climat

N·A·S·C·E·N·T



Les formations géologiques peuvent piéger de très grandes quantités de CO₂ pendant des millions d'années



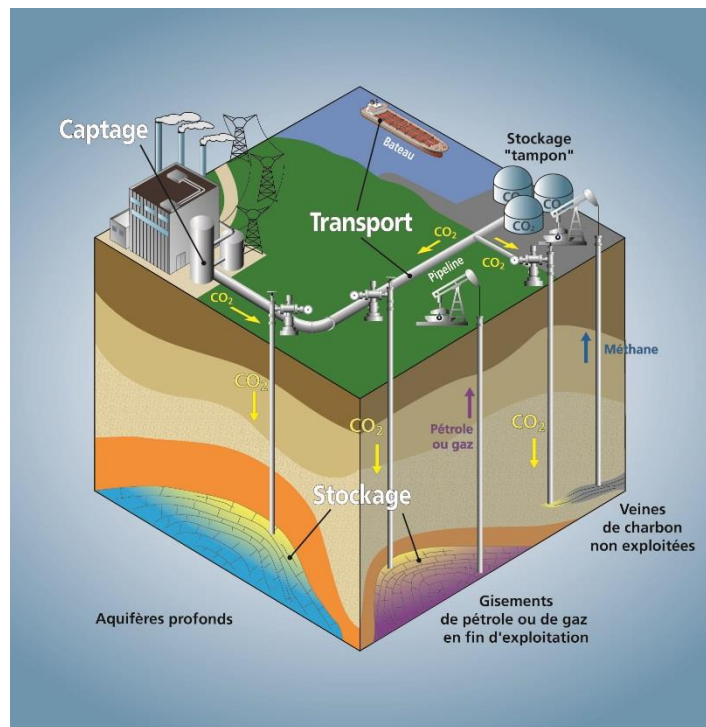
 **Gisements naturels de CO₂**

 **Eaux carbogazeuses exploitées** (boissons, thermalisme)

La province carbogazeuse française

Captage et Stockage du CO₂ : le principe

(CSC ou CCS en anglais)



3 étapes :

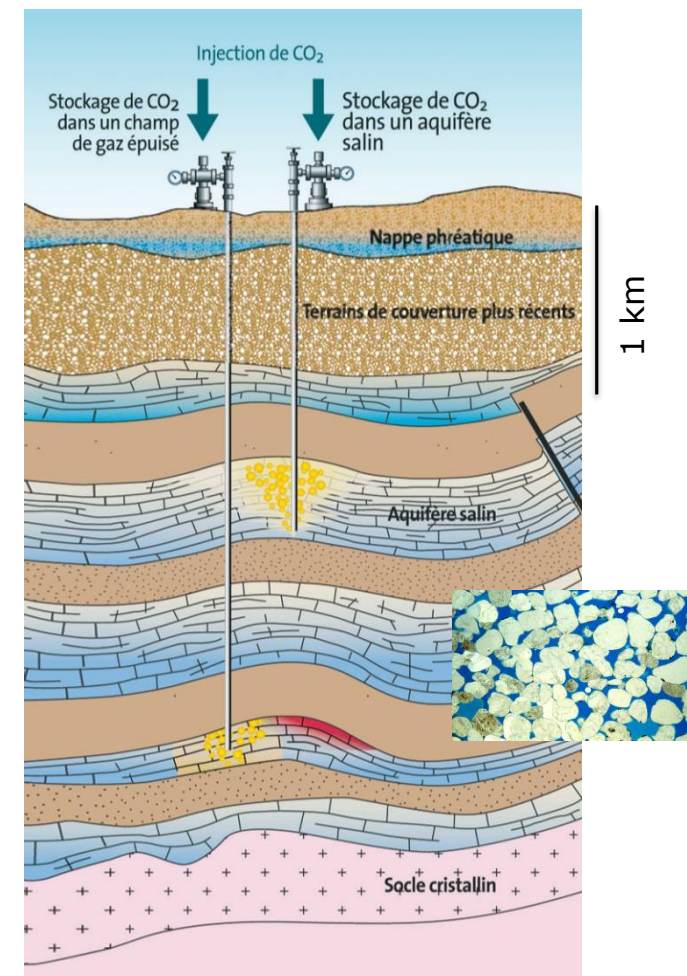
- ❖ Captage
- ❖ Transport
- ❖ Stockage géologique

+ 1 étape :

- ❖ Valorisation /Utilisation

CSC
(CCS en anglais)

CSCV
(CCUS en anglais)



