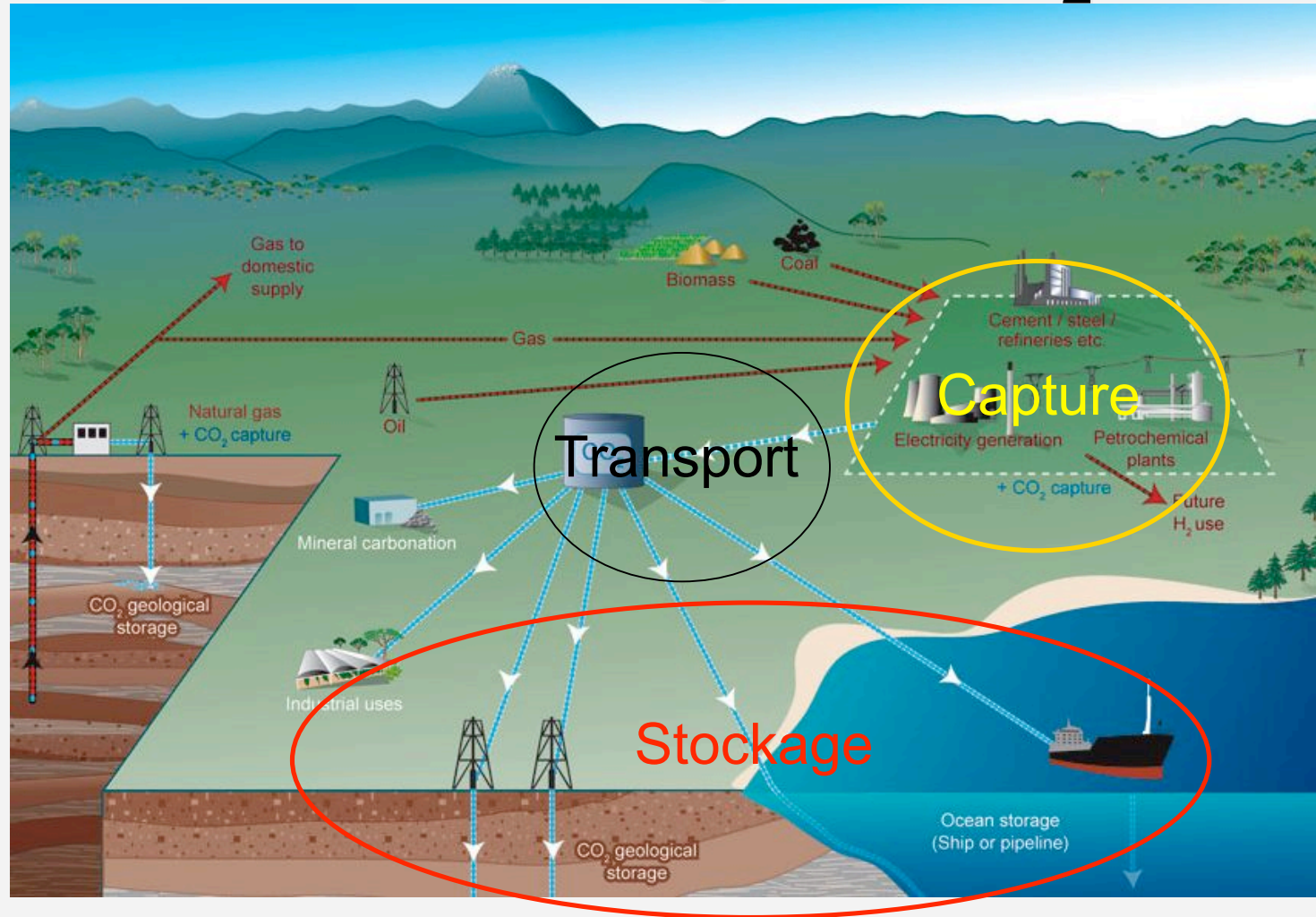


CCS How?

