

CCUS ou le rôle clé du CO₂ dans la transition énergétique

Département de Chemical Engineering

Grégoire LEONARD, Chargé de cours

Sommaire

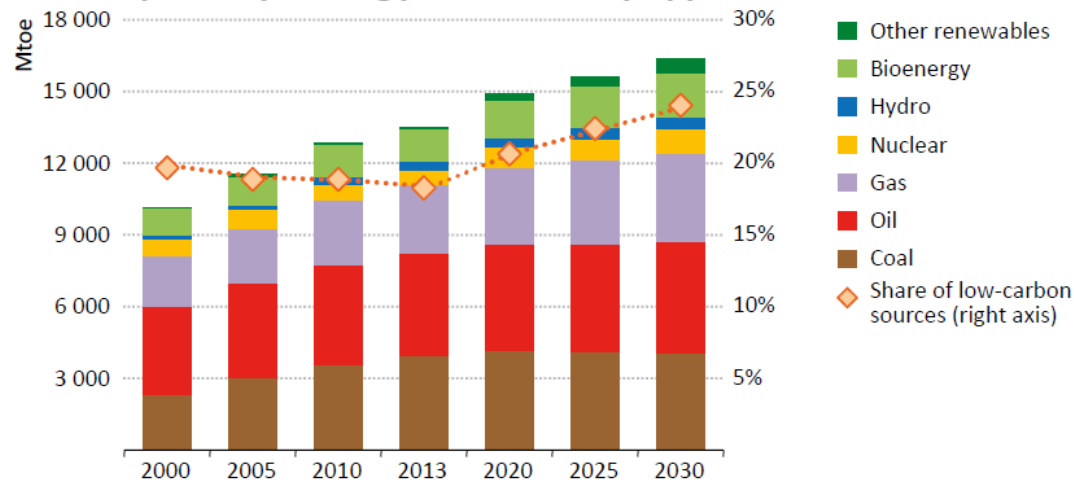
1. Contexte
2. Capture du CO₂
3. Stockage
4. Valorisation
5. Perspectives

1. Contexte

Transition énergétique => 2 Objectifs contradictoires!

- Limiter les émissions de gaz à effet de serre
- Faire face à la demande croissante en énergie
 - +33% en 2035, surtout dans les pays non-OCDE
 - Énergie provient à 82% de ressources fossiles (75% en 2030)

Global primary energy demand by type in the INDC Scenario

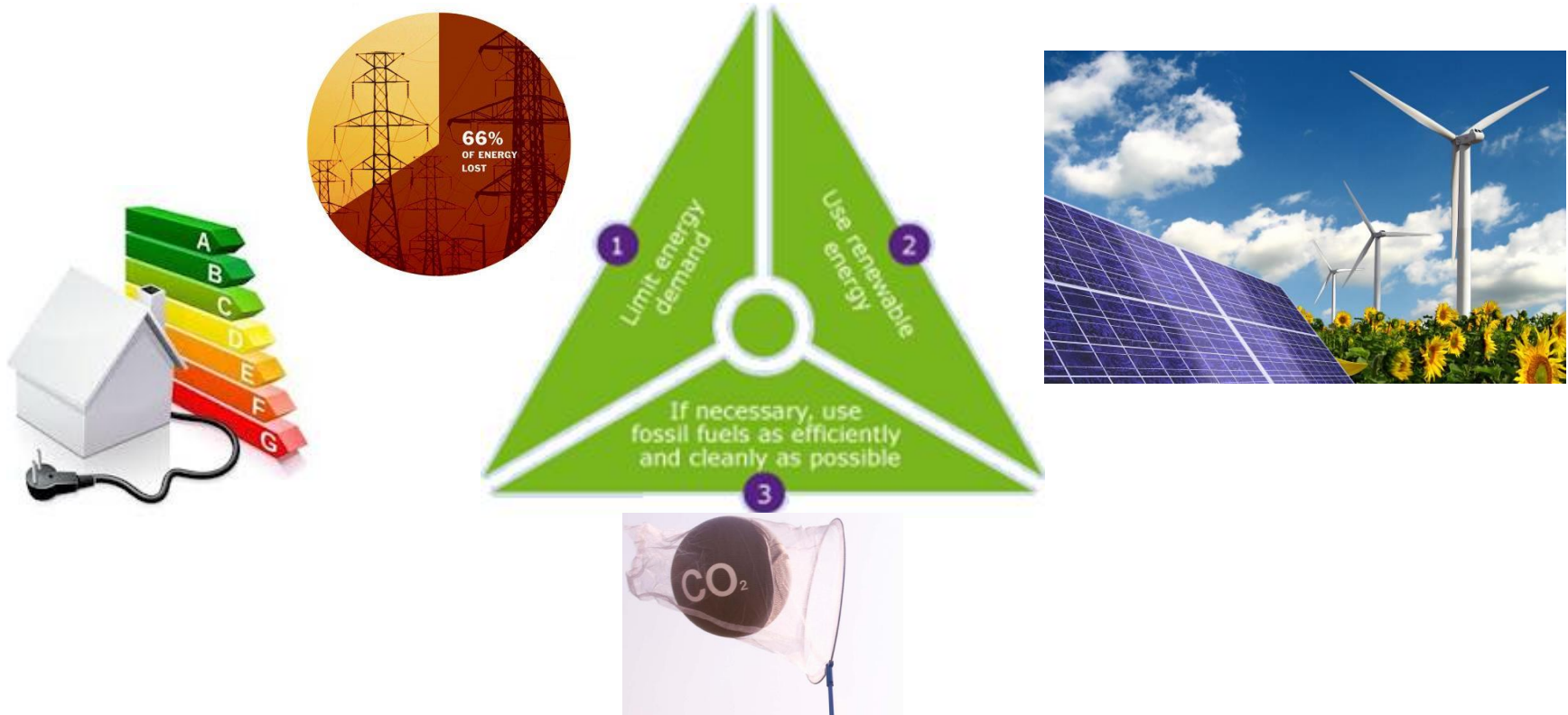


Note: "Other renewables" includes wind, solar (photovoltaic and concentrating solar power), geothermal, and marine.

Source : IEA 2015, WEO special report, Energy & Climate Change

1. Contexte

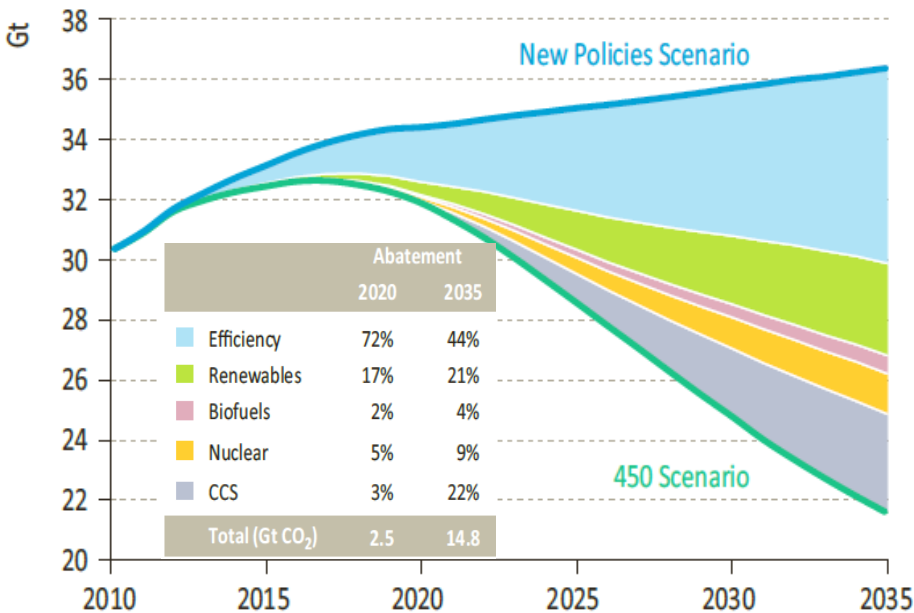
- Réponses possibles: TRIAS ENERGICA



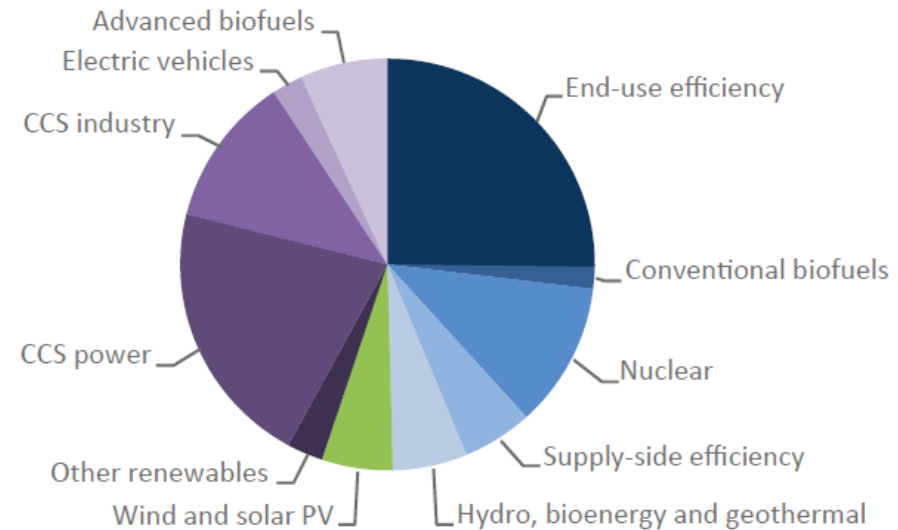
Lysen E., The Trias Energica, Eurosun Conference, Freiburg, 1996

1. Contexte

- ⇒ CCUS = Carbon Capture, Utilization and Storage
- ⇒ La capture est commerciale et flexible (retrofit + dynamique)
- ⇒ Prévisions pour le futur (proche) ?