Stocker le CO₂ dans le sous-sol pour :

- ➔ Réduire massivement les émissions de CO₂ des industries (aciéries, cimenteries, incinérateurs de déchets, raffineries, centrales thermiques à charbon et gaz, production d'H₂ ...)
- ➔ Retirer du CO₂ de l'atmosphère (scénarios dits à émissions négatives) par exemple via le couplage à la biomasse énergie (BECS) ou par la capture directe de CO₂ de l'atmosphère

Capacité mondiale de stockage géologique :
au moins 2000 Gt de CO₂
(GIEC 2005)

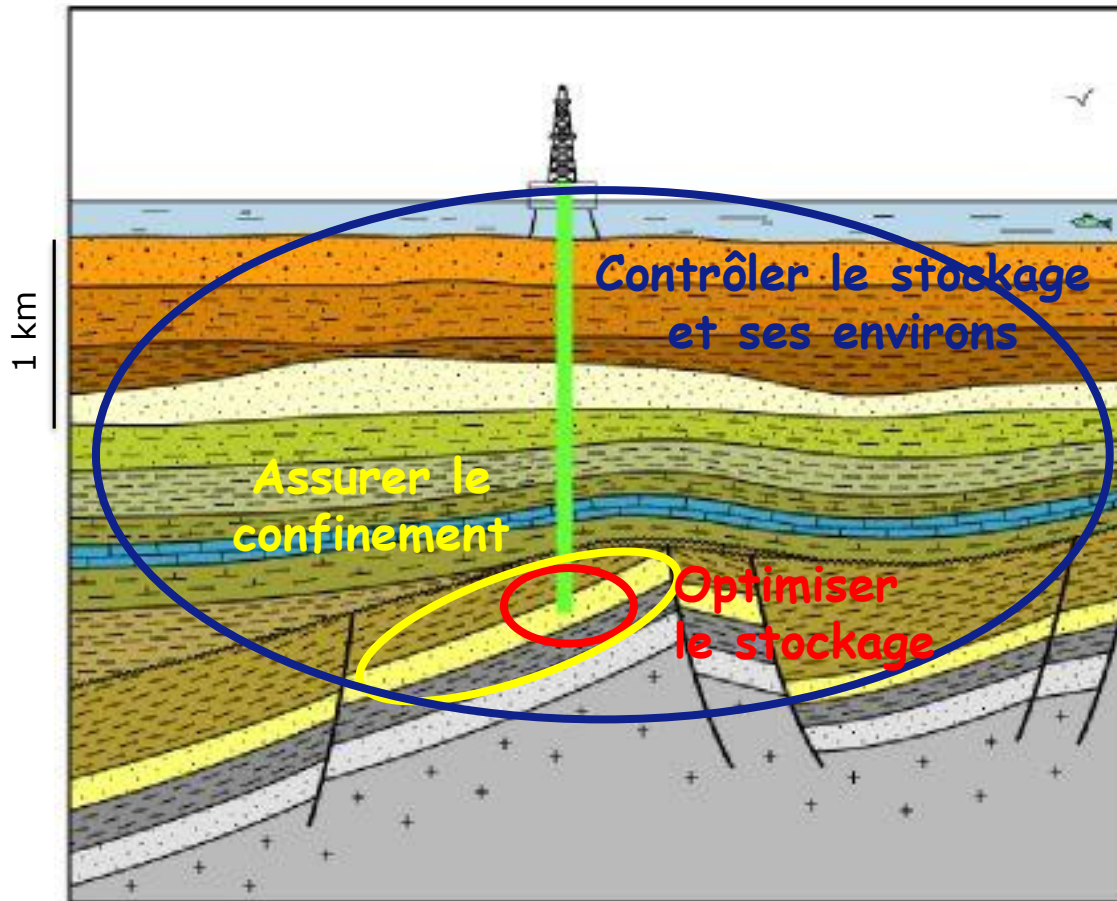
Vidéo d'un projet écossais en préparation

<https://www.youtube.com/watch?v=Bi3-k6wfXh8>



Les enjeux du stockage

- ❖ **Piégeage > 1000 ans** (enjeu mondial climatique)
- ❖ **Sécurité** (enjeu local)



Chaque site de stockage est particulier car dépendant :

- de la géologie locale
- du contexte socio-économique et de l'environnement local



