



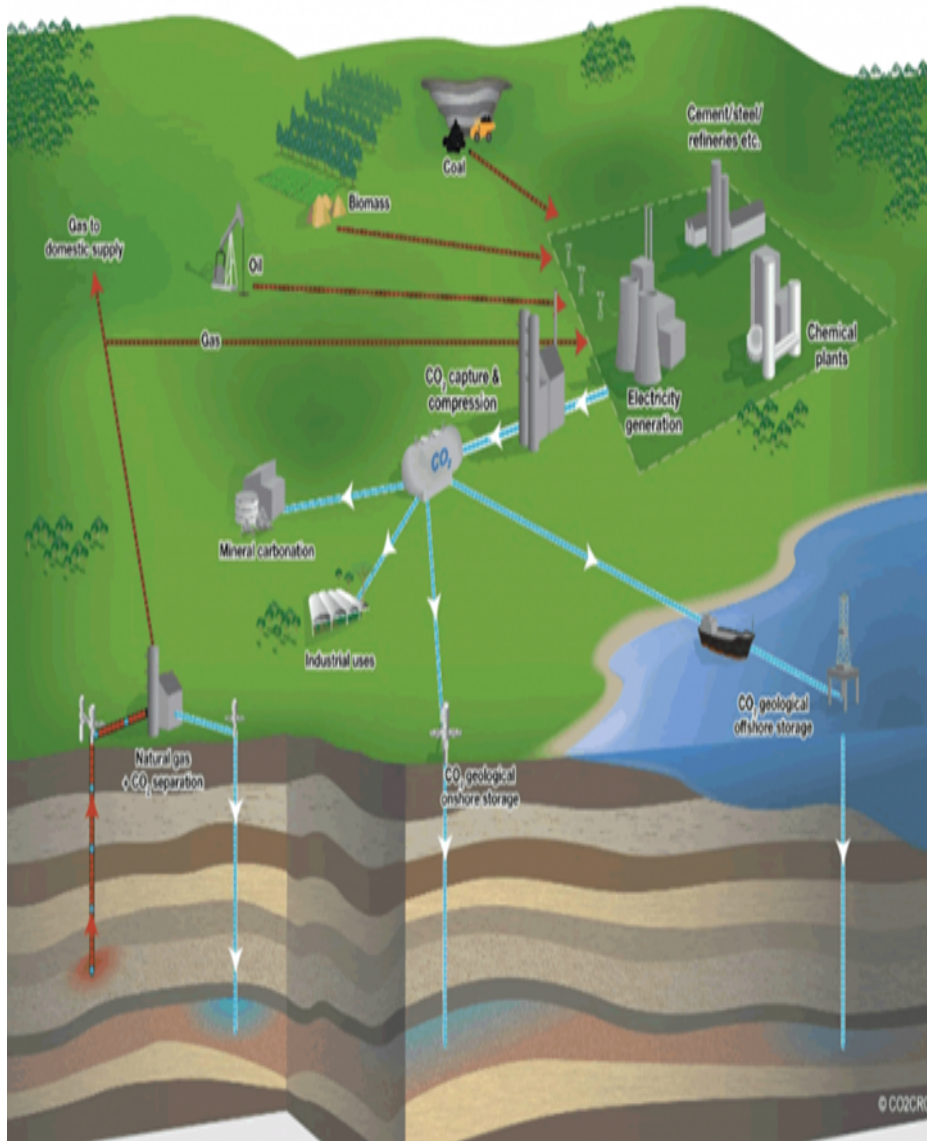
REGARDS SUR LE CSCV CAPTAGE, STOCKAGE DU CARBONE ET VALORISATION

Didier BONIJOLY
DIRECTEUR ADJOINT, BRGM
PRÉSIDENT DU CLUB CO₂



Géosciences pour une Terre durable

brgm



Plan de l'exposé

Le CSCV, une contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

- Contexte énergétique mondial
- Le captage et le stockage du CO₂ – une solution technique réaliste ?
- Le stockage géologique du CO₂ en France
- Conclusions et perspectives

<https://www.theguardian.com/environment/datablog/2017/jan/19/carbon-countdown-clock-how-much-of-the-worlds-carbon-budget-have-we-spent>

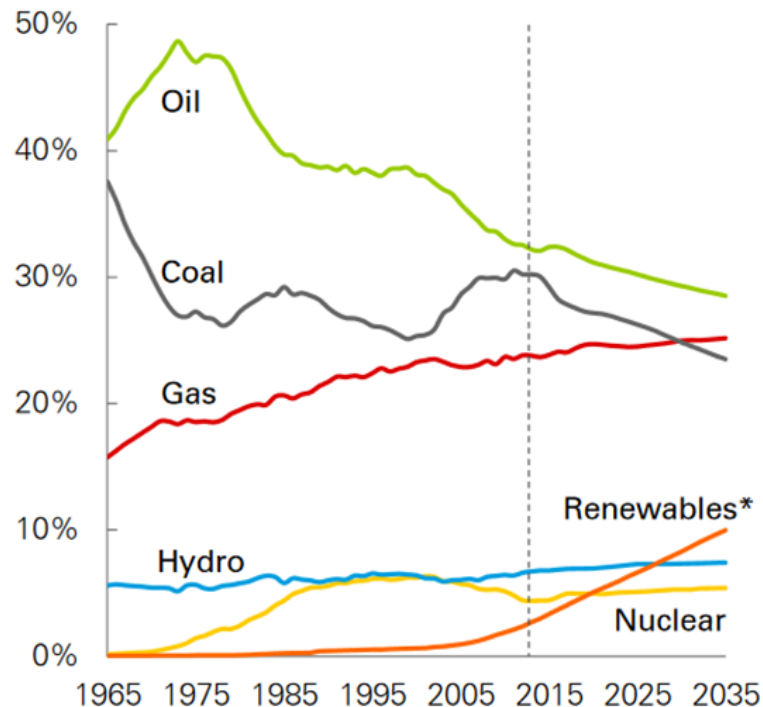
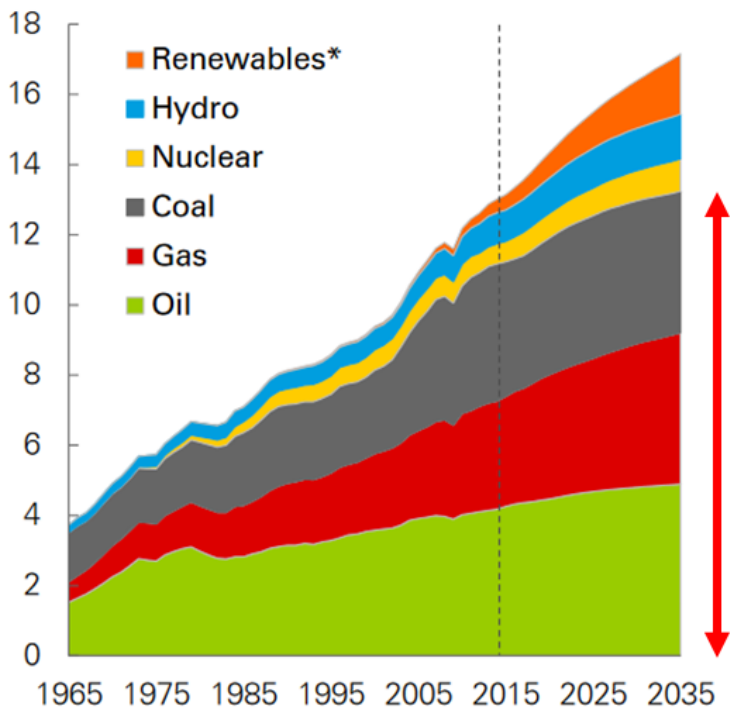
Contexte énergétique

Evolution de la demande énergétique dans le monde

Primary energy consumption by fuel

Shares of primary energy

Billion toe

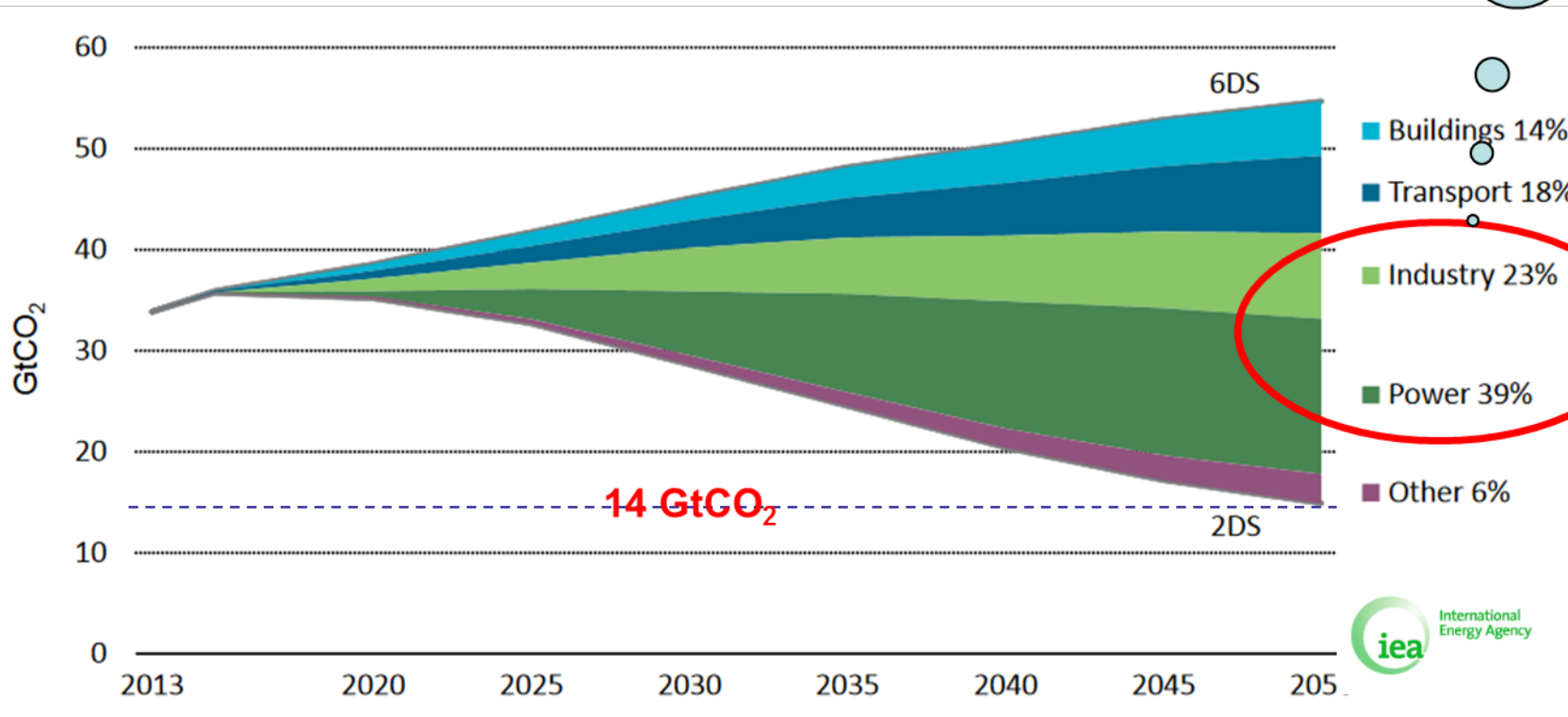


- Impossibilité de se passer des énergies fossiles à court terme
- Décroissance de l'intérêt pour le charbon