World CO₂ emissions abatement in the 450 Scenario (New Policies Scenario), IEA **2011**, WEO2011.



World CO₂ emissions abatement in the 450 Scenario (Bridge Scenario 2015-2040), IEA **2015**, WEO special report, Energy & Climate Change

2. Capture du CO₂

<https://www.globalccsinstitute.com/projects/large-scale-ccs-projects>

2. Capture du CO₂

La capture du CO₂ = technologie exploitée depuis des décennies
=> Installations commerciales de capture du CO₂



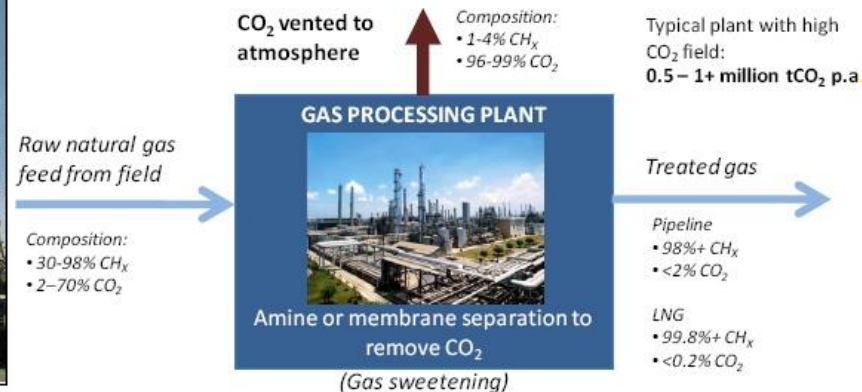
1999 Malaysia
(200 T/D Max)
Urea Production



2005 Japan
(330 T/D max)
General Use



2006 India (2 locations)
(450 T/D x 2 units)
Urea Production



Mais...

- Relativement petite échelle, sauf traitement de gaz naturel (BD3 – 2700 t/j)
- Coût de capture très élevé! En centrale, le rendement perd 33%!

2. Capture du CO₂

Principales technologies:

1. Capturer le CO₂ formé lors de la combustion dans les fumées

=> Décarbonisation des fumées = **Capture post-combustion**

2. Enlever le C du combustible par gazéification du combustible solide

=> Décarbonisation du combustible = **Capture pré-combustion**

3. Brûler le combustible avec de l'oxygène pur

=> **Combustion Oxyfuel**

4. Procédés industriels (cimenteries, aciéries...)

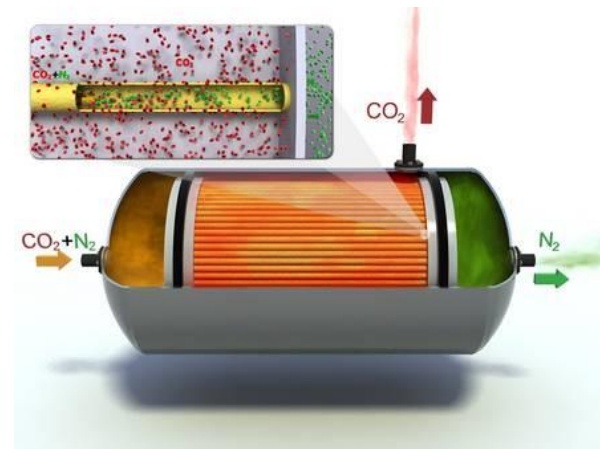
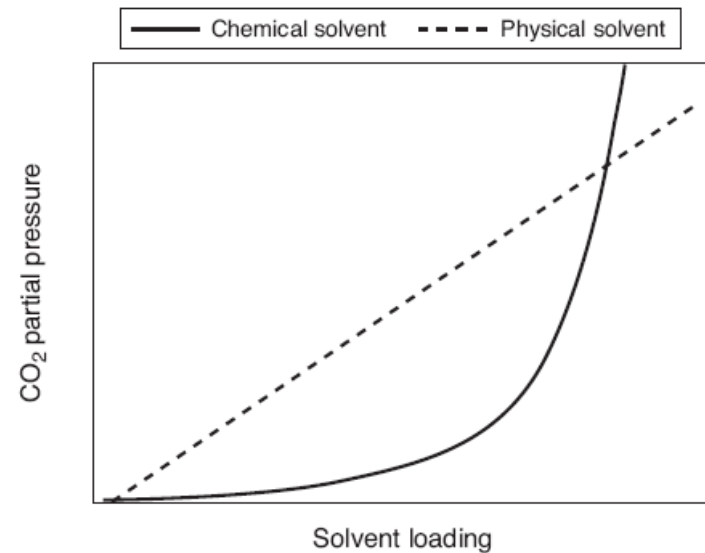
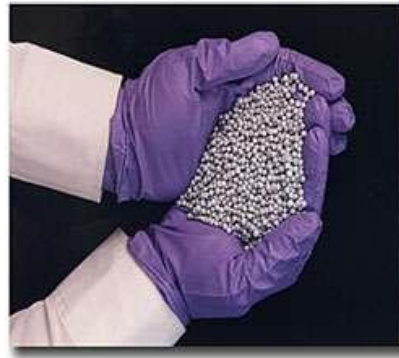
=> CO₂ produit **hors combustion**

Source : Ph. Mathieu, ULg, 2011

2. Capture du CO₂

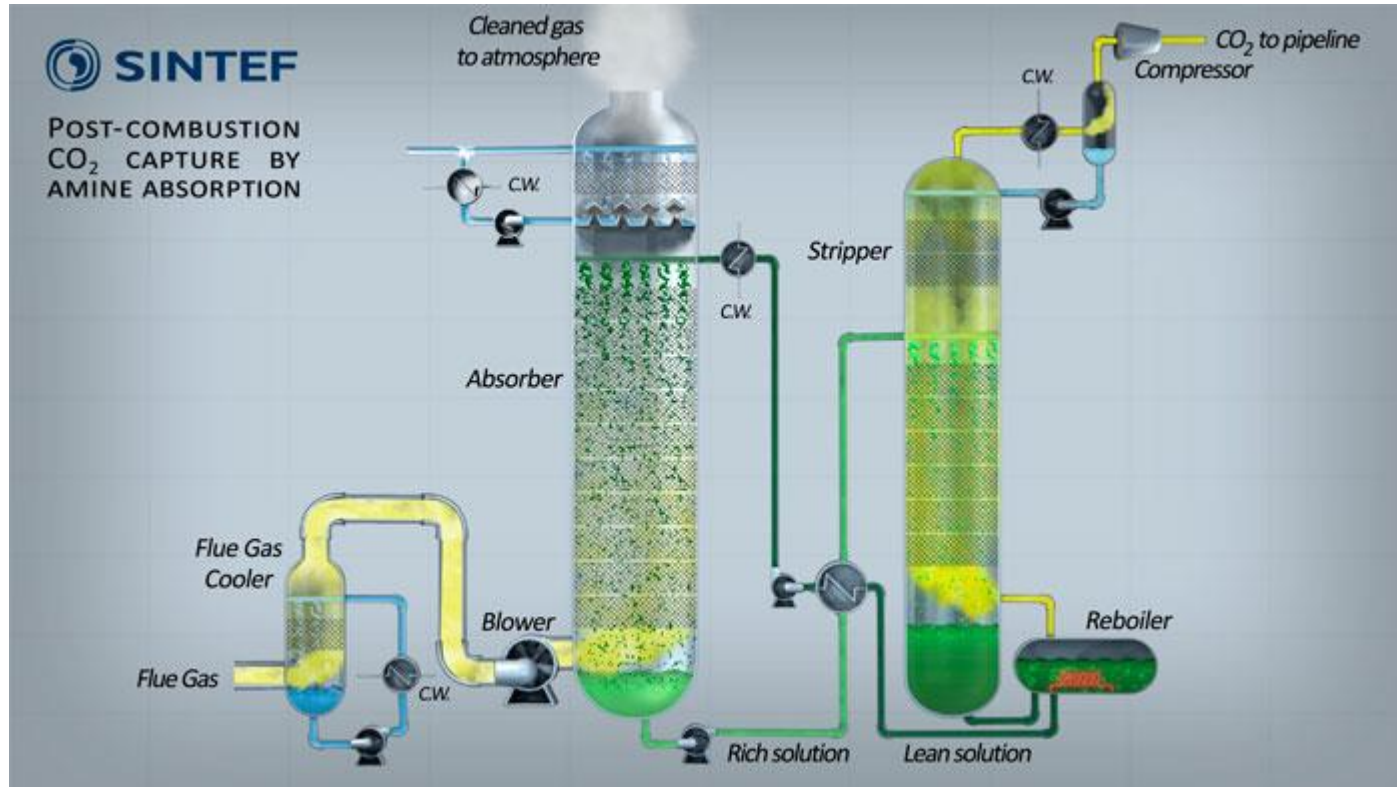
Capture post-combustion

- Techniques matures:
 - Solvants physiques ($[\text{CO}_2] \gg$)
 - Solvants chimiques
- En développement:
 - Adsorbants solides
 - Membranes
 - ...