Approche
'sur mesure'
adaptée

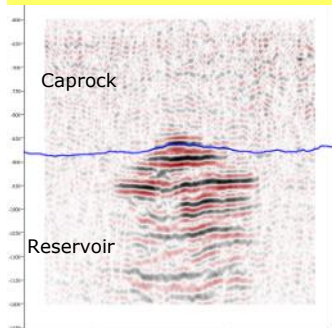
Lignes de conduite pour la sécurité d'un site de stockage de CO₂

1. **Choix du site adéquat et bonne caractérisation** - réservoir, roche couverture, formations sus-jacentes, failles, puits pré-existants, nappe phréatique, environnement de surface
2. **Évaluation appropriée du risque** (fuites, mouvements du sol ...)
3. **Opérations d'injection et de fermeture du site menées correctement** : contrôle de la composition du gaz injecté et de la pression, bonne adéquation entre modélisation et mesures, bouchage des puits
4. **Surveillance attentive** : migration du CO₂, étanchéité de la roche couverture et des puits, nappe phréatique, surface du sol ou plancher marin, écosystèmes
5. **Plan de mesures correctives**

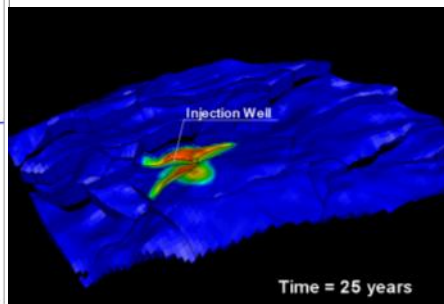
Il existe :

- ❖ **Une directive européenne sur le stockage géologique du CO₂ (2009), transposée en droit français**
- ❖ **Des normes ISO internationales**

Une large gamme d'outils et de méthodologies ont déjà été élaborés pour chacun de ces 5 critères