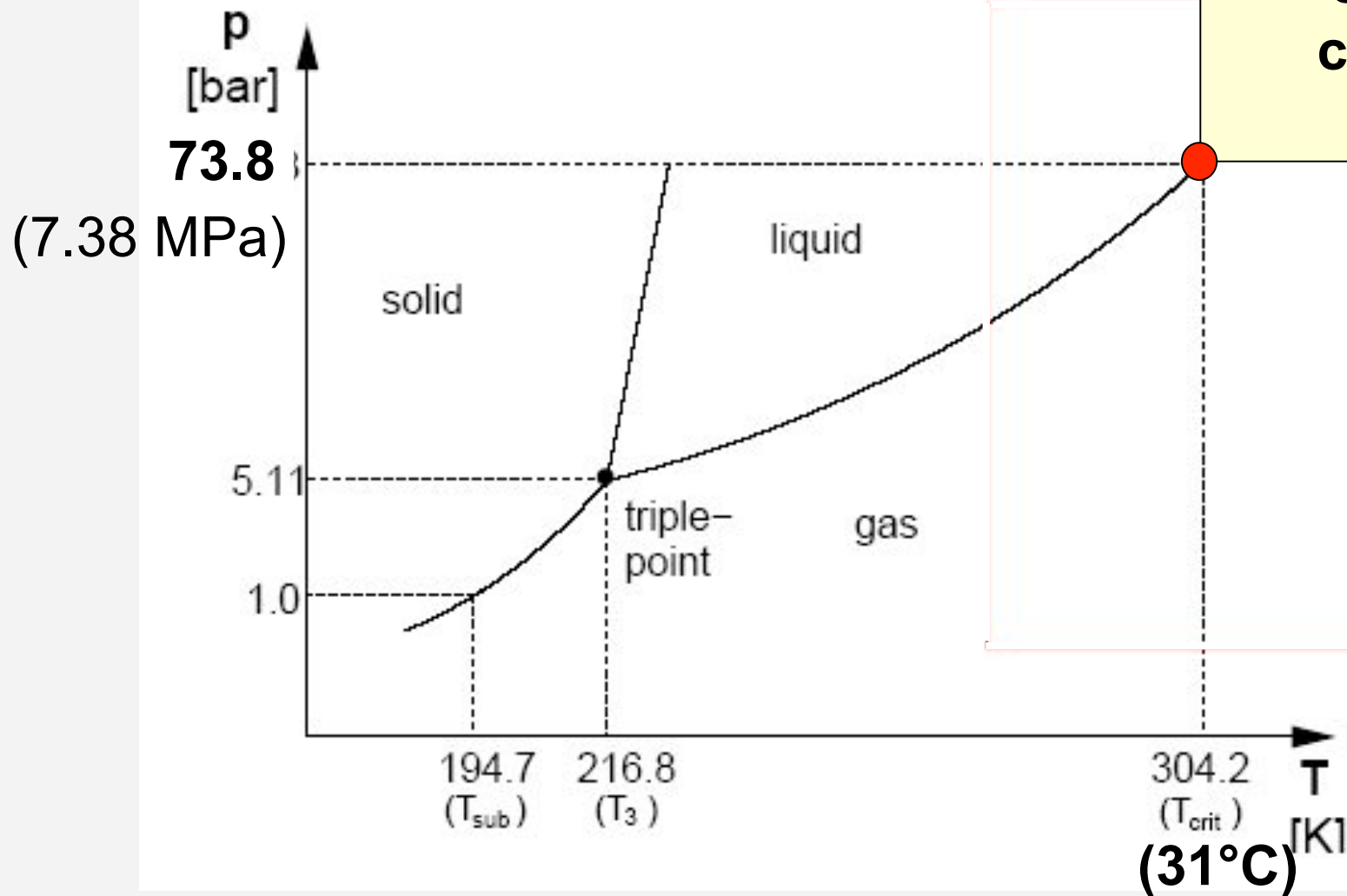


Filière Capture, Transport et stockage de CO₂



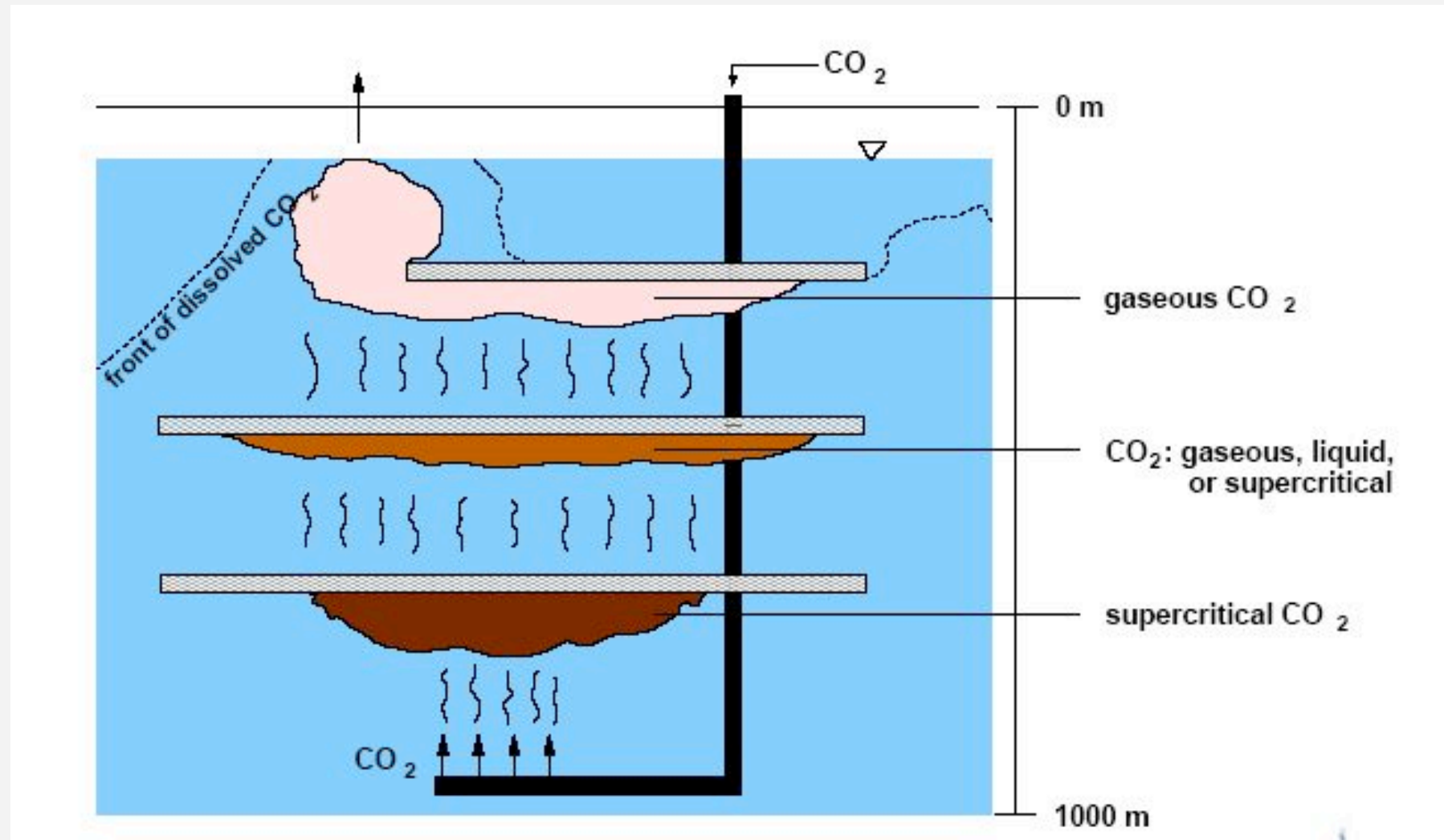