2. Capture du CO₂

Absorption dans solvants chimiques



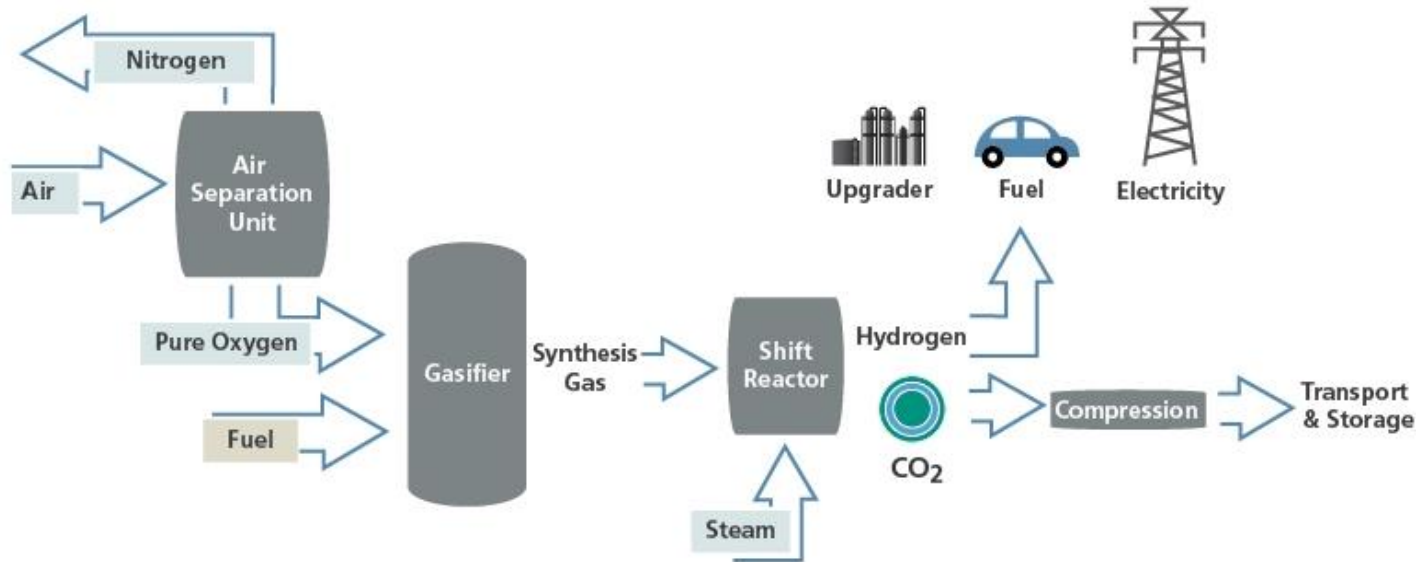
2. Capture du CO₂

- Exemple: Boundary Dam
 - En opération depuis Octobre 2014; 2700 T/D (1 Mtpa)
 - Centrale charbon 160 MWe;
 - Gaz de fumée: 180 Nm³/s ; Solvant: 550 L/s
 - Première au monde (2^{ème} unité, 240 MW fin 2016, Texas)



2. Capture du CO₂

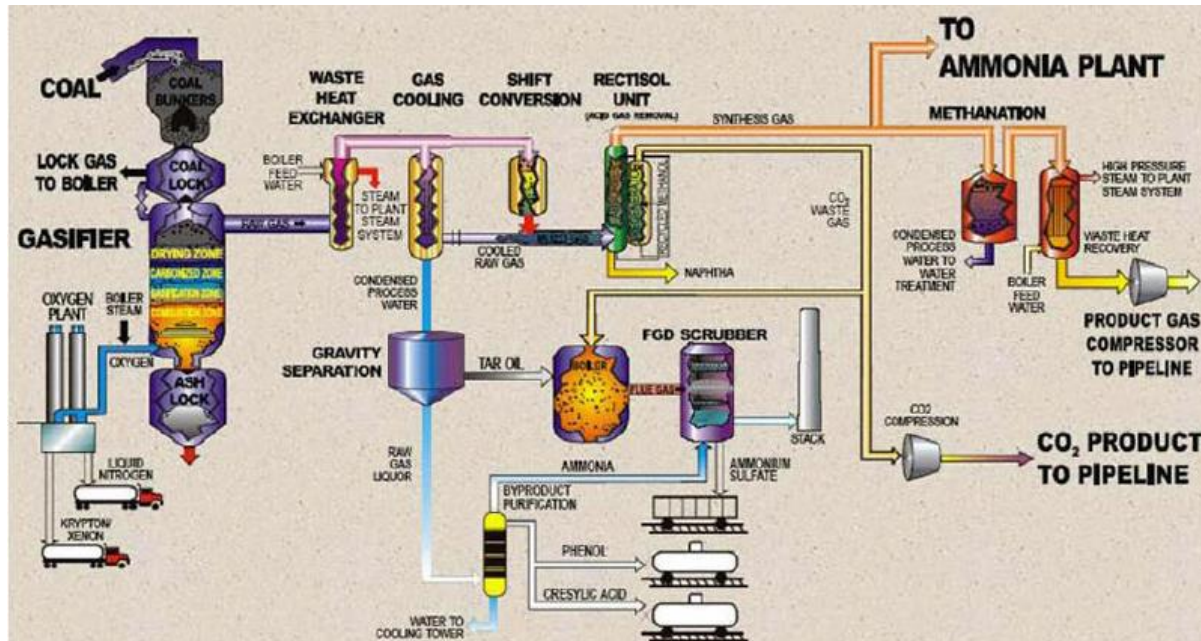
Capture pré-combustion



Réactions principales	Nom	Equation	Enthalpie de réaction (MJ/kmol)
1	Réformage à la vapeur	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + 3\text{H}_2$	206,2
2	Oxidation partielle	$\text{CH}_4 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + 2\text{H}_2$	-35,7
3	Réaction Water-shift	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$	-41

2. Capture du CO₂

- Capture pré-combustion: exemple
 - Great Plains Synfuel Plant, Dakota du nord (US)
 - Gazéification de 16000 T/D de lignite
 - 3 Mtpa CO₂ depuis 2000 (8200 T/D)