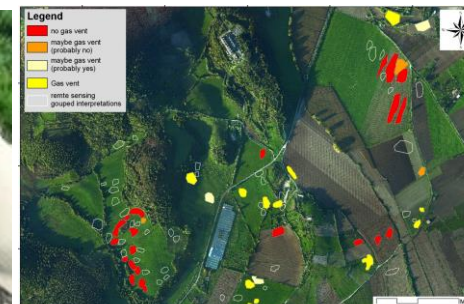
Sismique



Modélisation



Gaz des sols

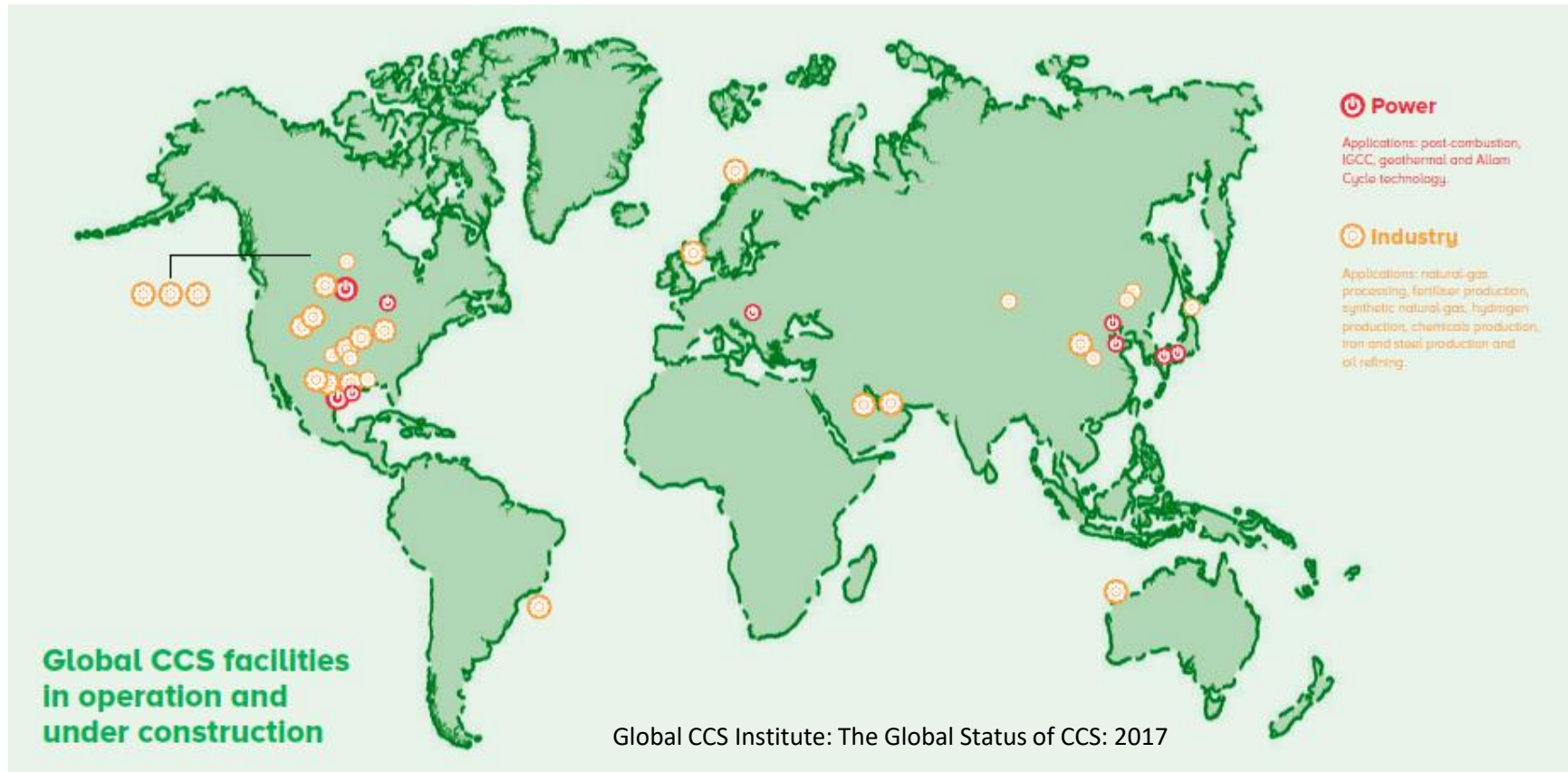


Téledétection

Captage et Stockage du CO₂ : déjà un début de réalité

- Stockage souterrains sur les continents et sous la mer
- Pour réduire les émissions de CO₂ de la production d'électricité et de l'industrie

En 2019, **19** opérations de captage et stockage de CO₂ en opération dans le monde, stockant chacune de l'ordre de **1 Mt de CO₂ par an**



Mais efforts de recherche toujours nécessaires pour :

- ❖ réduire les coûts,
- ❖ améliorer les performances
- ❖ permettre le déploiement généralisé (de 19 à plusieurs milliers !)

Saut d'échelle à effectuer :
de 20 Mt CO₂/an en 2019 à
> 5 Gt CO₂/an en 2050

Captage et Stockage du CO₂ : estimation des coûts pour différents types d'industries