Les états du CO2

Domaine
super-
critique

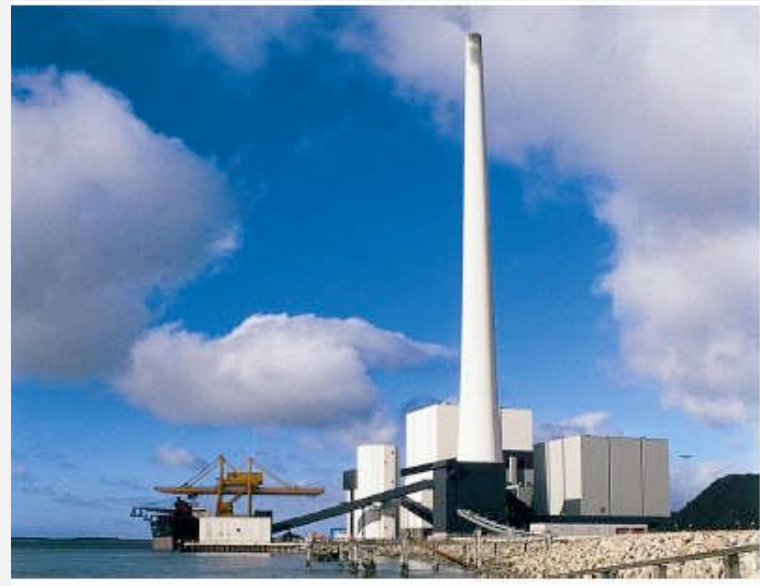
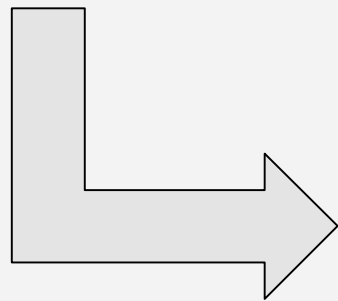