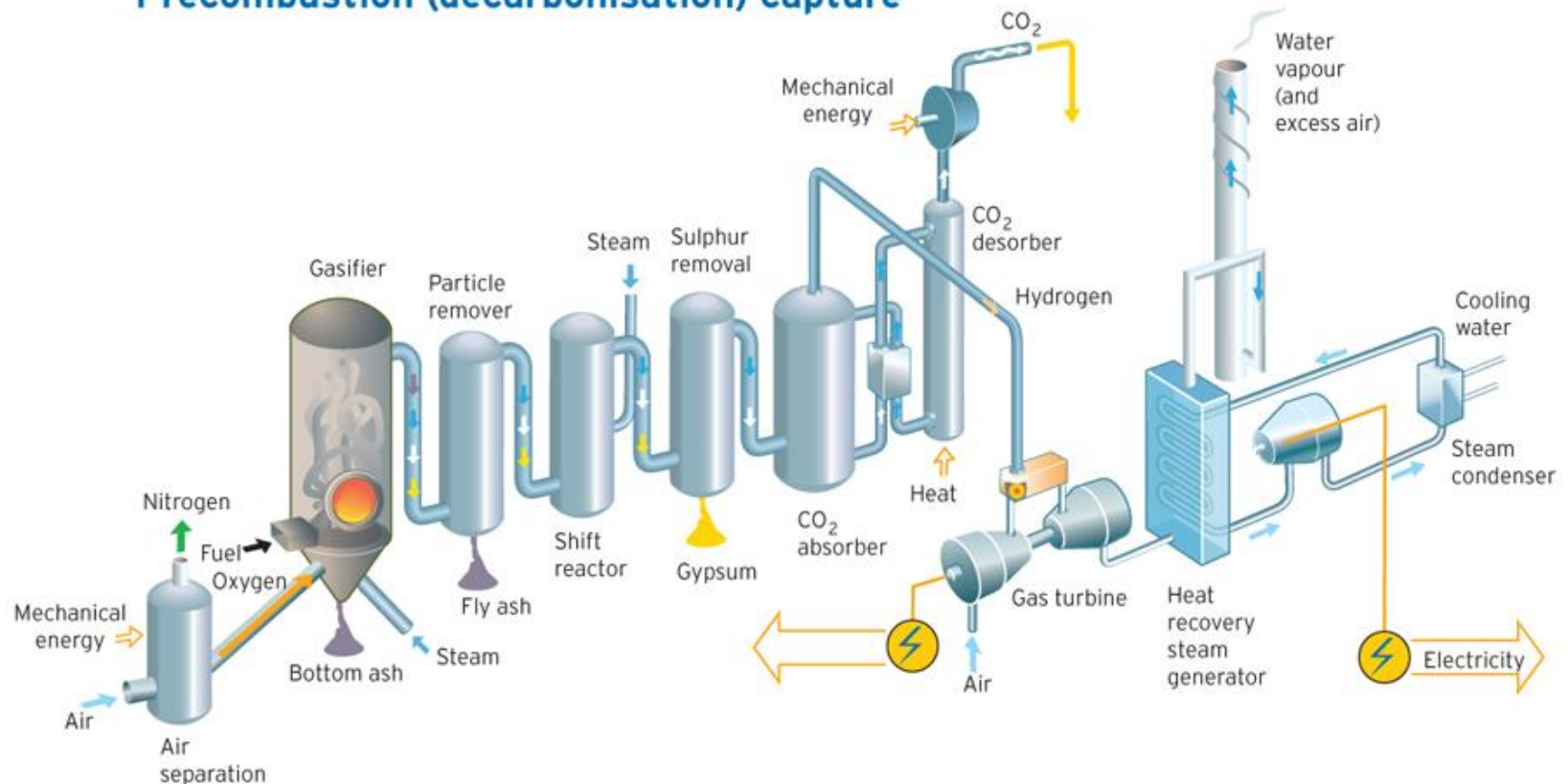


Source: <http://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/great-plains>

2. Capture du CO₂

Cas particulier: IGCC (integrated gasification combined cycle)

Precombustion (decarbonisation) capture



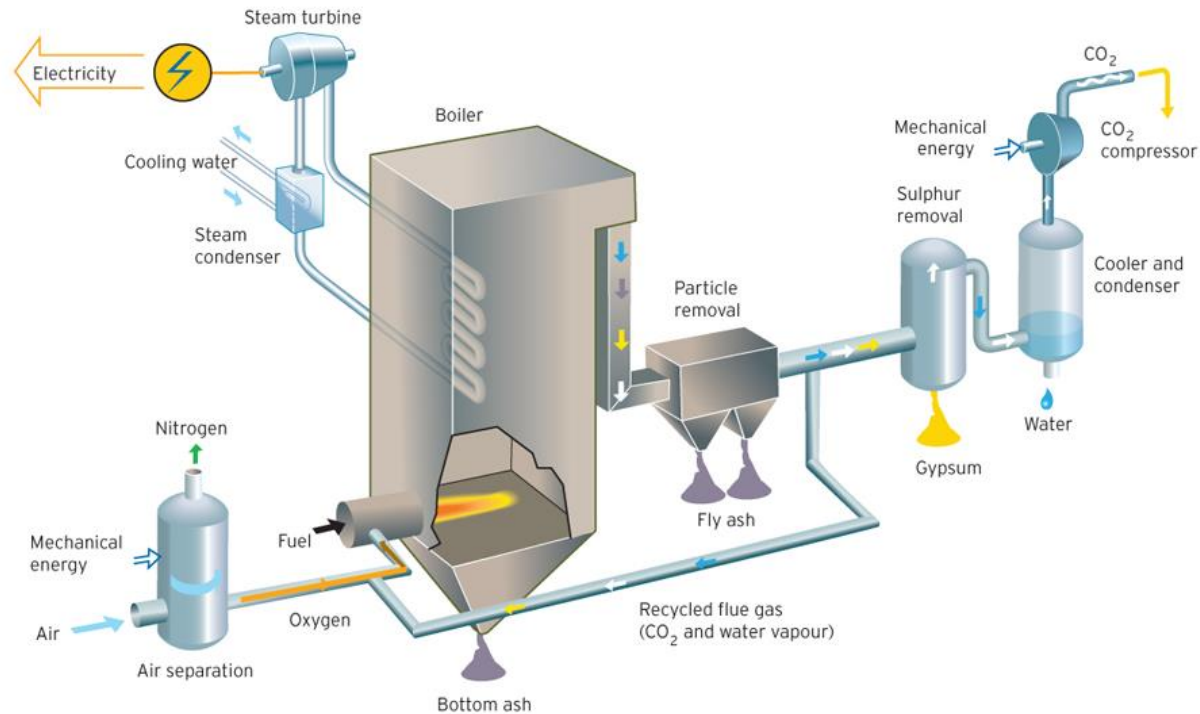
2. Capture du CO₂

- Cas particulier: IGCC (integrated gasification combined cycle)
 - Exemple: Kemper County (Mississippi): Gazéification de charbon (582 MW)
 - Capture de ~ 9500 T/D (3 Mtpa) , démarrage prévu en 10/2016
 - Estimation des coûts: ~ 6 milliards USD (évolue encore)



2. Capture du CO₂

Oxy-combustion / Combustion Oxy-fuel



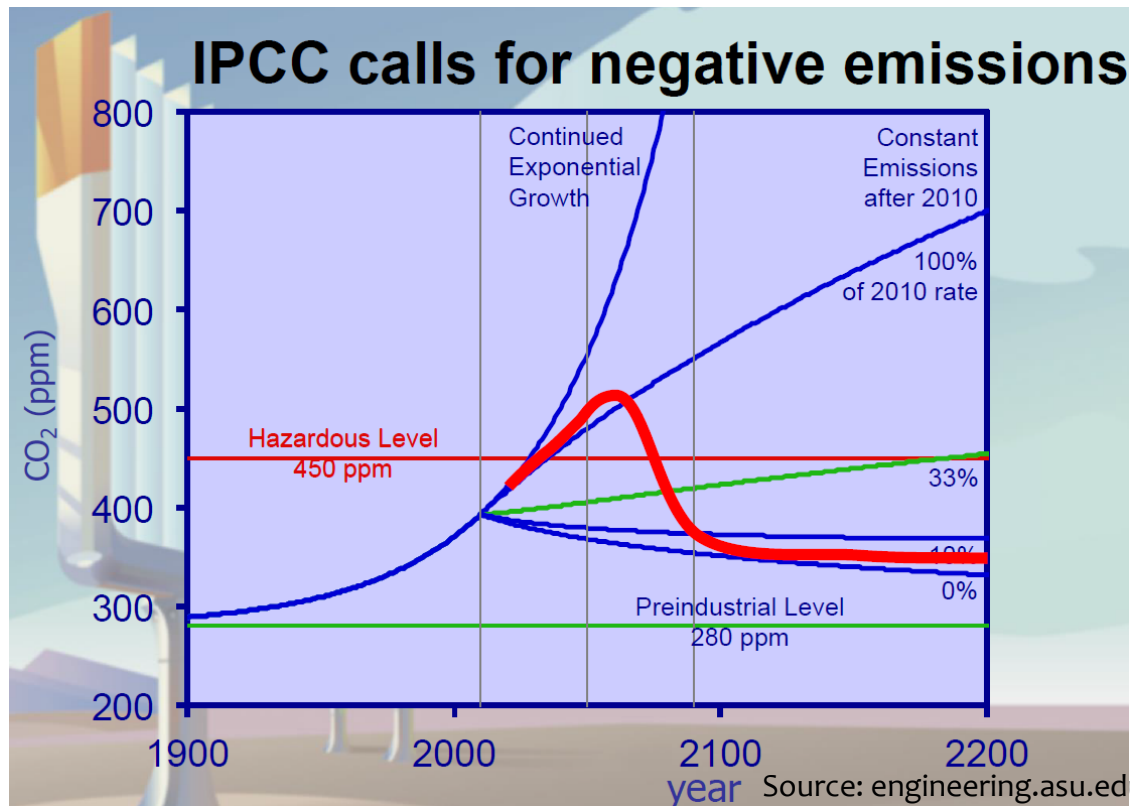
Principaux défis: séparation de l'air et combustion à l'O₂ pur

Projets à grande échelle: plusieurs annulations récentes:

White Rose UK 5000T/D; FutureGen US 2700 T/D

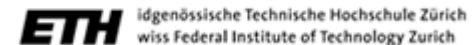
2. Capture du CO₂

- Direct air capture = Capture du CO₂ dans l'air
 - Le CO₂ s'accumule dans l'atmosphère
 - 400 ppm, augmente de 2-2.5 ppm/an