Scénario Blue : rester sous les 2°C

Division par 2 des émissions de 2005 (cf. IPPC)

62%



Energy Technology Perspective, 2016, IEA

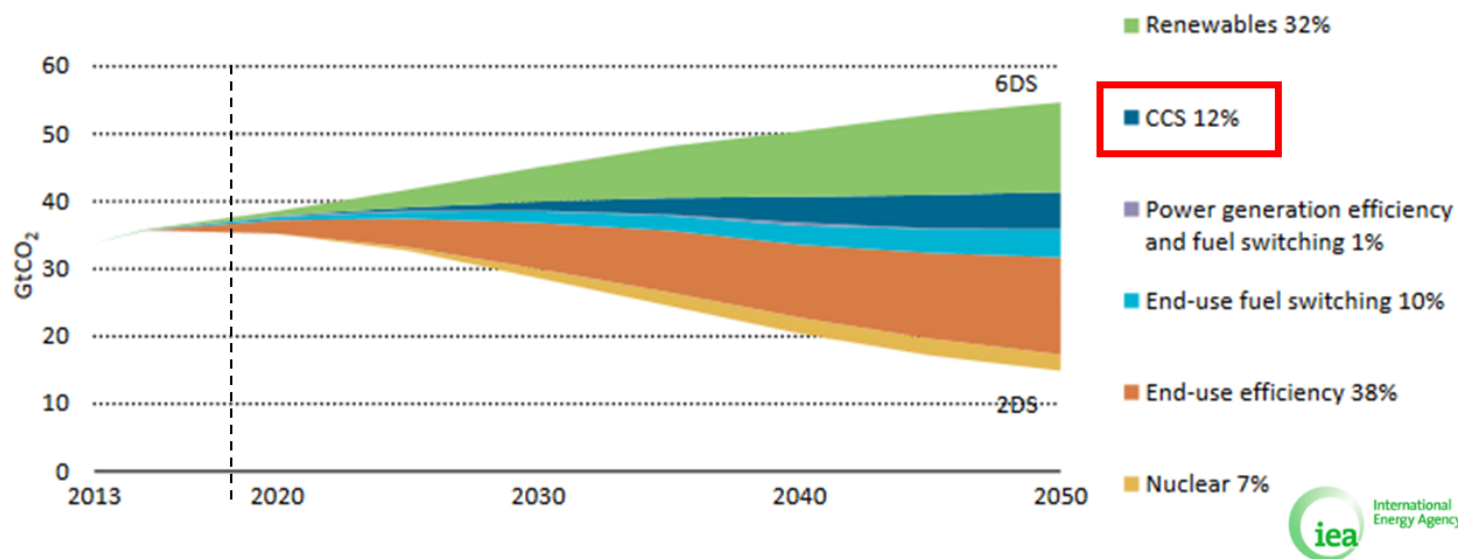
- Option compatible avec une concentration de 450 ppm dans l'atmosphère
- Maintien de l'augmentation de t° entre 2 et 2,4°C

Les objectifs de la technologie du CSCV

Contributions des réductions par solutions technologiques

- Maintenir l'augmentation de la température sous les 2°, c'est capter et stocker **94Gt_{CO2} de 2013 à 2050 !**
- Respecter cet objectif nécessite de mettre toutes les solutions bas-carbone en œuvre dont le CSCV

Figure 2.1 • CCS is a key contributor to global emissions reductions¹⁵

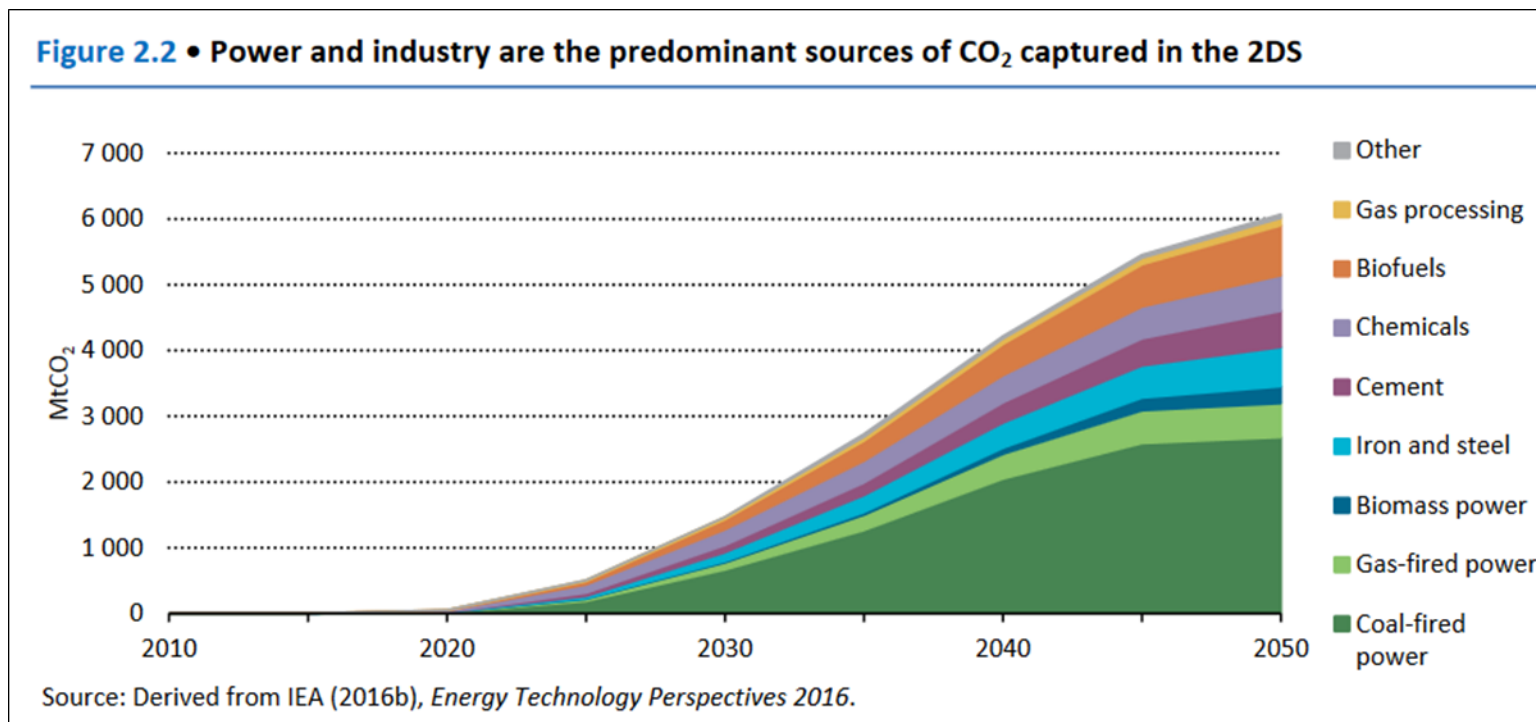


- CSCV apparaît comme une des solutions nécessaires qui permet une réelle action immédiate en terme de réduction des GES

Les objectifs de la technologie du CSCV

Contributions des réductions par solutions technologiques

- Objectifs pour le CSCV : **de 40 Mt_{CO2}/an aujourd'hui à 6 Gt_{CO2}/an en 2050 !**
- Le CSCV ne concerne pas uniquement les centrales thermiques (charbon et gaz)
- Tous les secteurs industriels à forte intensité carbone sont concernés
 - En 2010, le secteur industriel européen représentait 25% des émissions de CO₂ (900 MtCO₂) dont la moitié environ provenait des secteurs de l'acier, du ciment et du raffinage





Tomakomai CCS demonstration
Center Japan CCS Co., Ltd. (JCCS)

Le captage et le stockage du CO₂ – une solution technique réaliste ?

Trois questions

OU : près des sources majeures de CO₂

- mais la question principale est de savoir où sont les réels potentiels de stockage capables de stocker les volumes en jeu

QUAND : dès que possible

- au regard des scénarios « Business as usual », c'est maintenant une question urgente

COMMENT :

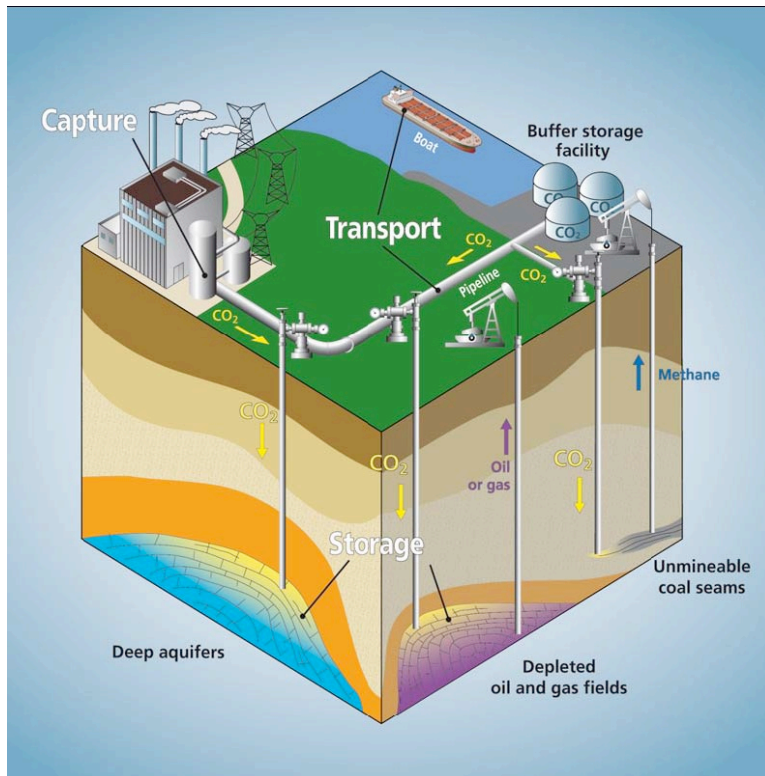
- pilotes industriels
- réglementation adaptée
- incitations économiques
- faibles coûts
- adhésion du public

Captage, transport et stockage géologique du CO₂

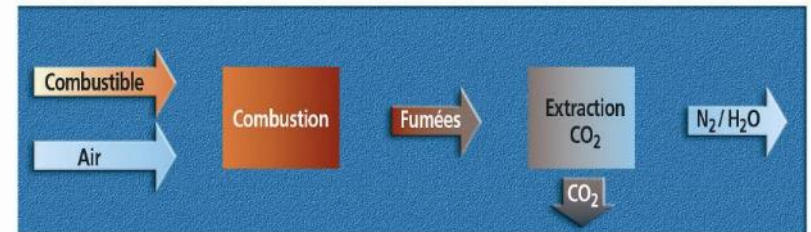
- 3 étapes:

- Captage
- Transport
- Stockage géologique

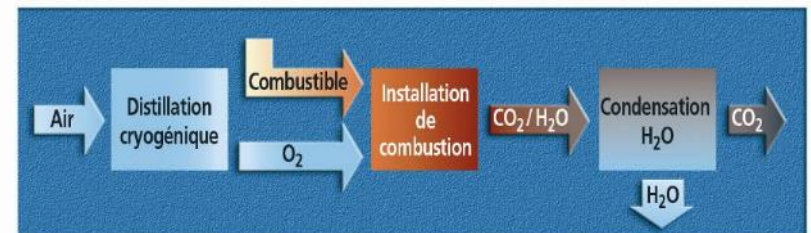
> 3 options de captage



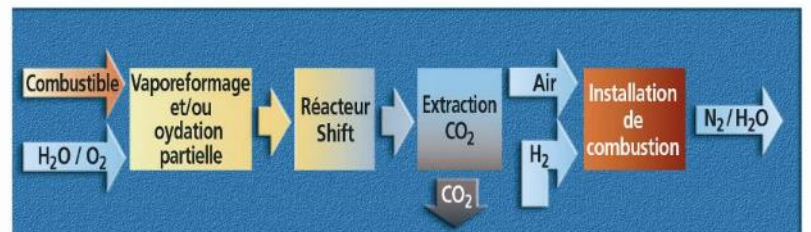
Le captage post-combustion



L'oxy-combustion

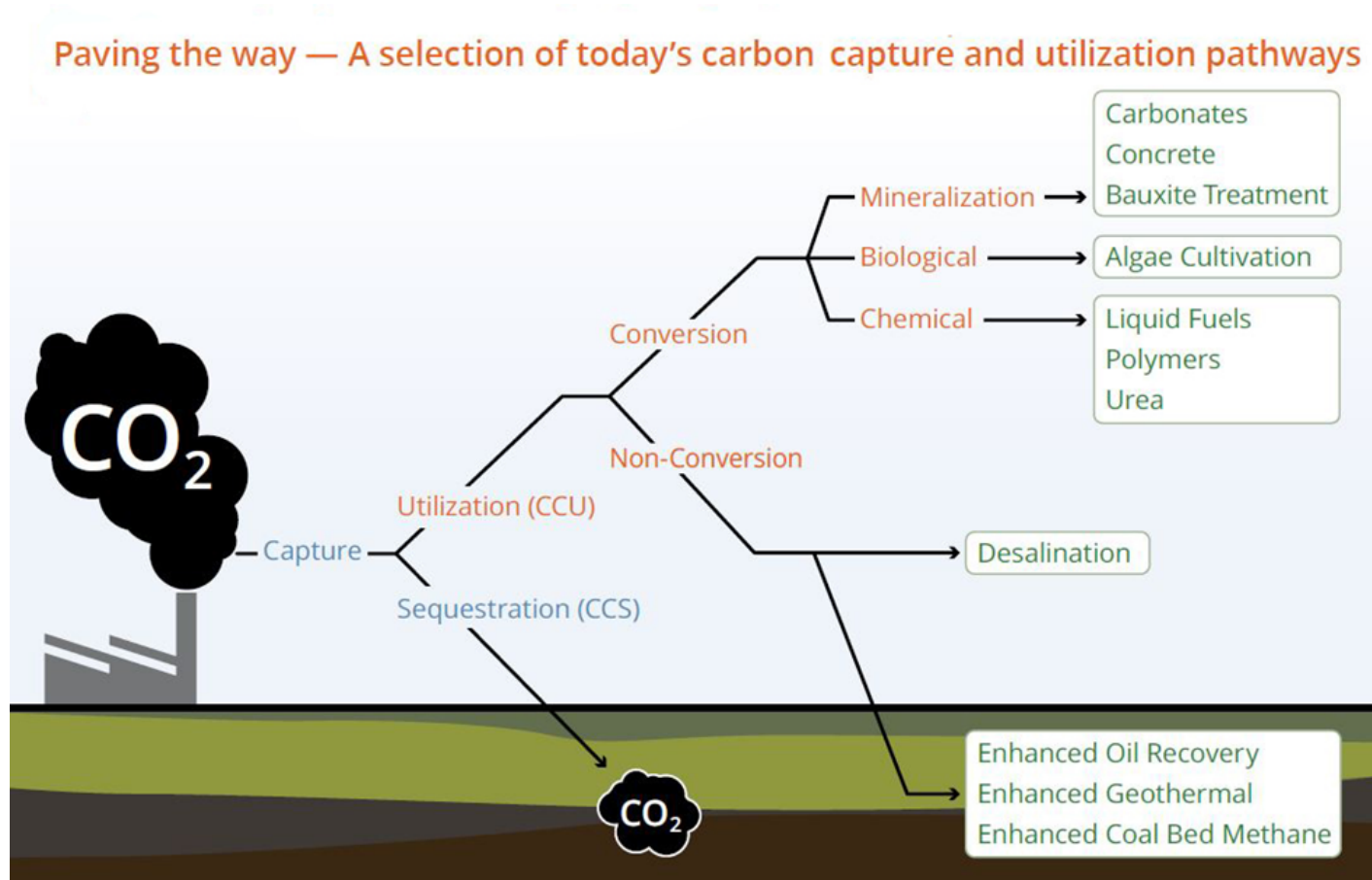


Le captage pré-combustion



La valorisation du CO₂

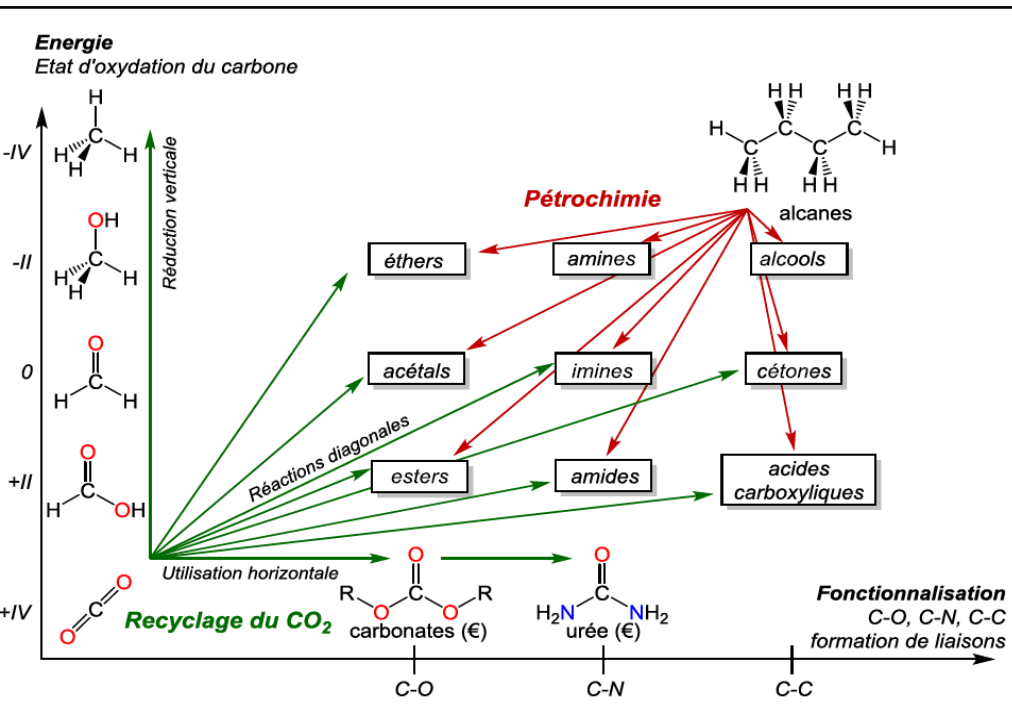
- Les différentes voies d'utilisation du CO₂



La valorisation du CO₂

(d'après David Savary, Solvay, pour le CSLF)

Les différentes technologies d'utilisation du CO₂



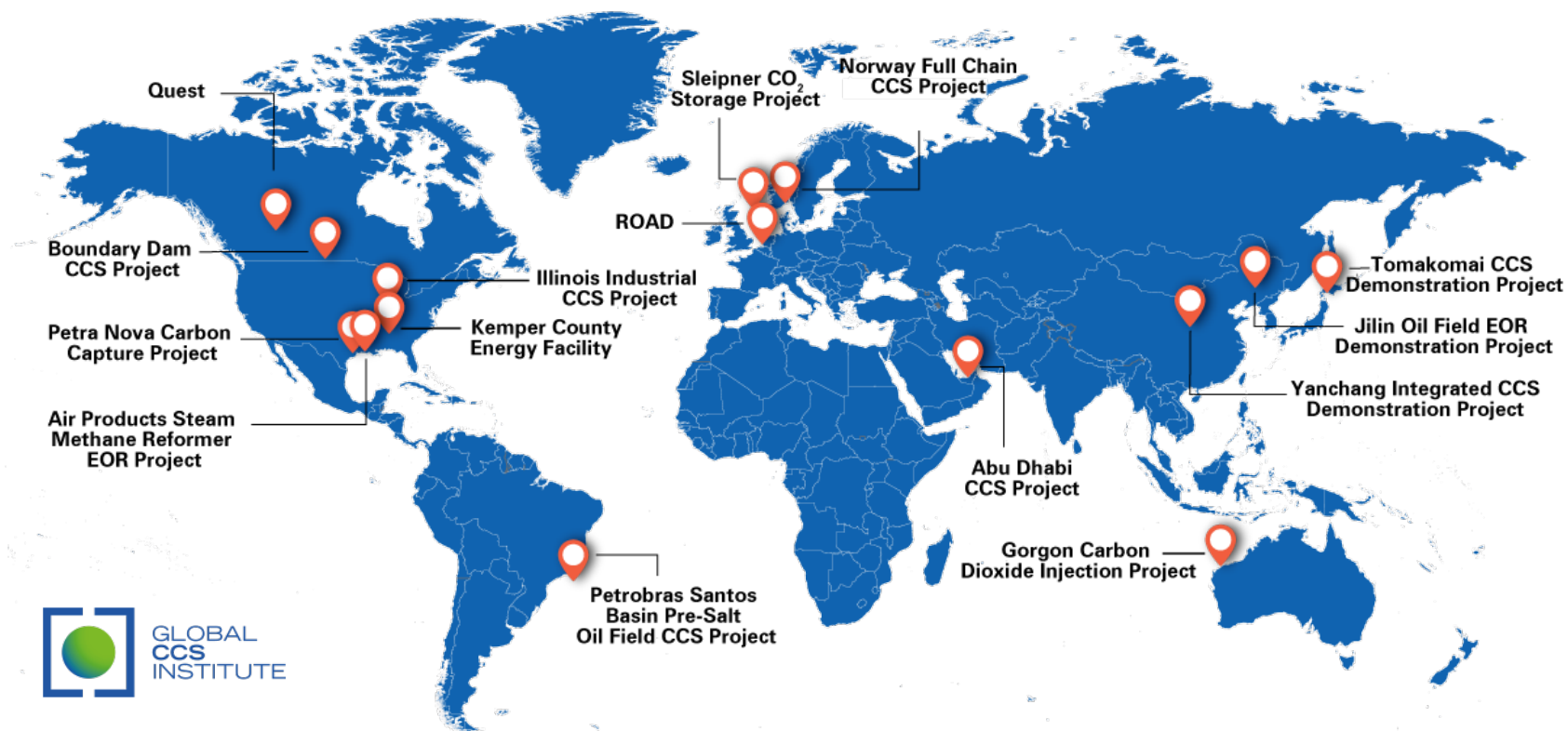
Processus

- **Voies physiques d'utilisation du CO₂ :**
 - EOR, EGR, CO₂-Fractures pour la récupération des hydrocarbures,
 - Géothermie assistée par CO₂ (voir "Groupe de travail sur les options d'utilisation pour le CO₂: rapport de la phase 2")
- **Voies chimiques d'utilisation de CO₂ :**
 - Réduction de C,
 - La fonctionnalisation,
 - Réduction du mélange / fonctionnalisation («approche diagonale») avec des catalyseurs
- **Voies biologiques d'utilisation du CO₂**
 - utilisation d'organismes pour convertir le CO₂ en produits chimiques (microalgues, bactéries, ...)