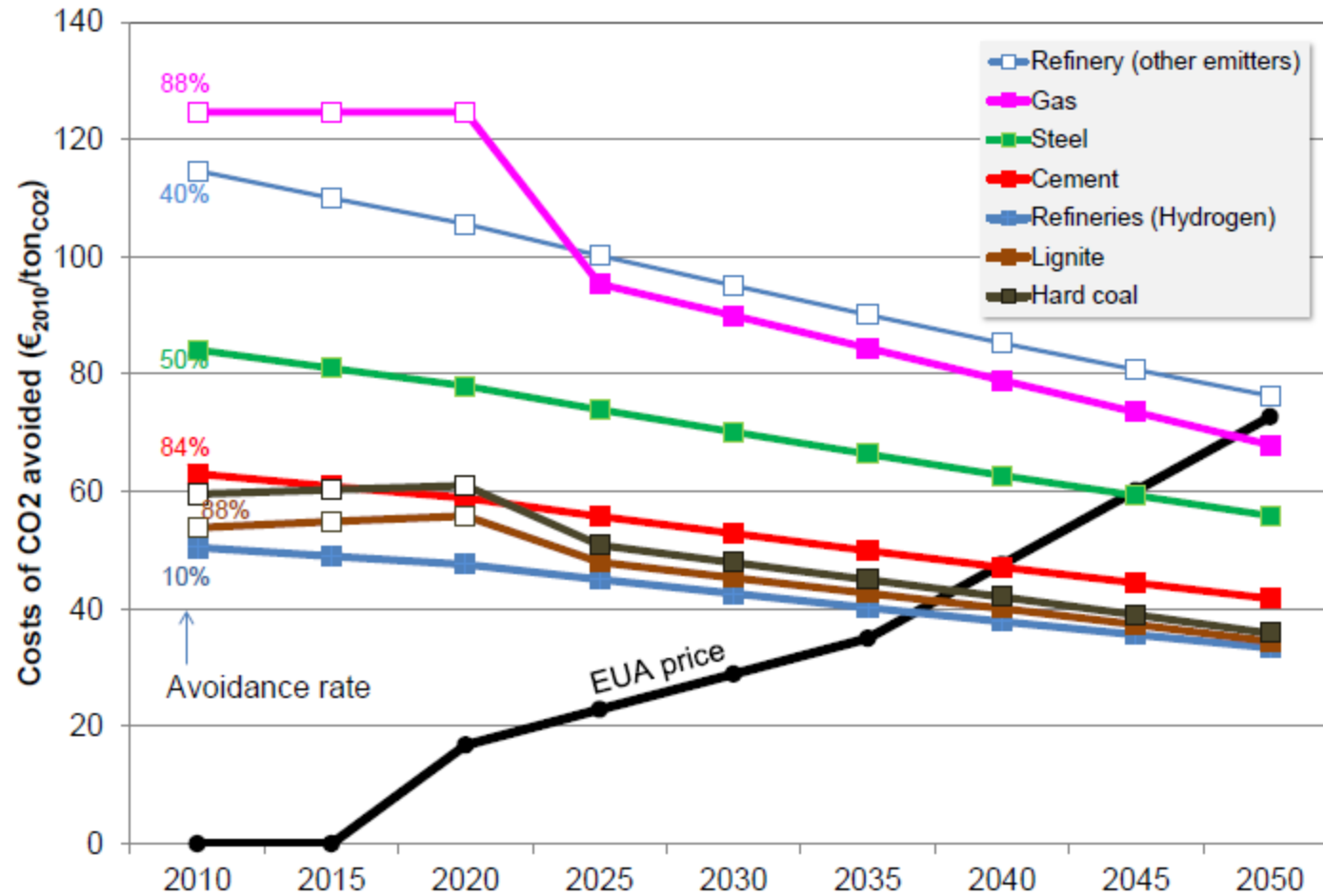


Figure 6: CO₂ emission price and CO₂ avoidance costs (Source: ZEP) Nov. 2015

Coût de la tonne de CO₂ évitée - intègre :

- Coût du captage : estimé pour chaque type d'industrie, avec réduction des coûts de 1%/an
- Coût du transport et stockage : estimé à 20 €/tCO₂ en 2010 et 13 €/tCO₂ en 2050

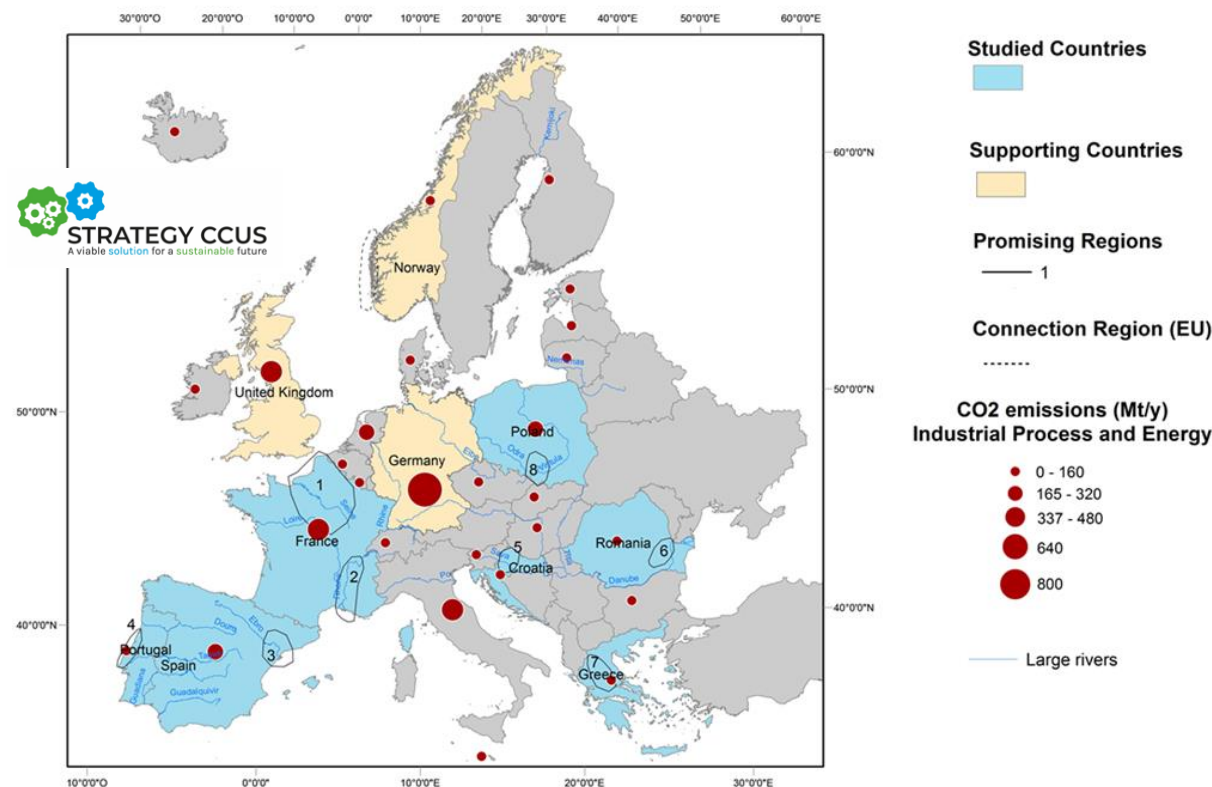
Hypothèse sur l'évolution du prix du quota d'émission de CO₂ (EUA)