2. Capture du CO₂

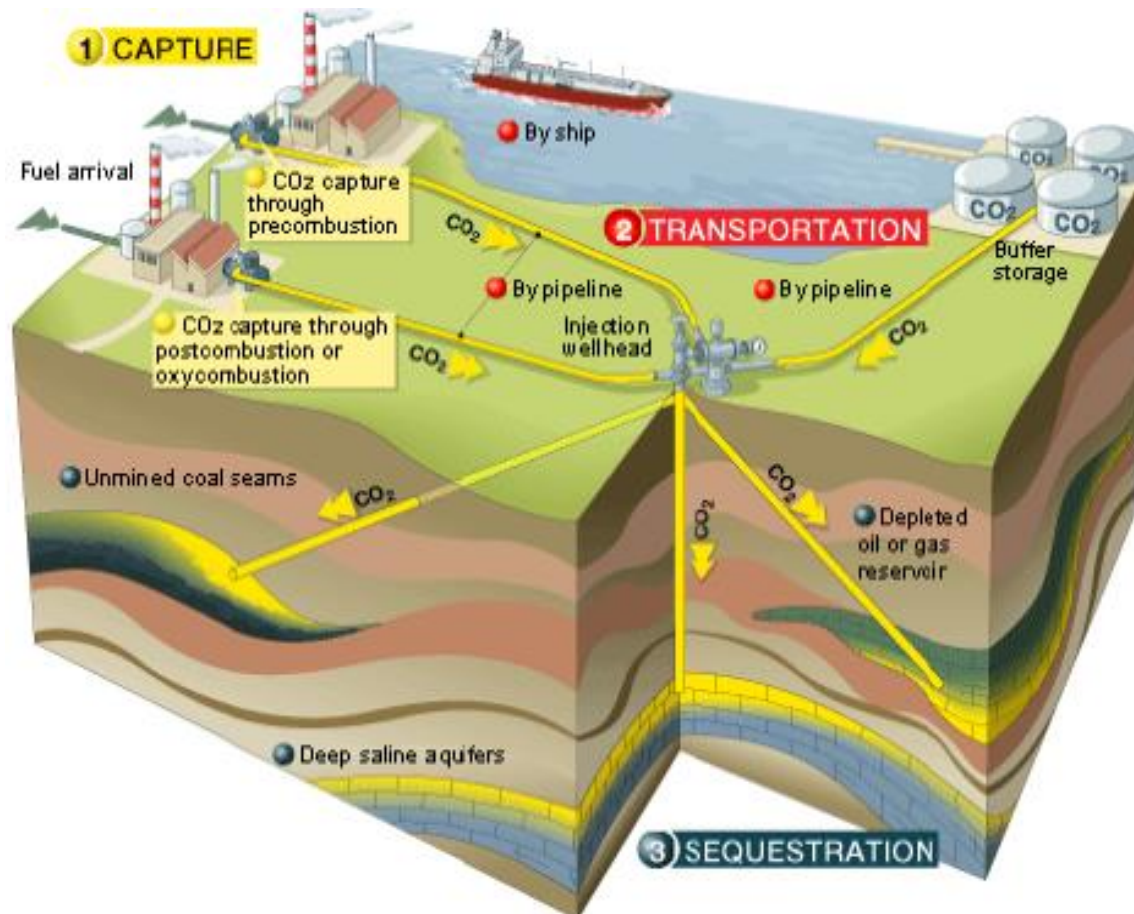
- Direct air capture = Capture du CO₂ dans l'air (400 ppm!)
 - Capte les émissions distribuées (transport, petits émetteurs...)
 - Plus petite échelle, mais disponible partout!
 - Coût important (plusieurs centaines d'€/tCO₂ vs. 30-40 €/t pour techniques à grande échelle)
 - Technologies en développement (~1 t/jour; 365 Tpa)



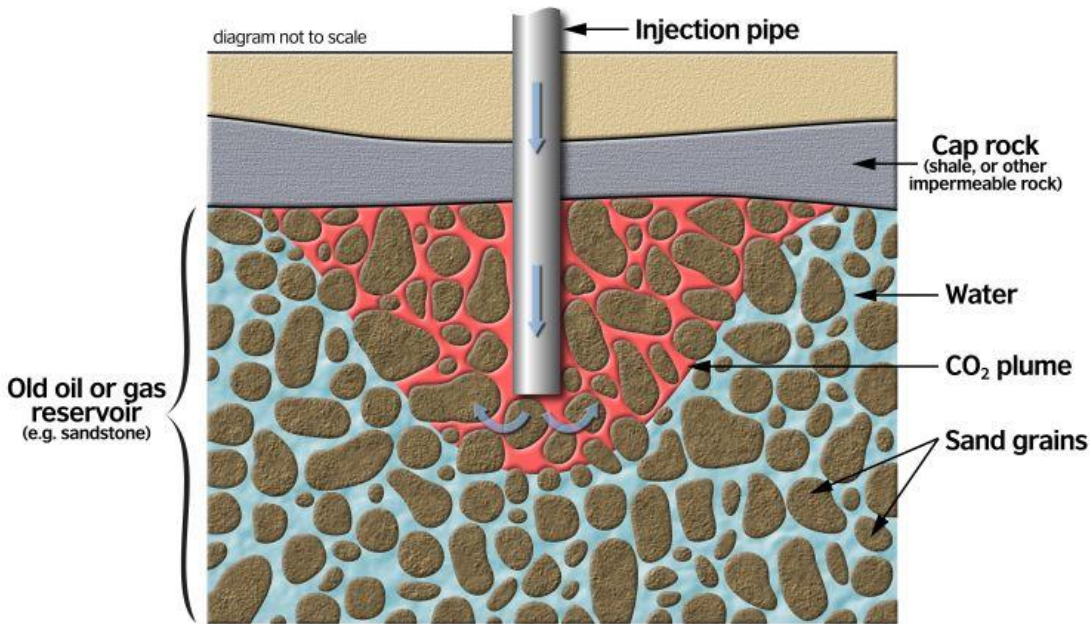
3. Stockage du CO₂

3. Stockage du CO₂

Capture – Transport – Ré-utilisation – Stockage



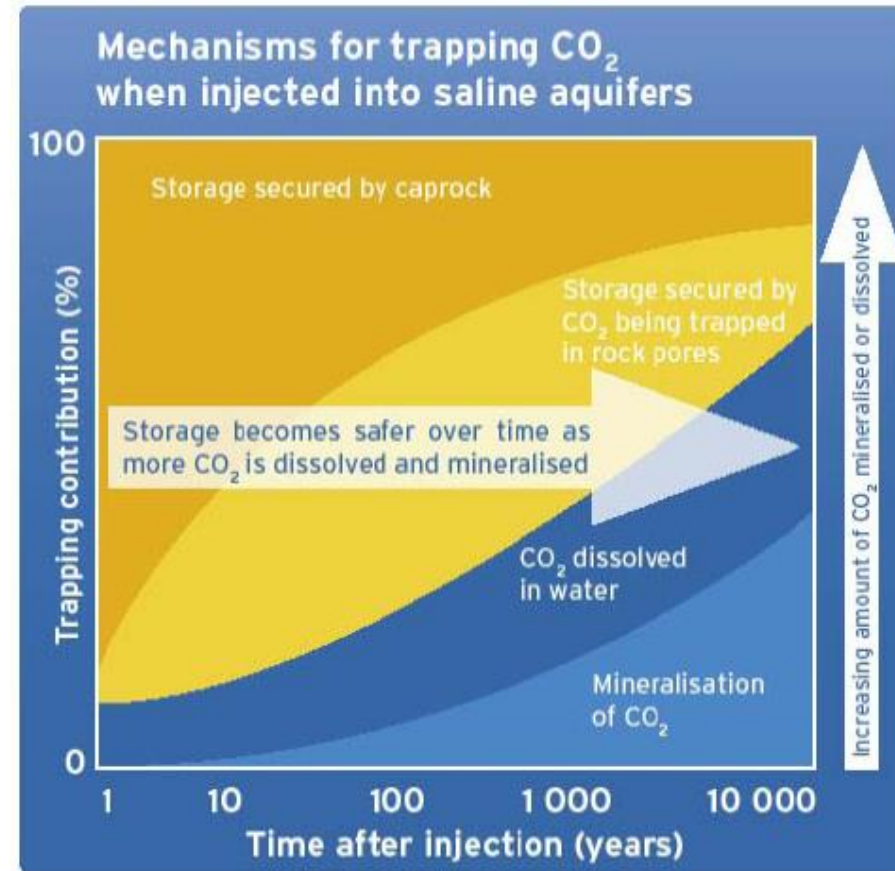
3. Stockage du CO₂



- **Aquifères salins:** grande capacité, géologie moins connue mais fortement étudiée récemment
- **Champs épuisés de gaz et pétrole:** Plus faible capacité, mais géologie mieux connue, stabilité du site démontrée
- **Puits de charbon:** Capacité limitée, faible perméabilité mais possibilité de récupérer du méthane