Pour $P > P_c$ et $T > T_c$, le CO2 est à l'état supercritique.

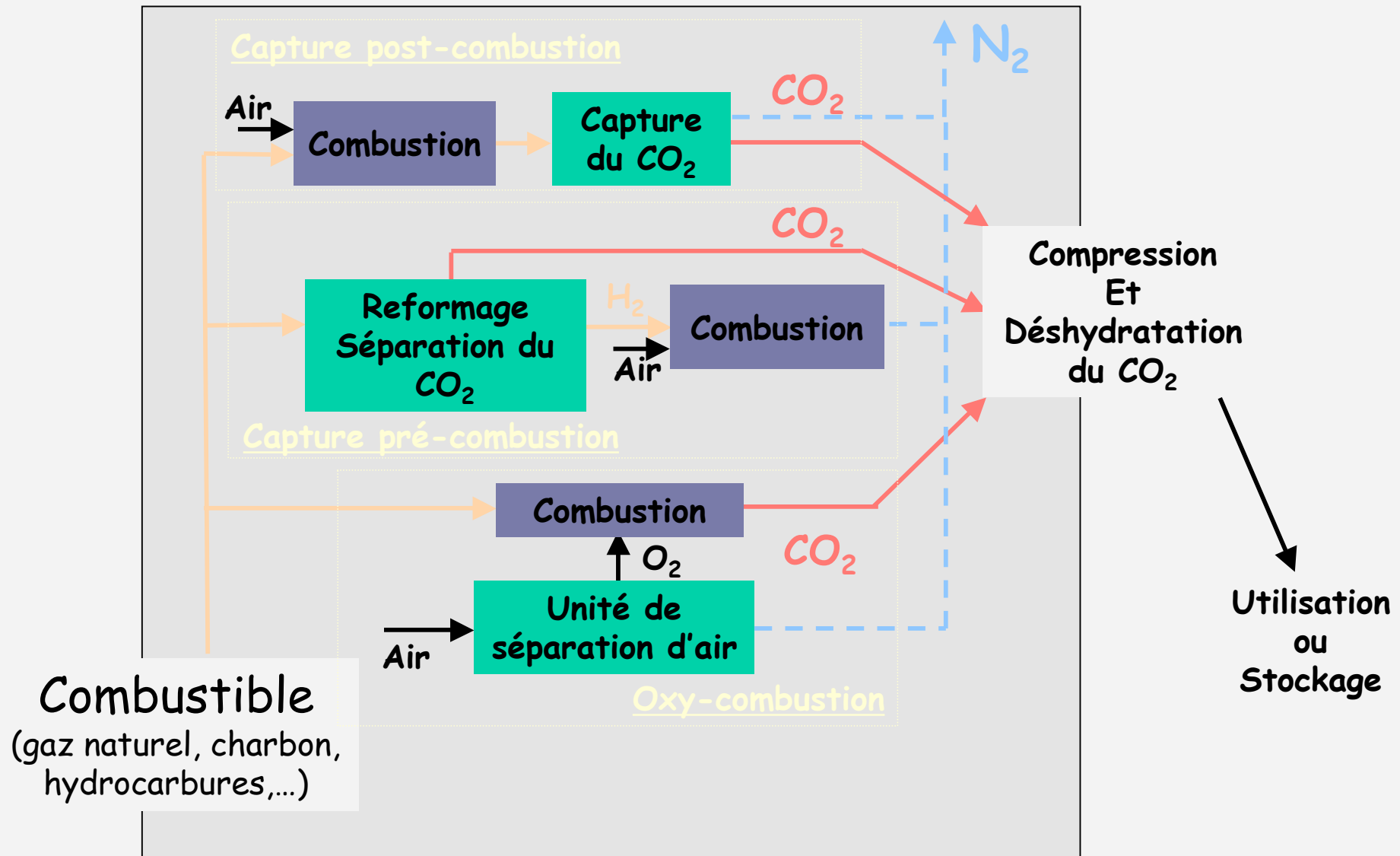
Que devient le CO₂ une fois injecté?