Le déploiement sera possible quand le coût de la tonne de CO₂ évitée sera inférieur au prix du quota de CO₂ européen (ou taxes comme en Norvège, crédit d'impôt comme aux USA, etc.)

Les projets de recherche européens en cours coordonnés par la France (H2020)



- **ENOS** (coord. BRGM) – dédié au stockage de CO₂ onshore en Europe
- **CHEERS** (coord. IFPEN) – pilote en Chine pour tester un procédé de captage du CO₂
- **3D** (coord. IFPEN) – démonstration du captage de CO₂ sur l'aciérie d'ArcelorMittal à Dunkerque
- **STRATEGY CCUS** (coord. BRGM) – Elaboration de plans stratégiques pour le déploiement de la technologie CSCV (Captage, Stockage et Valorisation du CO₂) en Europe du Sud et de l'Est



France - 2 régions étudiées :

• **Vallée du Rhône**

(dont le complexe industriel de Fos-Berre/Marseille ciblé par le SET-Plan européen, et Lyon Métropole)

• **Bassin Parisien**

(dont Le Havre ciblé par le SET Plan européen, Dunkerque, Paris et Orléans)

Les projets de recherche en cours cofinancés par la région Centre-Val de Loire

2 projets coordonnés par le BRGM, correspondant à deux concepts différents

Valoriser et stocker le CO₂ issu de la transformation de la biomasse pour la culture sous serre

CO2SERRE

Un projet financé par la Région Centre-Val de Loire

« Réduire les émissions de CO₂ de la Région Centre – Val de Loire, tout en bénéficiant à l'économie locale », tel est l'objectif du projet de recherche CO2SERRE qui commence en Octobre 2019. Il vise à développer la technologie Captage, Stockage et Valorisation du CO₂ dans la Région afin de lutter contre le réchauffement climatique, en promouvant également l'économie circulaire.

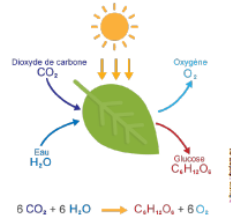
Le captage



Le CO₂ est issu de la **transformation de la biomasse**, comme les chaufferies biomasse ou les sucreries et distilleries (transformation de betterave).

Le CO₂ est **capté au niveau des sites producteurs**. Différentes techniques existent, selon la composition des fumées du site et la pureté du CO₂ requise.

L'utilisation dans les serres

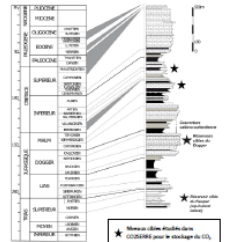


Le CO₂ est indispensable à la croissance des plantes, c'est la **photosynthèse**.

Pour **stimuler la croissance des plantes** et améliorer les rendements, de nombreux producteurs ajoutent du CO₂ dans les serres fermées.

Le stockage géologique

Le CO₂ non utilisé est injecté dans une formation géologique profonde, appelée réservoir, afin qu'il y reste **confiné de manière permanente**.