3. Stockage du CO₂

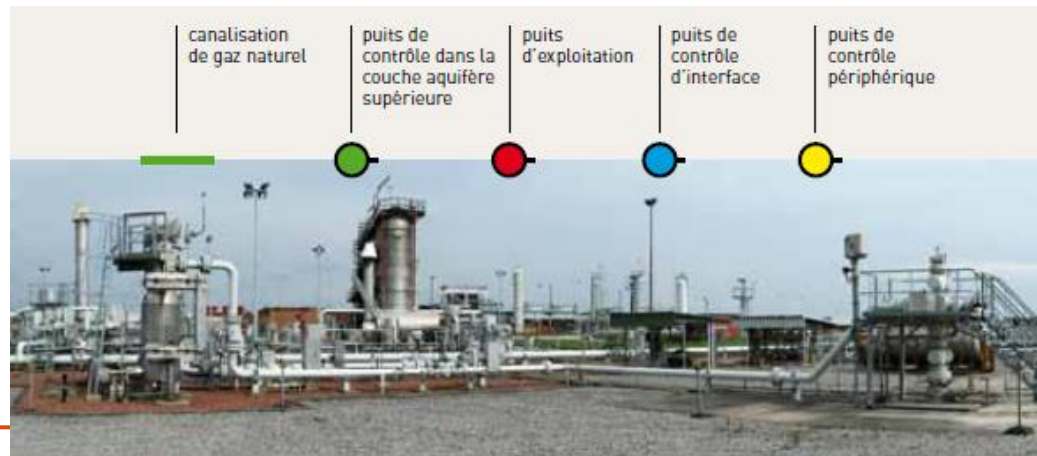
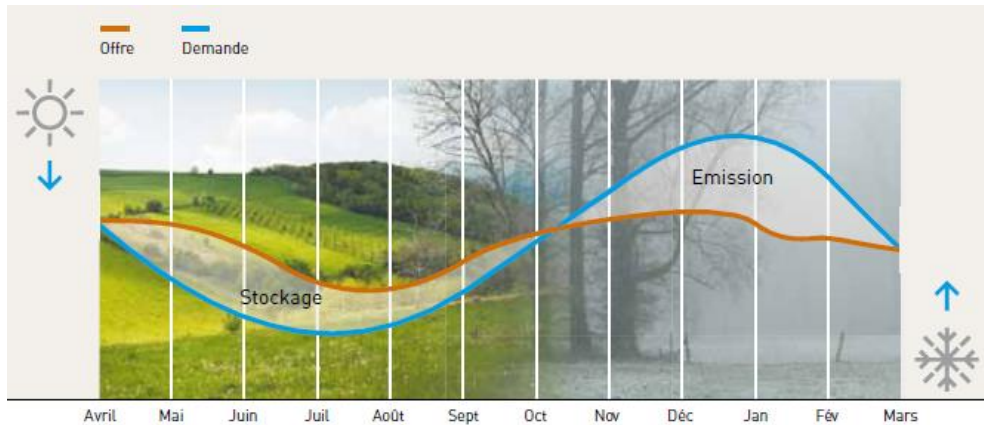
- CO₂ diffuse dans la formation géologique et est piégé sous terre
- Il pénètre dans les porosités de la roche, se dissout et minéralise
- Longue échelle de temps!



3. Stockage du CO₂

C'est une technologie éprouvée: stockage saisonnier de gaz naturel

Exemple: Loenhout (Anvers)

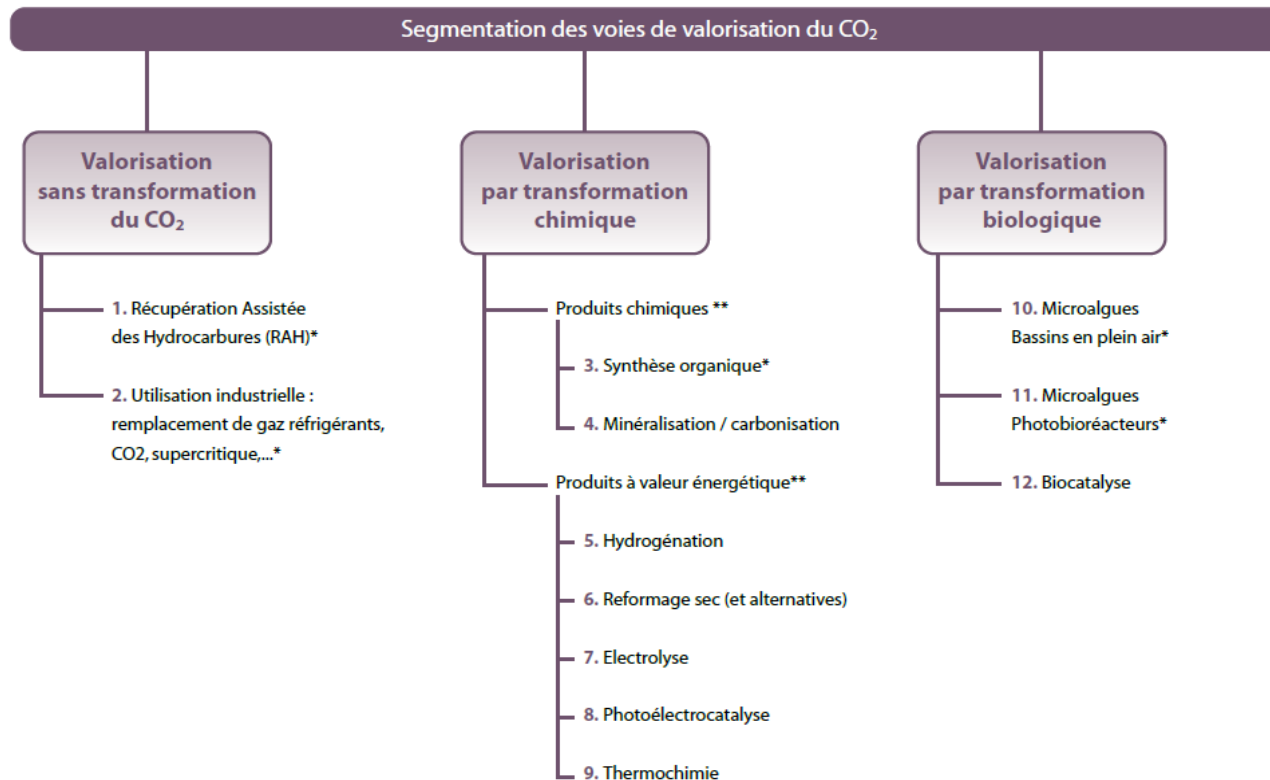


Source : www.fluxys.com

4. Valorisation du CO₂

4. Valorisation du CO₂

Le CO₂, un déchet ou une matière première?



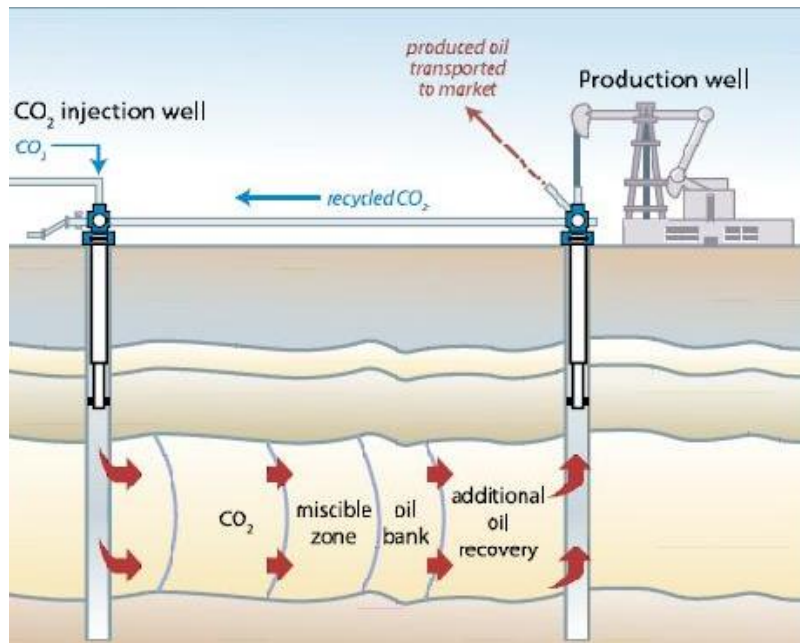
* Voies pour lesquelles il existe déjà certaines applications à un stade industriel

** Certains produits comme le méthanol sont utilisés comme produits énergétiques ou comme produits intermédiaires de l'industrie chimique

4. Valorisation du CO₂

Récupération assistée d'hydrocarbures (EOR):

- 40 MtCO₂/an (2008)
- Consommation énergétique pour la compression et l'injection du CO₂



	RAH
Potentiel d'émergence	4
Perspectives économiques	4
Consommation énergétique externe	3
Volume potentiel de CO ₂	2
Durée de séquestration du CO ₂	4
Autres impacts environnementaux	4

4. Valorisation du CO₂

Utilisations industrielles directes du CO₂



4. Valorisation du CO₂

Utilisations industrielles directes du CO₂:

- Haut niveau de pureté exigé (99,99%)
- Potentiel de croissance moins important (20 MtCO₂/an)
- Le CO₂ n'est pas stocké durablement

	Utilisation industrielle
Potentiel d'émergence	4
Perspectives économiques	4
Consommation énergétique externe	3
Volume potentiel de CO ₂	2
Durée de séquestration du CO ₂	1.5
Autres impacts environnementaux	4

4. Valorisation du CO₂

Valorisation par transformation biologique:

=> Culture de microalgues

=> Photosynthèse



	Algues-bassins
Potentiel d'émergence	3
Perspectives économiques	3
Consommation énergétique externe	4
Volume potentiel de CO ₂	4
Durée de séquestration du CO ₂	2
Autres impacts environnementaux	4

Limitations :

- Surface pour les cultures (12 t CO₂/an à Niederaussem)
- Energie nécessaire pour traitements en aval