Capture du CO₂



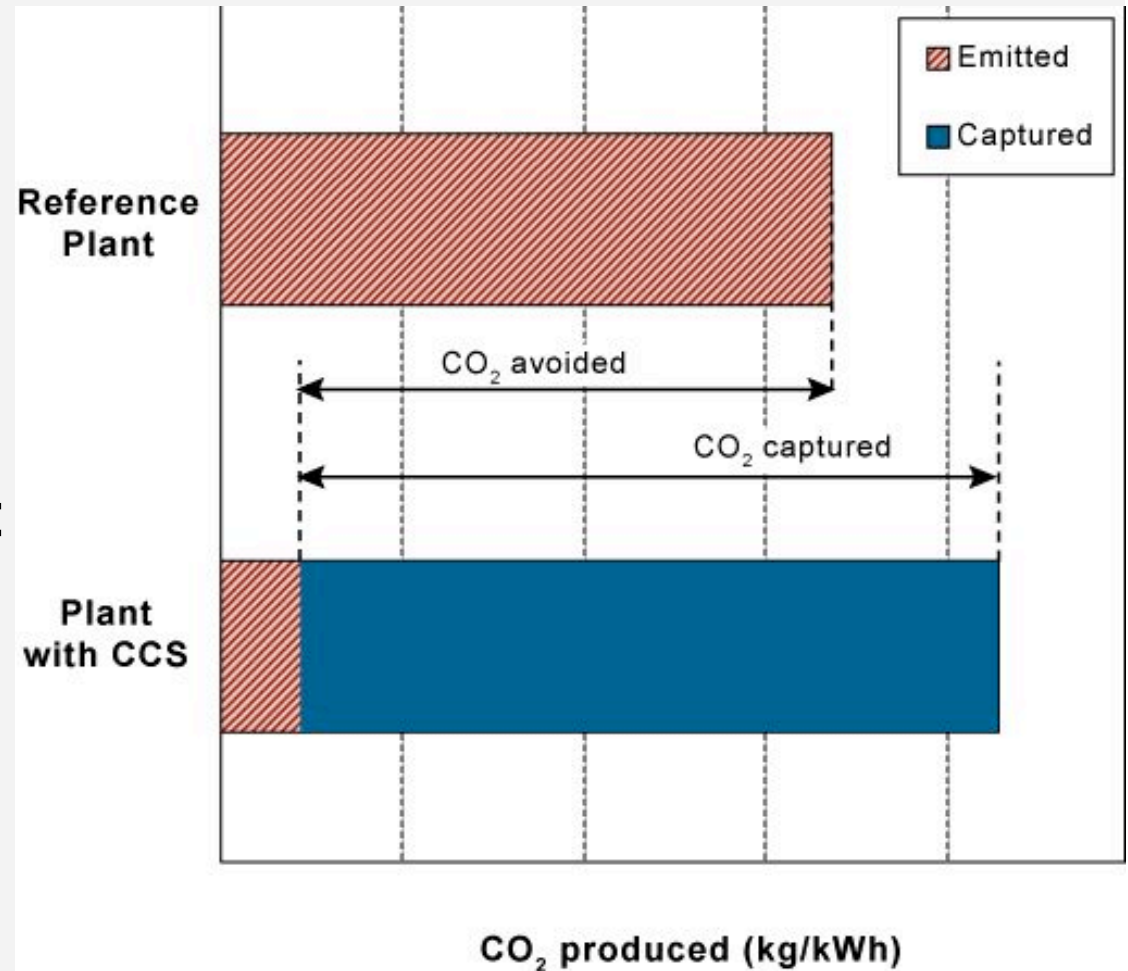
Différents schémas de capture



Mais le procédé consomme aussi de l'énergie!...

- ▶ Consommation supplémentaire d'énergie : 10 - 40%
- ▶ Efficacité de la Capture : 85 - 95%
- ▶ Réduction nette de CO₂ : 80 - 90%

Et on parle donc de CO₂ évité plutôt que capturé.



Exemples d'installation de capture de CO₂