> Lithologie et stratigraphie type du Bassin de Paris

BECS + Valorisation du CO₂

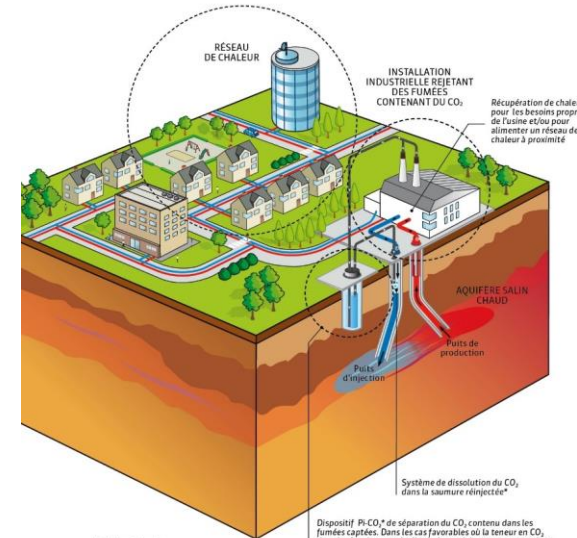
Coupler stockage géologique de CO₂ et géothermie profonde en Région Centre-Val de Loire

GEOCO₂

Un projet financé par la Région Centre-Val de Loire

Réduire les émissions industrielles de CO₂ tout en produisant de l'énergie **décarbonée** : tel est le principe de l'approche « CO₂-DISSOLVED » développée au BRGM depuis 2013.

Le projet « GEOCO₂ » vise à étudier le potentiel de mise en œuvre de cette technologie innovante sur les sites industriels du territoire régional.



PRINCIPE

1. Capturer le CO₂ contenu dans les fumées d'une installation industrielle.
2. Extraire l'eau chaude d'une nappe aquifère profonde.
3. Récupérer les calories en surface pour, par exemple, alimenter un réseau de chaleur.
4. Réinjecter l'eau froide dans le même aquifère, après y avoir dissous le CO₂ capté qui restera séquestré définitivement dans l'eau de la nappe ainsi exploitée.

* Technologie brevetée, propriété de Partnering in Innovation, Inc. (USA)

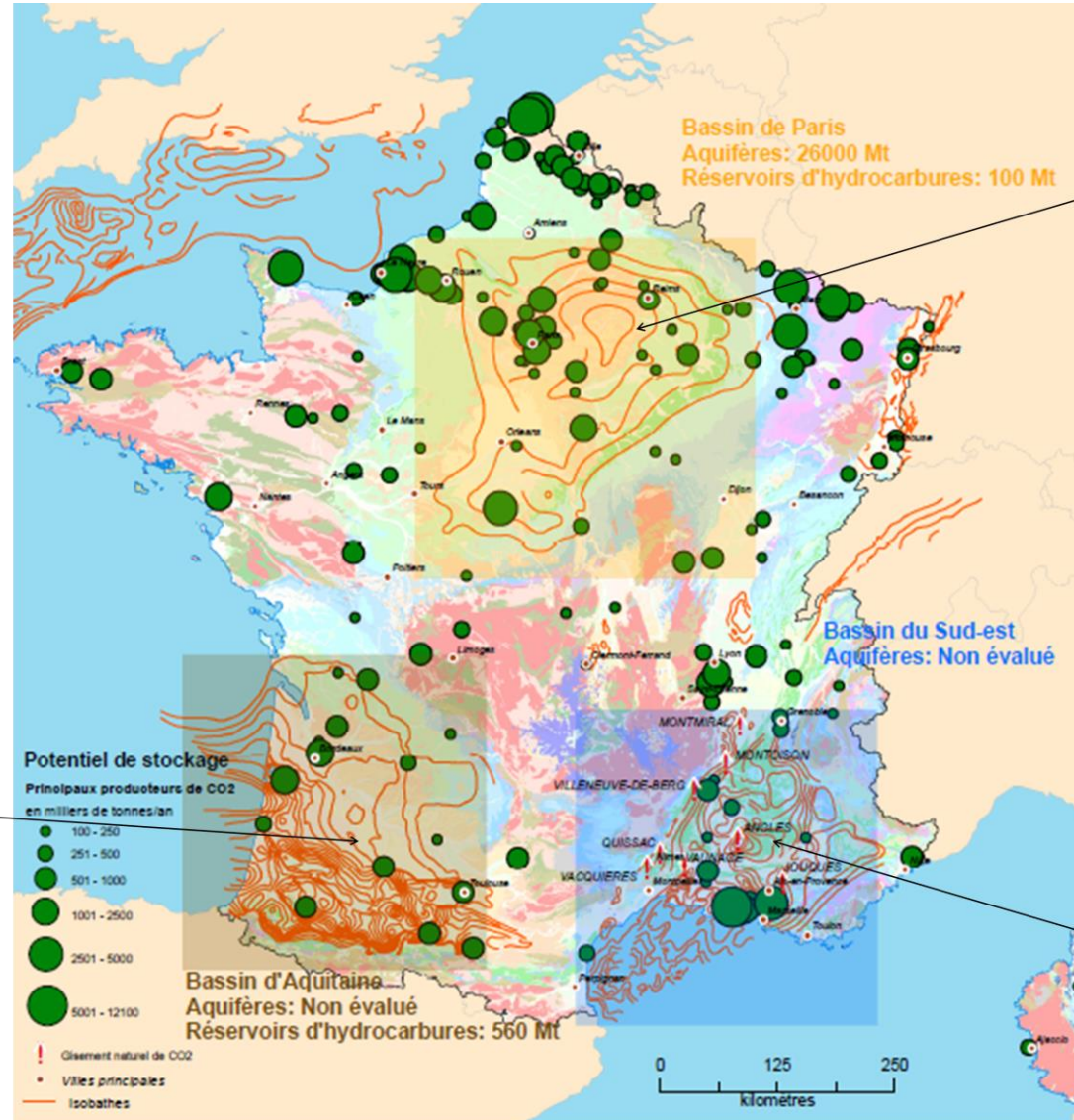
Dispositif Pi-CO₂ de séparation du CO₂ contenu dans les fumées captées. Dans les cas favorables où la teneur en CO₂ dans les fumées est très élevée (> 50%), le recours au système Pi-CO₂ n'est pas nécessaire et on peut injecter directement les fumées captées dans le réservoir via le puits d'injection.