Captage, transport et stockage géologique du CO₂

Le CSCV, une réalité ?

40 Mt_{CO2} sont actuellement captés, transportés et stockés dans le sous-sol



Captage, transport et stockage géologique du CO₂

- Quelques exemples :
 - Unité de traitement du CO₂ émis par une usine sidérurgique aux Emirats Arabes Unis : 800,000 t_{CO2}/an
 - Le seul projet 100% commercial



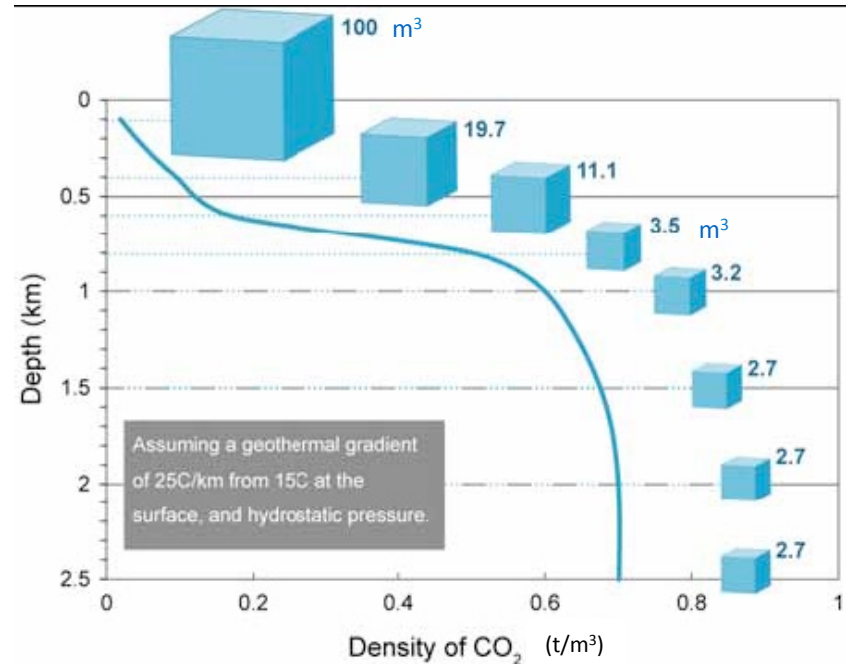
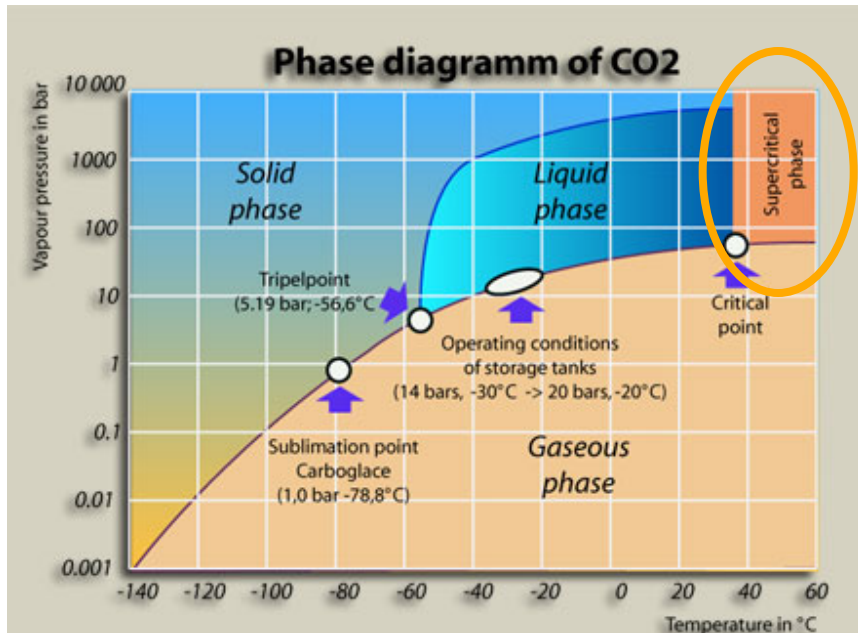
Nov-2016: Al Reyadah délivre la 1^{ière} tonne de CO₂ à la compagnie ADNOC

Captage, transport et stockage géologique du CO₂

- Quelques exemples :
 - PETRA NOVA (Texas) : un projet de 1 milliard de US\$ dont 190 kUS\$ d'aide
 - ✓ Le CO₂ est transporté à 130 km pour améliorer la récupération de pétrole (EOR)
 - ✓ Mise en opération : janvier 2017
 - ✓ Capacité : 1,6 MtCO₂/an



Captage, transport et stockage géologique du CO₂

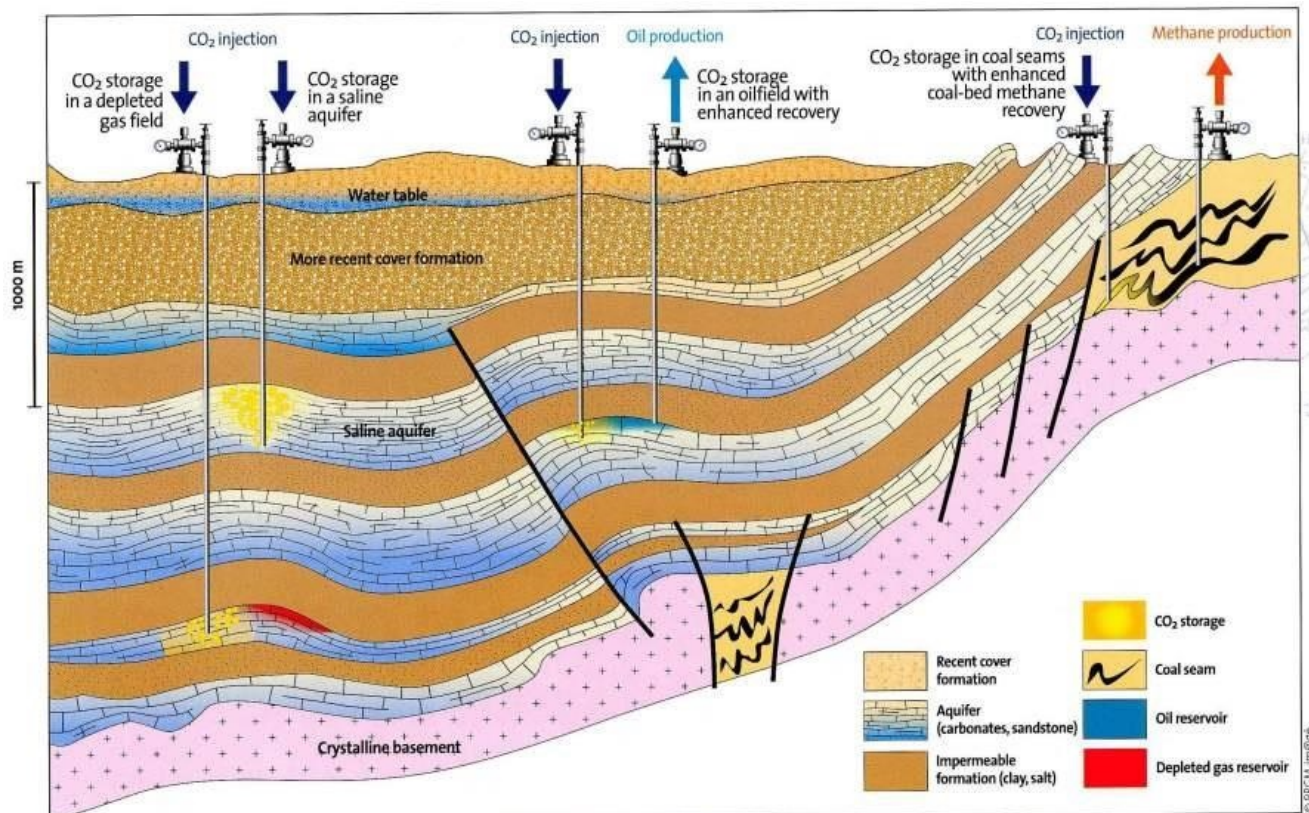


- Température critique : 31 °C
- Pression critique : 73,83 bar
- Gradient de température moyen : 25°C / km
- Gradient de pression hydrostatique moyen : 100 bar / km
- Profondeur moyenne au delà laquelle le CO₂ est à l'état supercritique : ~ 800 m

Le CO₂ à l'état supercritique occupe moins de place qu'à l'état gazeux et est moins enclin à migrer vers le haut car sa densité est à peine inférieure à celle de l'eau du réservoir.