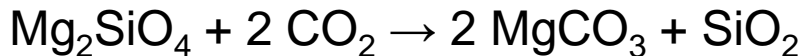
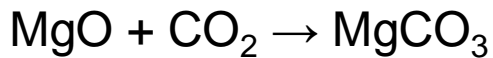
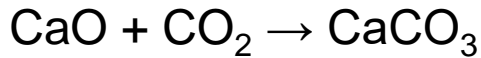
4. Valorisation du CO₂

Valorisation biologique
=> Applications diverses

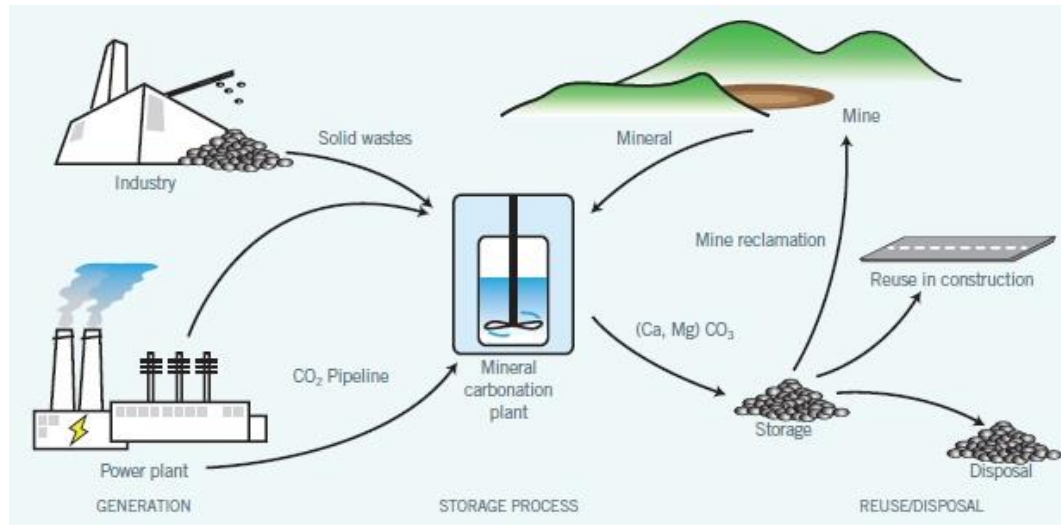


4. Valorisation du CO₂

■ Valorisation chimique: Minéralisation



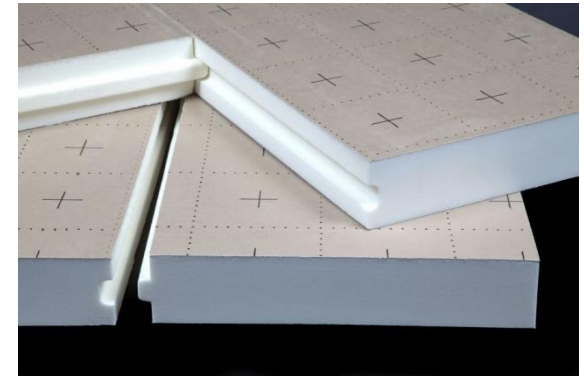
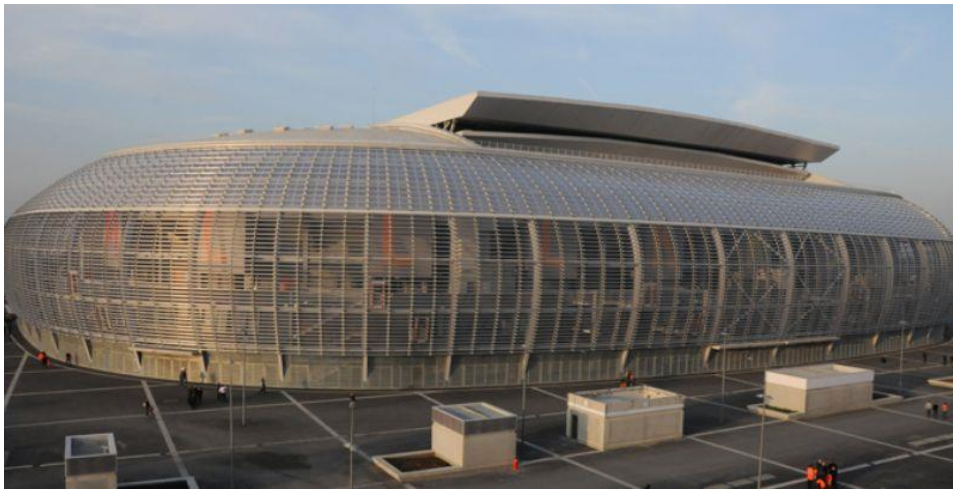
Source: Hemcrete, 2015



- Utilisation d'oxides de Mg ou de Ca comme matières premières, présents dans minerai ou déchets industriels
- Réaction spontanée, mais lente

4. Valorisation du CO₂

Valorisation chimique: Synthèse organique



4. Valorisation du CO₂

Synthèse organique:

- Polycarbonates, polyols, polyuréthanes...
- Déjà largement utilisée pour la production d'urée (100 MtCO₂/an)
- Potentiel limité en volume: ~6% du pétrole va en pétrochimie
- Mais haute valeur ajoutée possible
- Énergie nécessaire aux synthèses constitue un frein

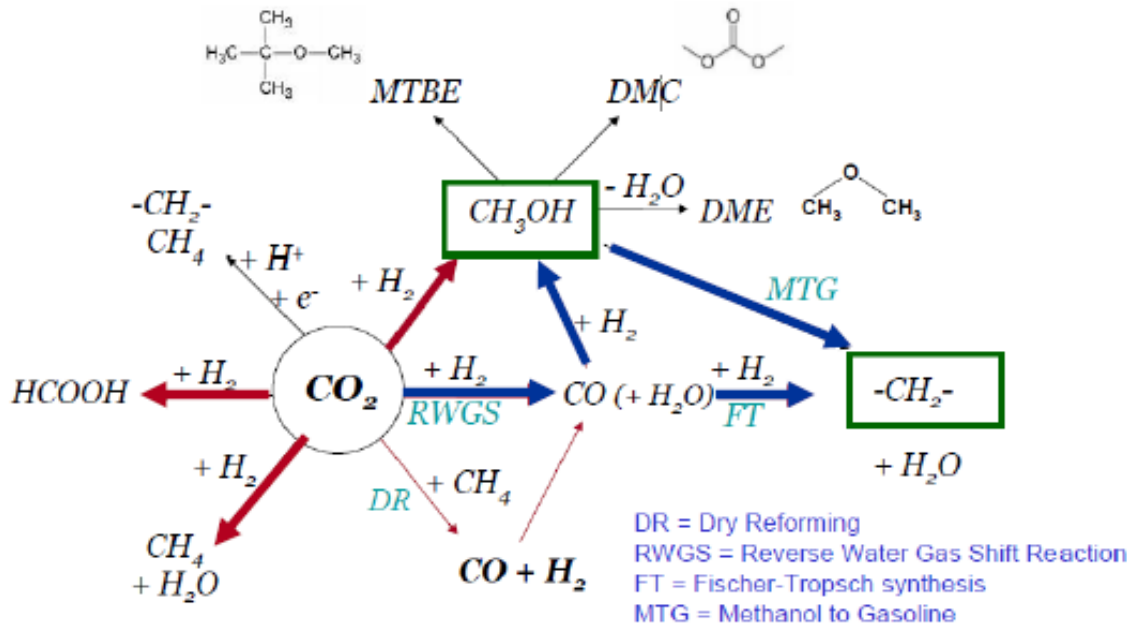


Source: ChemEurope.com, June 2015

	Synthèse organique
Potentiel d'émergence	4
Perspectives économiques	3
Consommation énergétique externe	2
Volume potentiel de CO ₂	3
Durée de séquestration du CO ₂	3
Autres impacts environnementaux	3

4. Valorisation du CO₂

Valorisation chimique pour énergie:



Volume potentiel bien plus grand que pétrochimie!