Potentiel de développement du stockage géologique de CO₂ en France

3 options :

- ❖ **Stockages massifs sous la mer** (Mer du Nord...) (10 Mt/a) – CO₂ stocké sous forme “liquide”
- ❖ **Stockages moyens à terre** (1 Mt/a) – CO₂ stocké sous forme “liquide”
- ❖ **Petits stockages avec récupération de chaleur géothermique** (80-150 kt/a) – CO₂ stocké sous forme dissoute dans l'eau


Bassin Aquitain
Le pilote CSC de TOTAL à Lacq-Rousse a injecté 51 Kt de CO₂ into a depleted gas field and un champ de gaz épuisé à 4,5 km sous terre



Bassin Parisien
Plusieurs structures avec des capacités de stockage de 50-100 Mt CO₂ évaluées à partir de simulations dynamiques

Bassin du Sud-Est
a) Gisements naturels de CO₂
b) Une pré-étude de faisabilité CSCV réalisée pour la zone industrielle de Fos-Marseille

Conclusions

- Le Captage et Stockage de CO₂ est un **puits de carbone prometteur**, à mettre en œuvre **en parallèle** avec toutes les démarches de réduction des émissions de CO₂
- Freins pour le déploiement : essentiellement économiques et sociétaux
- **Recherche & Innovation** toujours encouragée pour améliorer les performances, réduire les coûts, imaginer des procédés de rupture 
 - Au niveau international - « **Mission Innovation** » lancée à la COP21 : **CCUS = un des 8 challenges ciblés (la France est membre)**
 - Au niveau européen – « **SET-Plan** » : **CCS & CCU = une des 10 actions clés (la France est membre)**
- Synergies possibles avec les **énergies renouvelables**
 - **Biomasse** (émissions négatives)
 - **Géothermie** (extraction de chaleur)
 - **Stockage d'énergie** – Power to Gas (transformation du CO₂ en hydrocarbures synthétiques avec de l'**hydrogène vert** produit par électrolyse de l'eau)
- Synergies possibles avec la production d'**hydrogène décarboné** (à partir de gaz naturel avec stockage du CO₂)
- Schémas de déploiement à concevoir et adapter **pour chaque territoire**, en concertation avec tous les acteurs
- Nécessité d'**intégrer le CSCV dans les plans climat-énergie territoriaux**

Extraits du Projet de Stratégie Nationale Bas Carbone, janvier 2020 :

Orientation I 2 : Engager dès aujourd'hui le développement et l'adoption de **technologies de rupture** pour réduire et si possible supprimer les émissions résiduelles :

dont « **Soutenir les développements d'unités pilotes et éventuellement commerciales en capture et stockage du carbone (CSC) et en capture et utilisation du carbone (CUC) avec l'utilisation du CO₂ comme matière première dans la fabrication de carburants ou de produits chimiques.** »



Le Club CO₂, l'équipe de France du Captage, Stockage et Utilisation du CO₂

- En 2002, 11 membres fondateurs
- En 2018, 28 membres



Les savoirs-faire sont là pour viser une mise en œuvre en France et des marchés à l'export