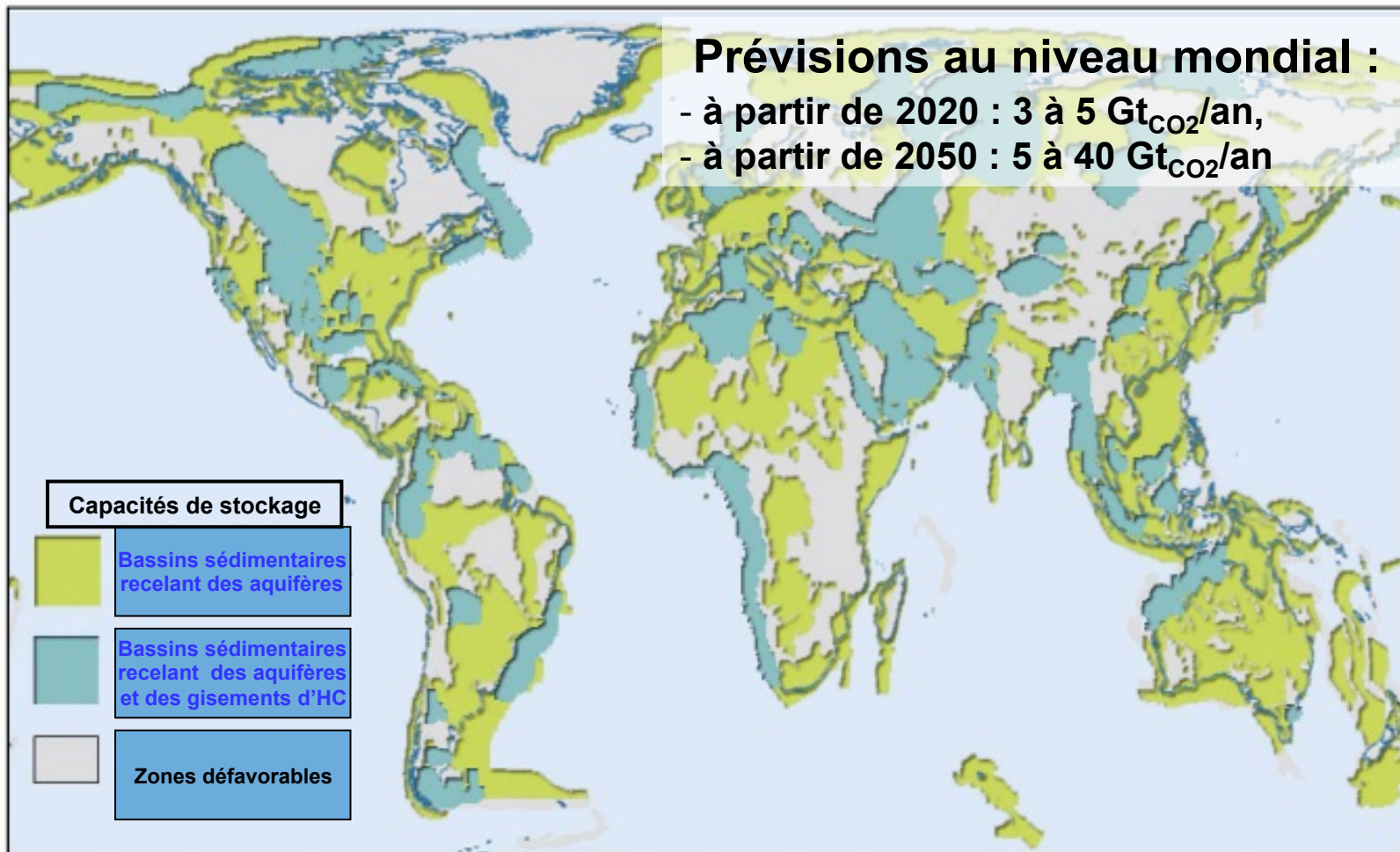
➔ **augmentation de la capacité et de la sécurité du stockage**

Les principales options de stockage



- Questions cruciales pour le stockage de CO₂
 - Où peut-on stocker le CO₂ en quantités suffisantes ?
 - Le stockage présente-t-il les **garanties de sécurité** nécessaires pendant des durées adéquates ?

Les capacités de stockage

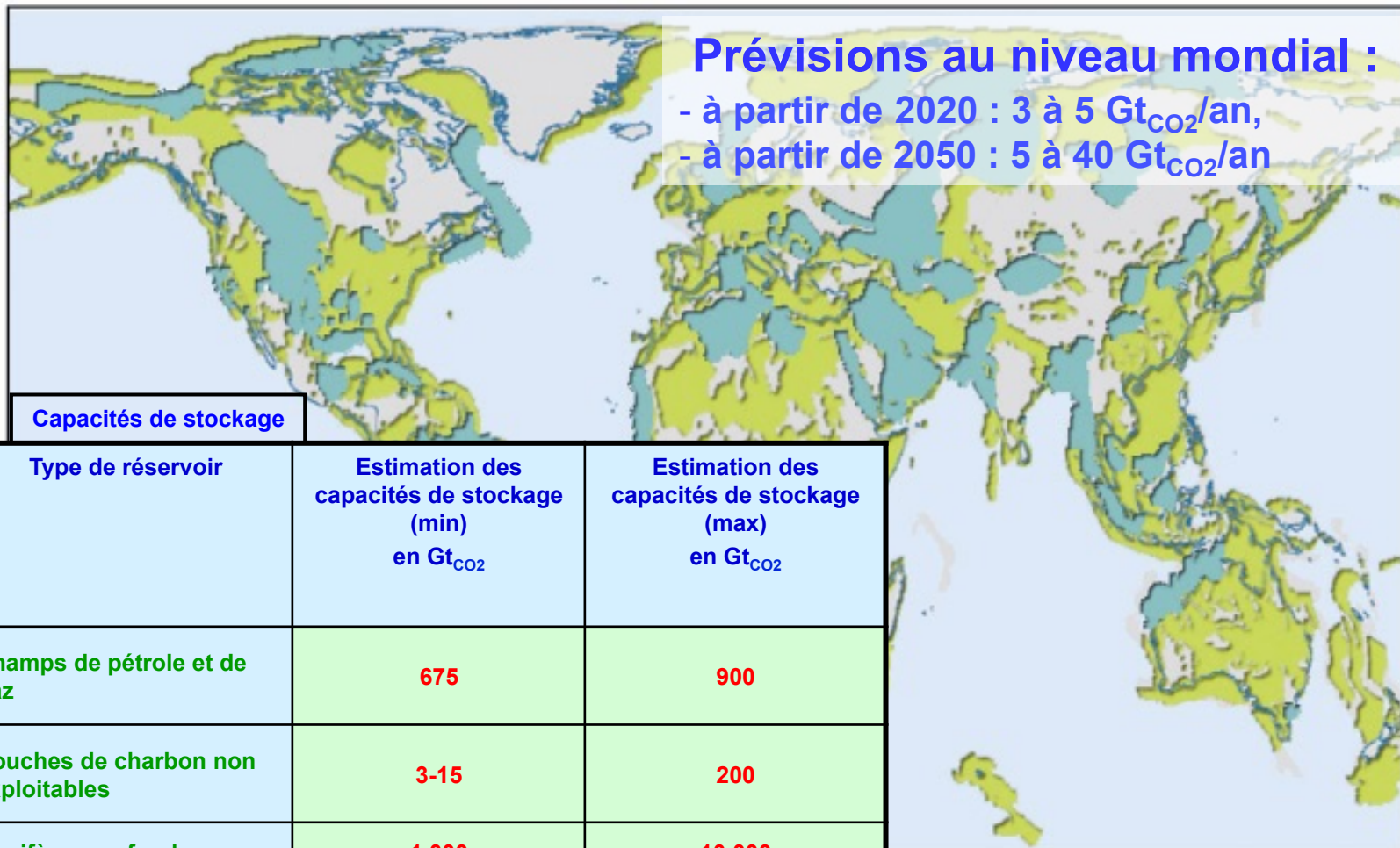


HC = hydrocarbures

D'après rapport GIEC 2005

BRGM - IPCC

Les capacités de stockage



Prévisions au niveau mondial :
 - à partir de 2020 : 3 à 5 Gt_{CO2}/an,
 - à partir de 2050 : 5 à 40 Gt_{CO2}/an

Capacités de stockage

Type de réservoir	Estimation des capacités de stockage (min) en Gt _{CO2}	Estimation des capacités de stockage (max) en Gt _{CO2}
Champs de pétrole et de gaz	675	900
Couches de charbon non exploitables	3-15	200
Aquifères profonds	1.000	10.000

BRGM - IPCC

D'après rapport GIEC 2005

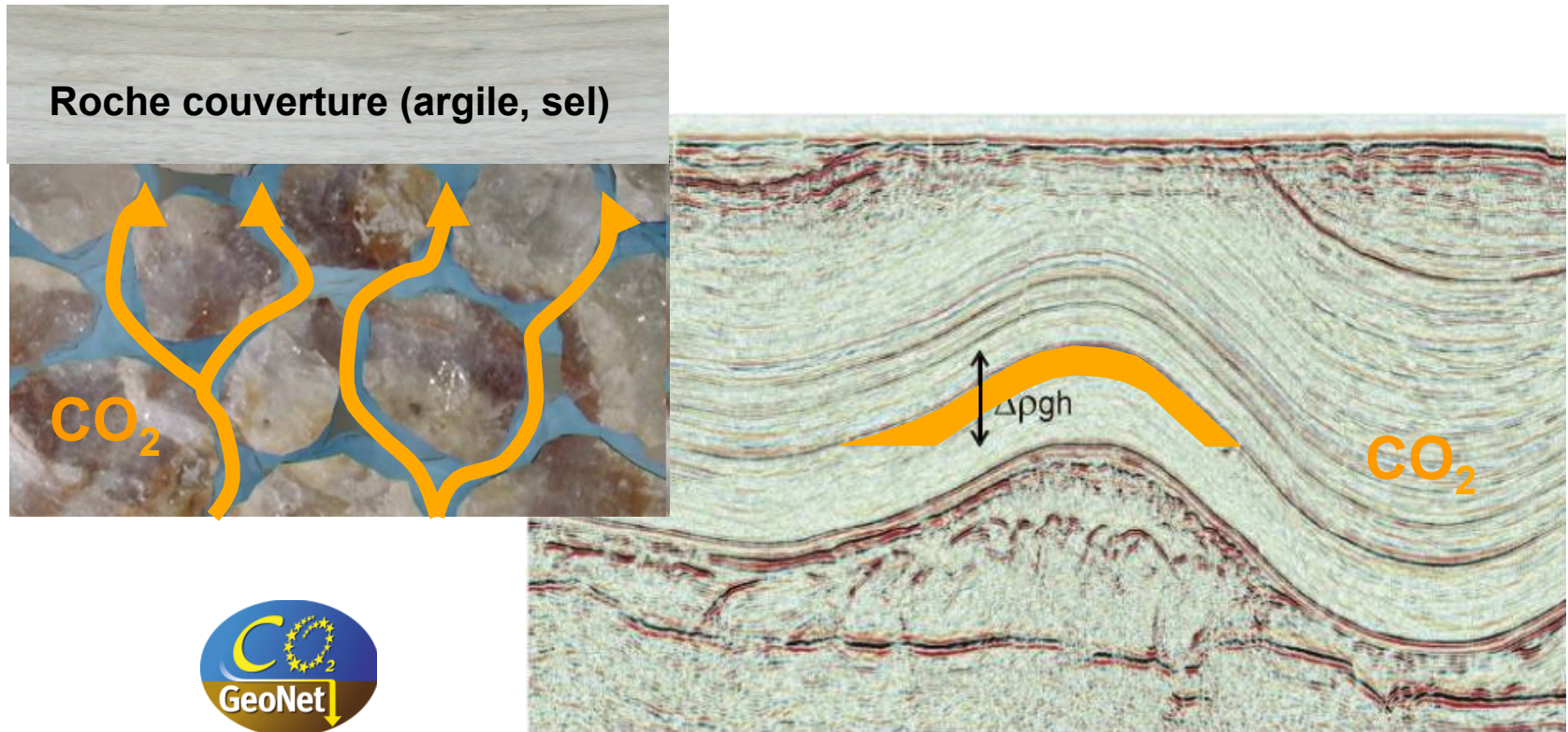
HC = hydrocarbures

Les réservoirs : des roches réservoirs poreuses et perméables



Le principe du stockage de CO₂

- Remontée rapide du CO₂ dense vers le toit du réservoir
 - piégeage par la couche imperméable sus-jacente