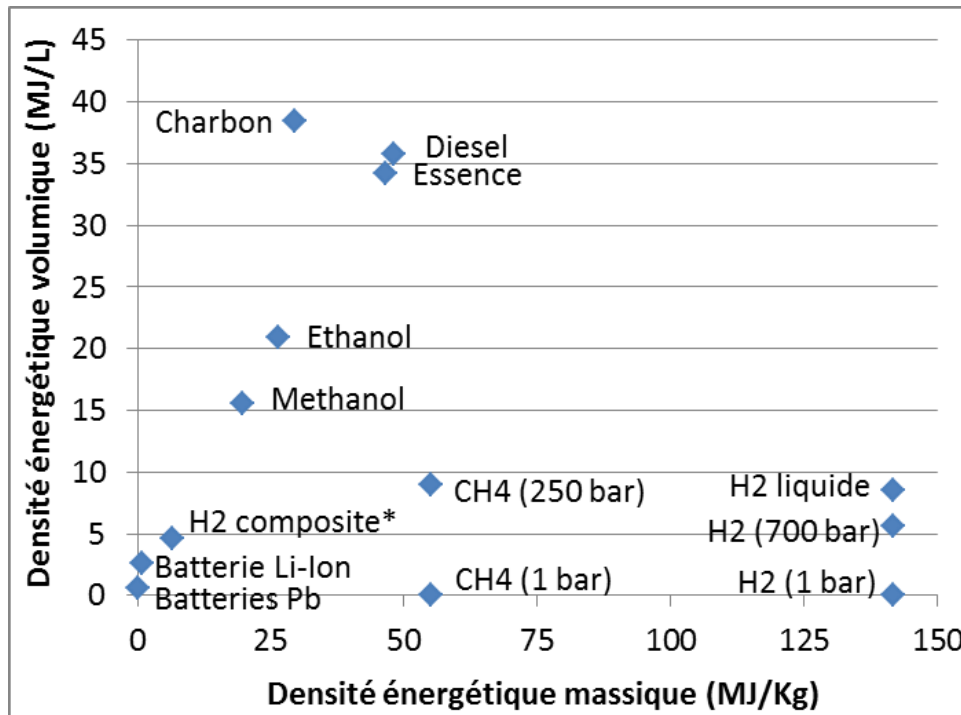
Mais coût énergétique élevé et produits à moins haute valeur ajoutée

=> CO₂ au bas de l'échelle d'énergie => Energie renouvelable nécessaire

4. Valorisation du CO₂

Valorisation chimique pour énergie: Power-to-gas / to-fuel

- ❑ Stockage intersaisonnier d'énergie
- ❑ Haute densité énergétique dans la liaison carbone
- ❑ Support pour de l'hydrogène produit par énergie renouvelable

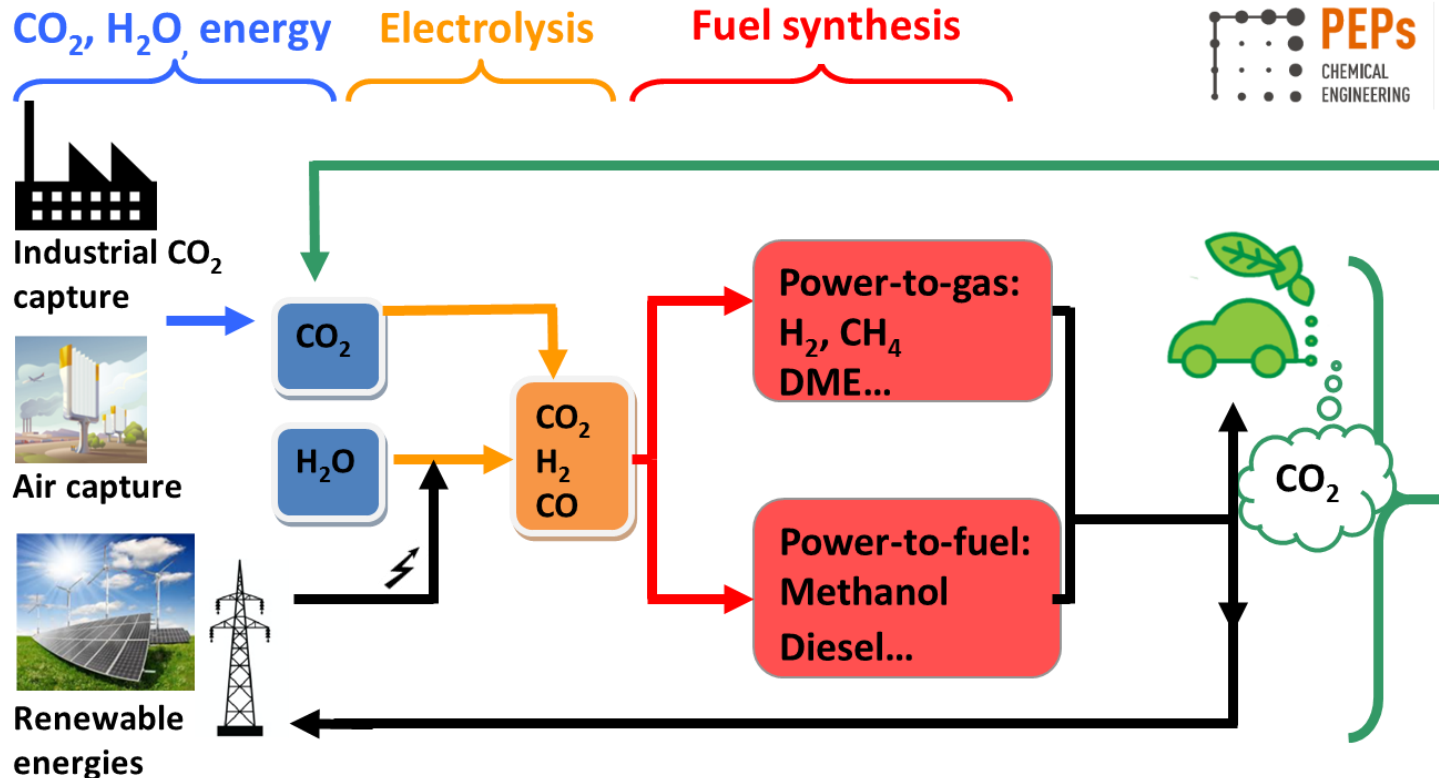


NB: Consommation moyenne d'un ménage belge: 36 MJ/j



4. Valorisation du CO₂

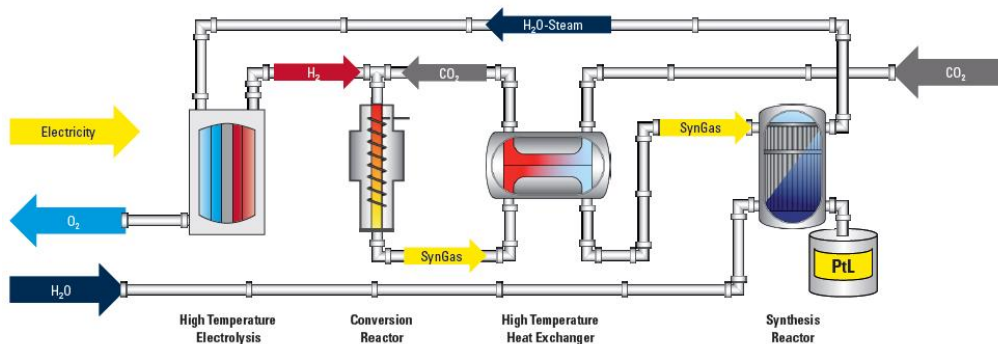
Valorisation chimique pour énergie: Power-to-X



4. Valorisation du CO₂

Quelques projets en cours

- Carbon Recycling International
 - Power-to-methanol
 - 4000 T/a, Efficacité ~50%
- Sunfire
 - Power-to-diesel
 - 58 000 L/a, Efficacité ~70%
- Steelanol
 - CO to ethanol



Le coût de capital est critique pour une installation en fonctionnement dynamique!

5. Conclusions et perspectives

5. Conclusions et perspectives

Grand potentiel, mais beaucoup de défis pour le CO₂!

■ Défis sociétaux

- ❑ Croissance mondiale de la demande en énergie
- ❑ Environnement
- ❑ Transition énergétique
- ❑ Acceptation de nouvelles technologies

■ Défis scientifiques et techniques

- ❑ Développer ces technologies de façon durable et bon marché
- ❑ Débits gigantesques (~ 3 MtCO₂ le temps de cette présentation!)



5. Conclusions et perspectives

Grand potentiel, mais beaucoup de défis pour le CO₂!

■ Défis économiques

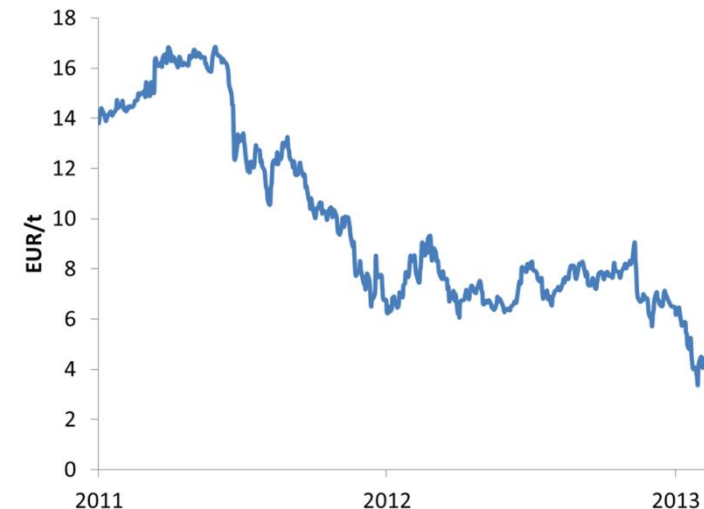
- ❑ Coût de la capture du CO₂ ~30-40 €/t
- ❑ ETS (European CO₂ market) ~ 6-7 €/t
- ❑ Taxe carbone?
- ❑ Label sur les produits neutres en CO₂?



NEUTRALIZED BY
GREEN ENERGY
0% CO₂
CERTIFIED

EU ETS CO₂ prices

(spot price as quoted on EEX)



■ Défis politiques

- ❑ Cadre législatif pour nouvelles technologies
- ❑ Décision sur les voies à choisir => besoin d'une politique européenne forte et cohérente



Merci pour votre attention!

g.leonard@ulg.ac.be