Le principe du stockage de CO₂

- Dissolution progressive du CO₂ dans l'eau salée du réservoir



CO₂ supercritique

Le principe du stockage de CO₂

- Dissolution progressive du CO₂ dans l'eau salée du réservoir



CO₂ supercritique

Le principe du stockage de CO₂

- Dissolution progressive du CO₂ dans l'eau salée du réservoir



CO₂ supercritique

Le principe du stockage de CO₂

- Dissolution progressive du CO₂ dans l'eau salée du réservoir



CO₂ supercritique

Le principe du stockage de CO₂

- Dissolution progressive du CO₂ dans l'eau salée du réservoir



CO₂ supercritique

Le principe du stockage de CO₂

- Dissolution progressive du CO₂ dans l'eau salée du réservoir



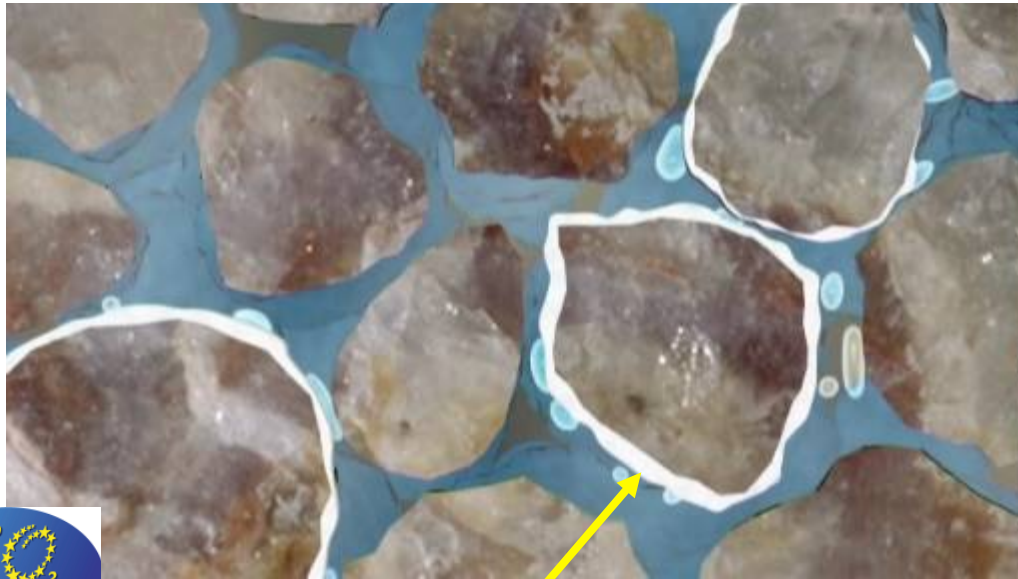
Le principe du stockage de CO₂

- Dissolution progressive du CO₂ dans l'eau salée du réservoir



Le principe du stockage de CO₂

- Dissolution progressive du CO₂ dans l'eau salée du réservoir



**Formation d'un minéral carbonaté (calcite
CaCO₃, etc.)**

Le principe du stockage de CO₂

- Dissolution progressive du CO₂ dans l'eau salée du réservoir



**Formation d'un minéral carbonaté (calcite
CaCO₃, etc.)**

Mais le CSCV a un coût

CCS pour l'industrie

- Les coûts du CO₂ évité (sans transport et stockage) décroissent régulièrement mais restent encore très élevés
 - Effet d'échelle
 - Courbe d'apprentissage
- Il faut rajouter le prix du transport et du stockage soit environ 20€/t_{CO2}

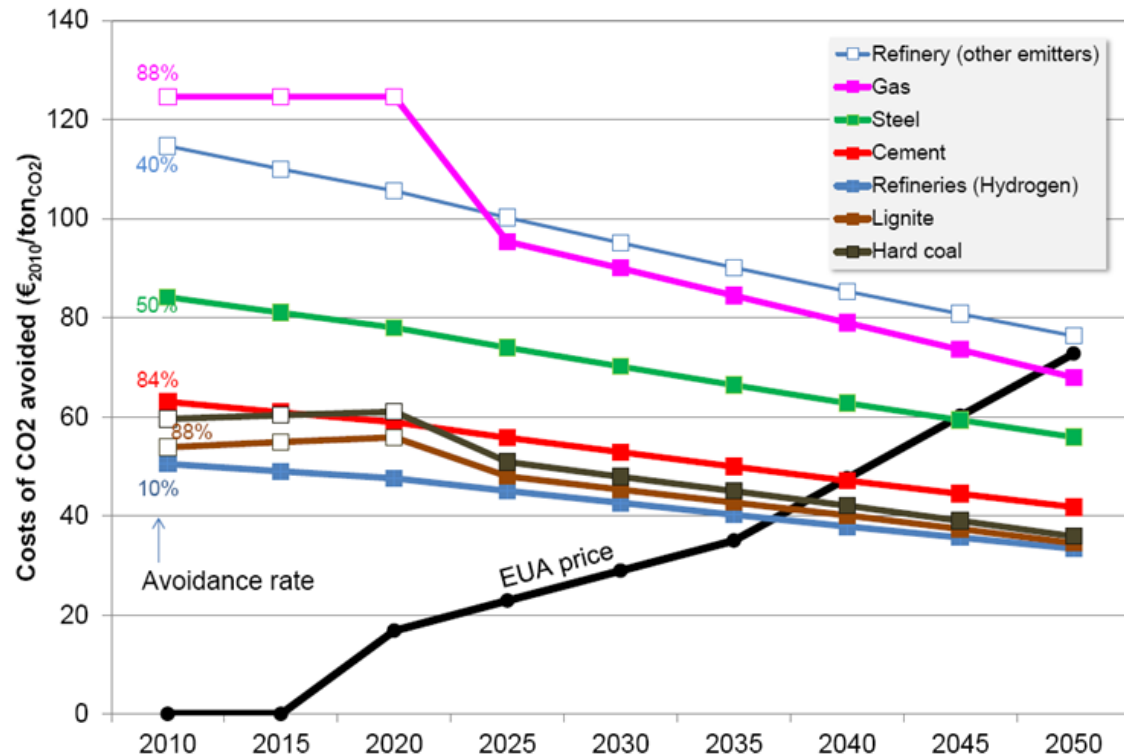


Figure 6: CO₂ emission price and CO₂ avoidance costs (Source: ZEP)

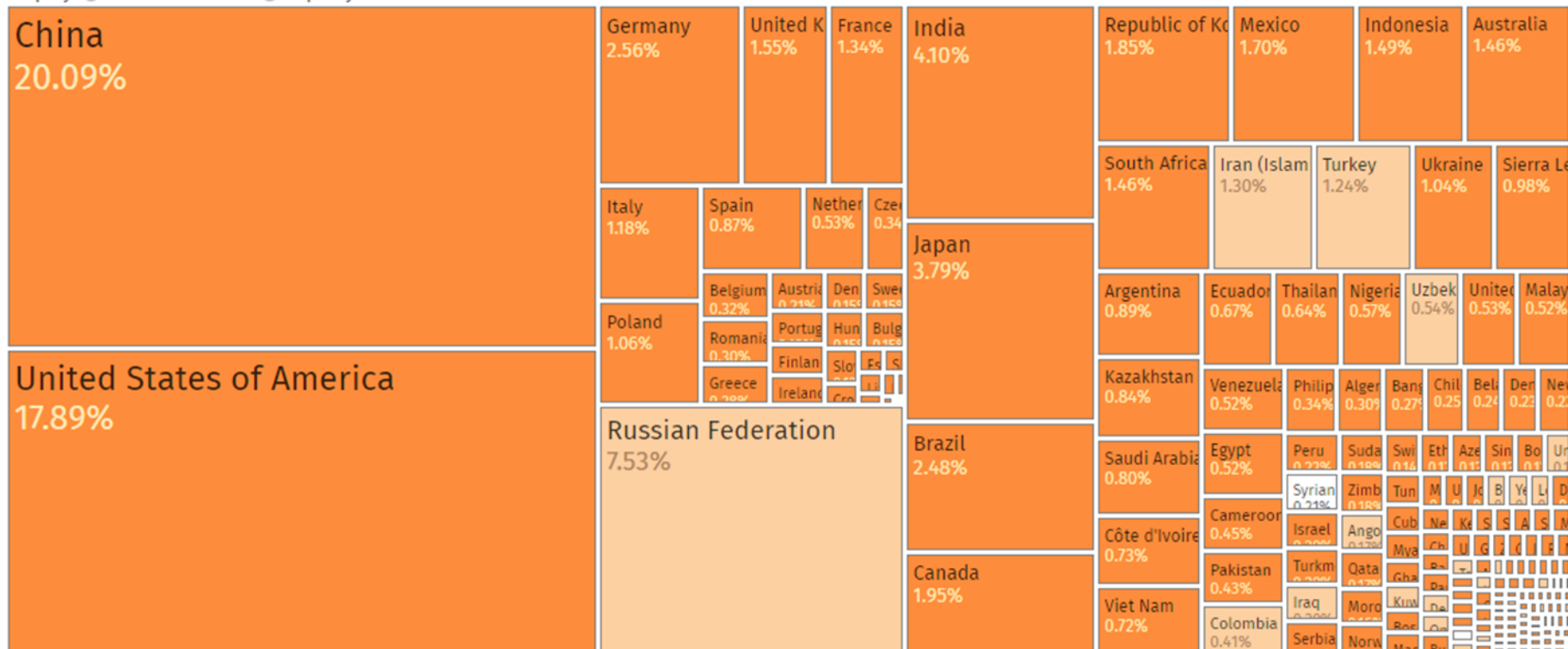
Sommes nous concernés

Ratified: **168 parties / 87.64%**

Signed: **195 parties**

Unsigned: **2 parties**

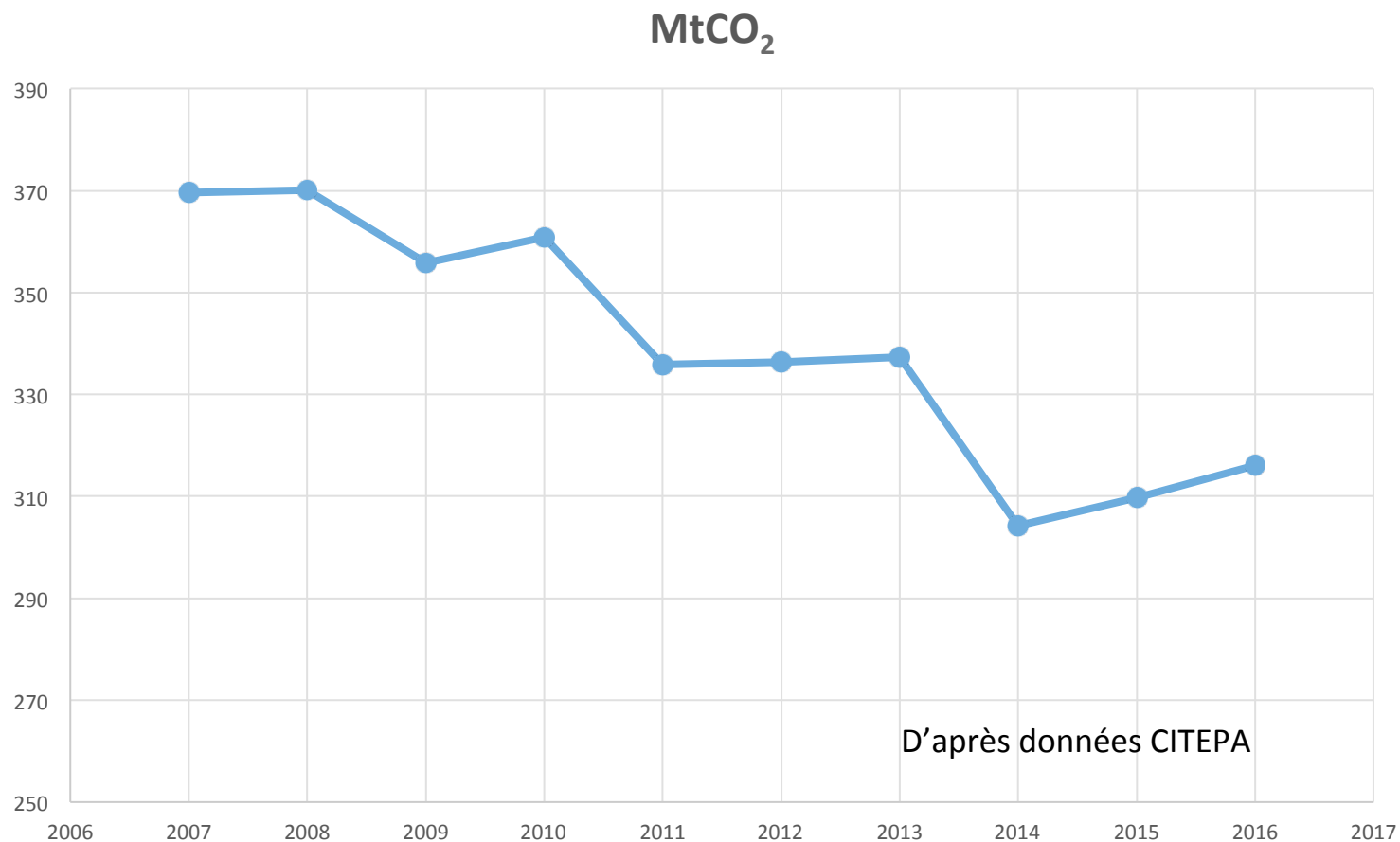
Display: Emissions Share Equally sized



(Source: [PIK-Potsdam](#), mise à jour 6 oct. 2017)

Sommes nous concernés

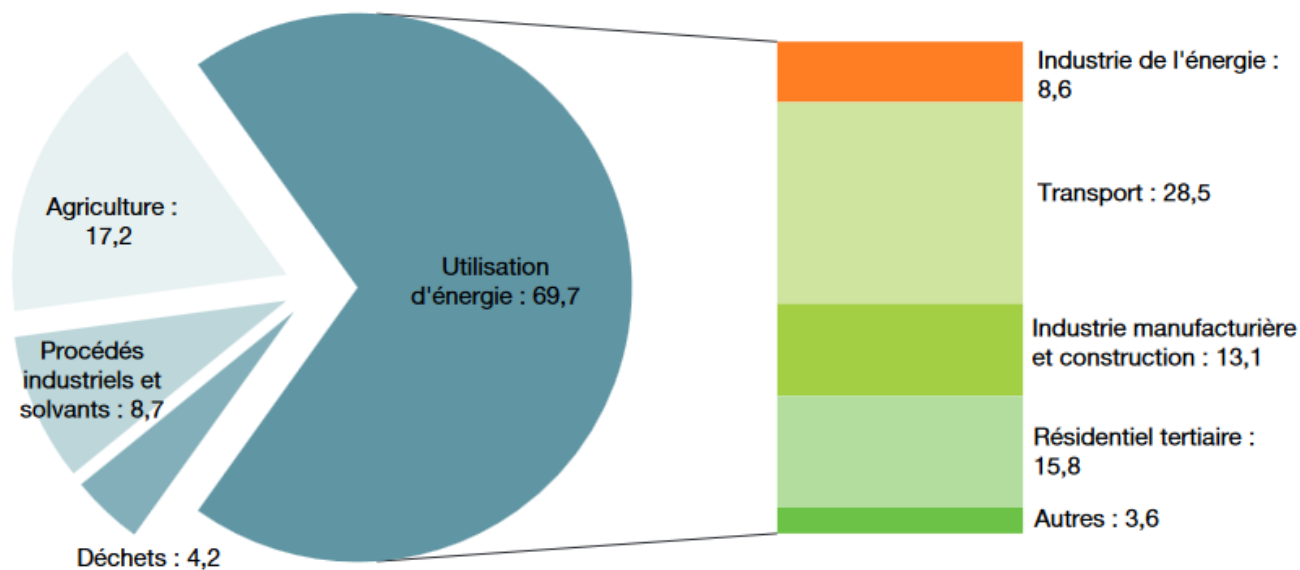
- Les émissions de CO₂ en France en 2016



Sommes nous concernés

RÉPARTITION PAR SOURCE DES ÉMISSIONS DE GES (HORS UTCF) EN FRANCE EN 2014

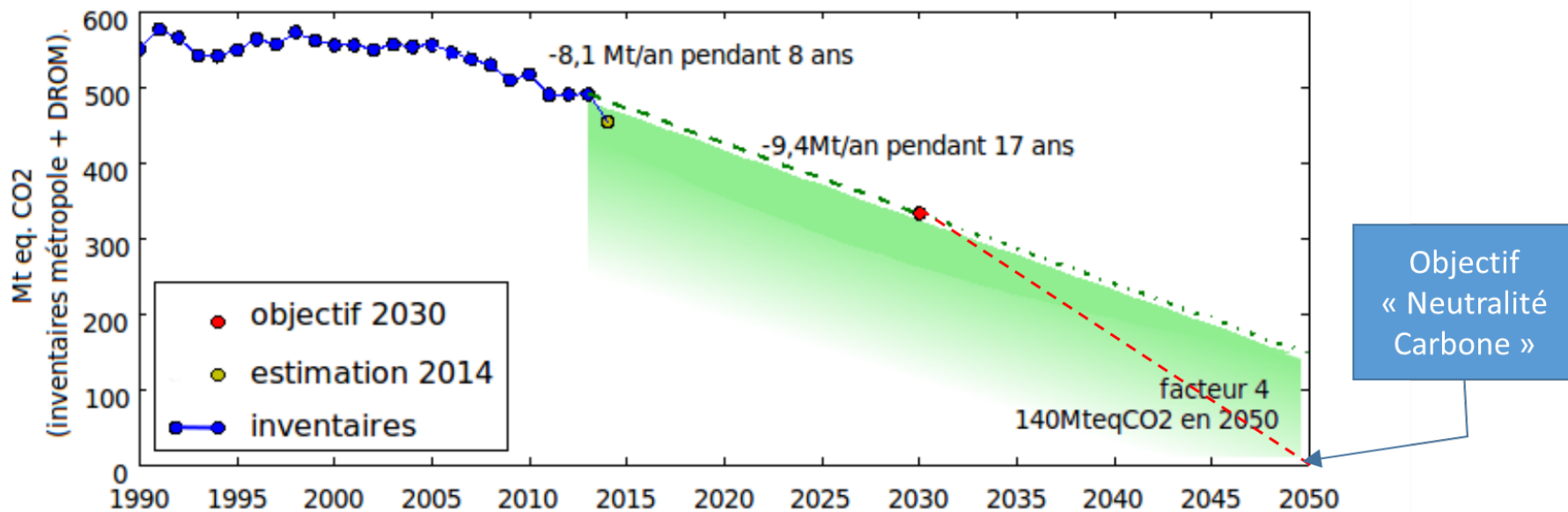
En %



Source : Citepa, juin 2016

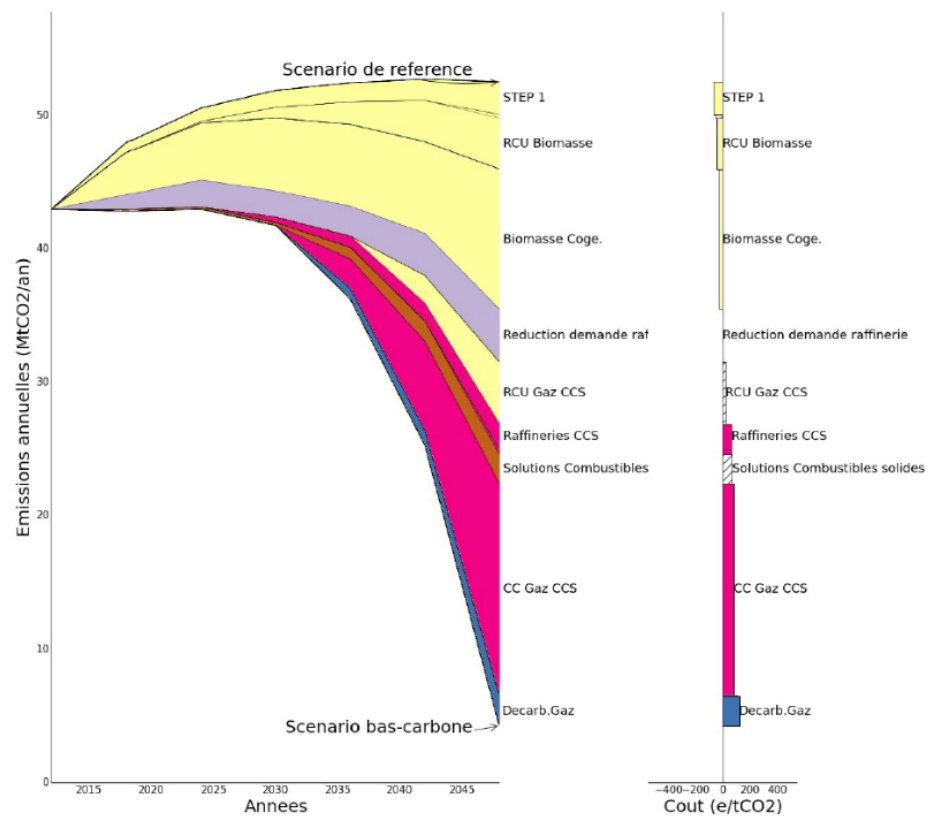
Sommes nous concernés

- Les objectifs de réduction en France



Sommes nous concernés

Figure 3 : Courbe dynamique de coûts d'abattement moyens avec un objectif de long terme - Énergie



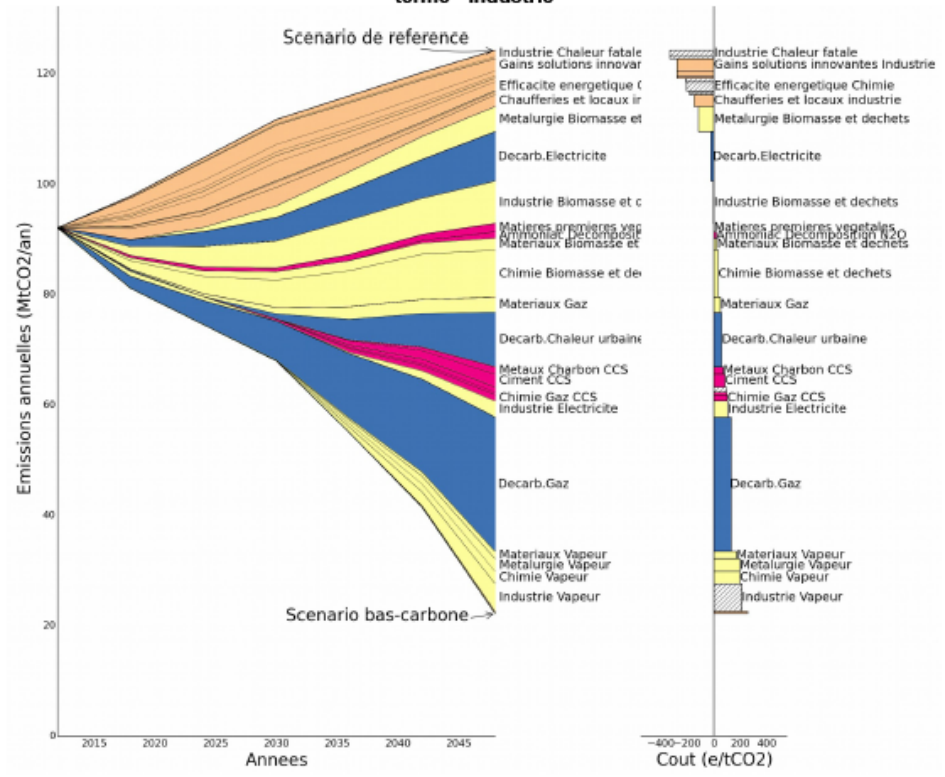
Les objectifs fixés par la SNBC :
diviser par 4 les émissions (ref. 1990)

- Un scénario : trajectoires de transitions bas carbone au moindre coût (nov. 2016, MEEM)
 - Forte contribution du secteur de l'énergie :
 - ✓ 15,8 Mt_{CO2} pour les NGCC
 - ✓ 4,6 Mt_{CO2} pour les RCU
 - ✓ 1,9 Mt_{CO2} pour les raffineries
 - Déploiement du CCS à partir de 2025
- Réduction de 149 Mt_{CO2} entre 2012 et 2050
 - 22,7 Mt_{CO2} en 2050

Sommes nous concernés

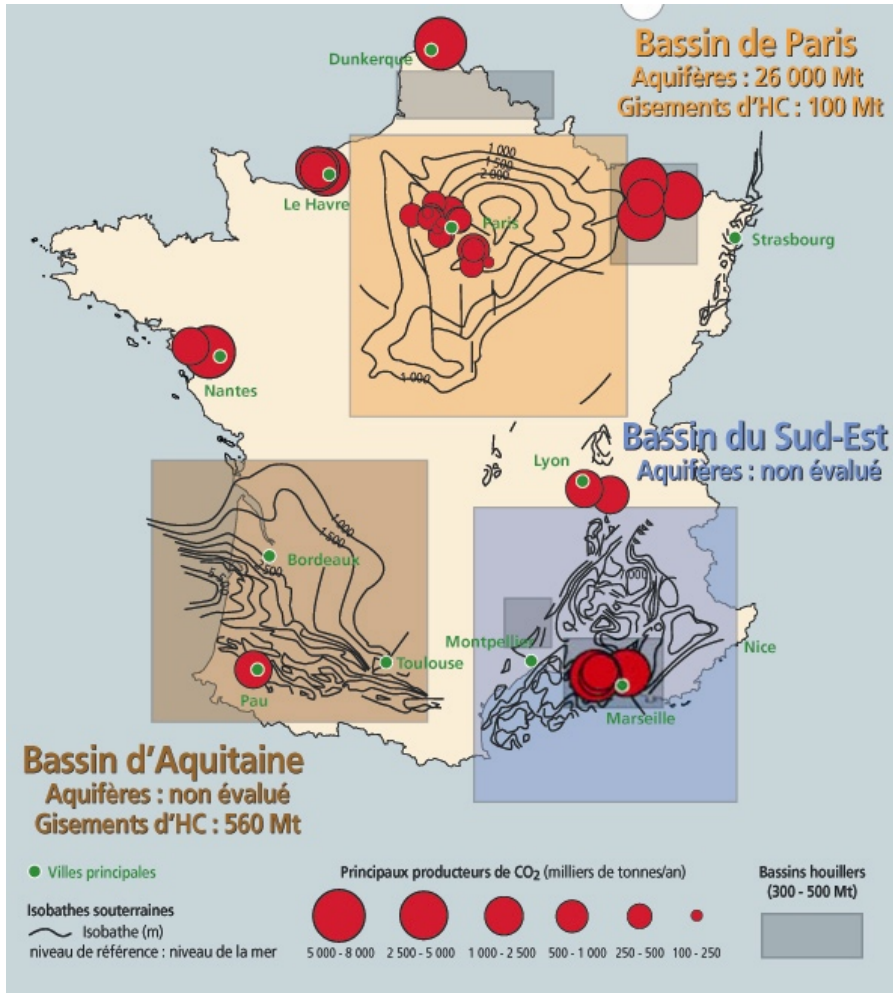
Les objectifs fixés par la SNBC :
diviser par 4 les émissions (ref. 1990)

Figure 14 : Courbe dynamique de coûts d'abattement moyens avec un objectif de long terme - Industrie



- Un scénario : trajectoires de transitions bas carbone au moindre coût (nov. 2016, MEEM)
 - Faible contribution du secteur manufacturier
 - ✓ 2,3 Mt_{CO2} pour le ciment
 - ✓ 1,4 Mt_{CO2} pour la sidérurgie charbon
 - ✓ 1,1 Mt_{CO2} pour la chimie
 - Déploiement du CCS à partir de 2025
- Réduction de 60 Mt_{CO2} entre 2012 et 2050
 - 6 Mt_{CO2} en 2050

Où stocker en France ?



- Au niveau français (SNBC)
 - entre 2025 et 2050 : 210 Mt_{CO2}
 - capacité recherchée: 1 à 2 Gt_{CO2}
 - soit 30 Mt/an à partir de 2050
- Emissions de sources fixes:
 - Aciéries,
 - Raffineries,
 - Cimenteries,
 - Centrales thermiques,
 - etc.

Perspectives pour le CCUS en France

Généralités

- Le CCS ne concerne pas que le secteur de l'énergie (charbon et gaz) mais tous les secteurs industriels à forte intensité carbone
- 450 Mt_{CO2}/an sont concernés en Europe
- Entre 30 et 40 Mt_{CO2}/an devront être captés et stockés en France à partir de 2050
 - respectivement « trajectoires de transition bas carbone au moindre cout » nov. 2016, MEEM
 - scénario SOB de l'ANCRE http://scenarios.allianceenergie.fr/?app=ancre&ID_View=scenario-descriptor



Tomakomai CCS demonstration
Center Japan CCS Co., Ltd. (JCCS)

Perspectives pour le CCUS en France

Mais les verrous pour un déploiement de la filière du CCUS sont nombreux

- Ils concernent en premier lieu d'adhésion du public
 - Refus des populations principalement en Europe (Pays-Bas, Allemagne, France...)
 - Manque d'information sur le sujet (en général on parle du problème pas des solutions)
 - Manque de crédibilité (l'absence de financement y contribue peut-être)
 - Manque de responsabilité du citoyen (dépend du pays / de la culture)
- Et il reste également des défis technologiques à relever (cf. ANCRE)
 - Développement de procédés de captage en rupture pour diminuer les coûts et la pénalité énergétique.
 - Disponibilité des capacités de stockage géologique en Europe (terre, mer)
 - Développement des voies de transformation / valorisation chimique et biochimique à partir la molécule de CO₂
 - couplage avec le Power-to-Gas



Conclusion : le CCUS

La filière du CCS

- Les technologies nécessaires pour capter, transporter et stocker le CO₂ sont disponibles
- Elles pourraient être mises en œuvre rapidement si ces technologies bénéficiaient du même support que les énergies renouvelables
- Les conditions économiques ne sont pas réunies pour permettre un déploiement du CCS pour l'industrie (risque de « fuite de carbone »)
- Le modèle d'affaire de la chaîne CCS doit reposer sur des hypothèses garanties sur le long terme
 - Les industriels émetteurs de CO₂ doivent pouvoir construire leurs projets sur des bases financières et réglementaires garanties sur le long terme
 - L'accès aux capacités de stockage doit être garanti sur le long terme
 - Les industriels du stockage doivent être rassurés sur la couverture du risque lié à l'exploration et sur le risque lié à la période post-fermeture (20 ans et plus)





Crédit Algosource

Conclusion : le CCUS

La filière valorisation

- La valorisation du CO₂ est une réalité : c'est un facteur de croissance
 - société CRI (méthanol)
 - COVESTRO (polyéther polycarbonate polyols)
 - Carbon 8 (agrégats minéraux)
- Les technologies ont encore besoin d'améliorations techniques et environnementales : besoin d'un soutien réglementaire pour transformer certains succès en un large déploiement

Perspectives :

- Il est nécessaire d'homogénéiser les réglementations au niveau européen
- Un label pourrait contribuer à soutenir le secteur
- Il y a un manque de clarté concernant le bénéfice de l'abattement du CO₂ entre les parties prenantes



Merci de votre attention

©EdF

La taxe carbone

La taxe carbone (ou Contribution Climat-Énergie) a été mise en place en France en 2014 par le gouvernement de Jean-Marc Ayrault, après deux tentatives législatives infructueuses en 2000 et 2010.

Ce n'est pas une taxe spécifique, mais une composante des taxes intérieures de consommation (TIC) proportionnelle au contenu carbone des combustibles fossiles concernés.

D'un montant initial de 7 €/t de CO₂, elle a été réévaluée chaque année pour atteindre :

- 44,60 € en 2018.

Sa trajectoire d'évolution a été programmée par la loi de finances 2018 :

- 65,40 € en 2020 et
- 86,20 € en 2022.

Certains secteurs économiques bénéficient d'exemptions totales ou partielles.