Capture post-combustion de CO₂ sur une centrale électrique à gaz en Malaisie (0.2 MtCO₂/an).



Capture pré-combustion de CO₂ sur une usine de gazéification du charbon dans le Dakota du Nord aux USA (3.3 MtCO₂ / an).

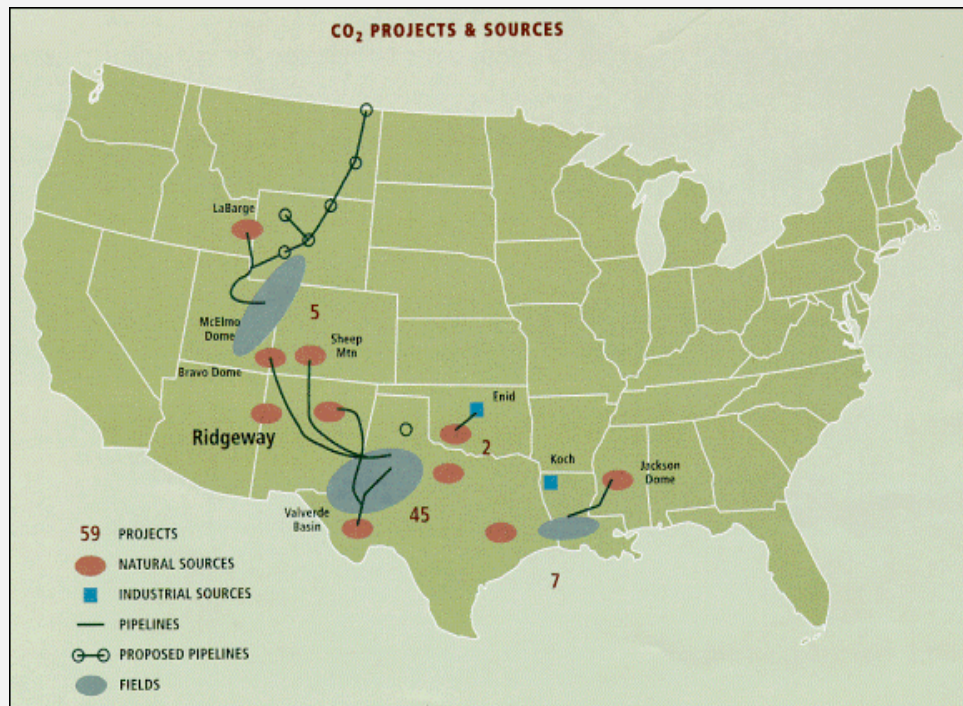
Transport



Transport CO₂

par gazoduc ou bateau

Aux USA: il existe déjà plusieurs milliers de km de gazoducs pour des actions de récupération assistée d'hydrocarbures.



⇒ pas de réglementation

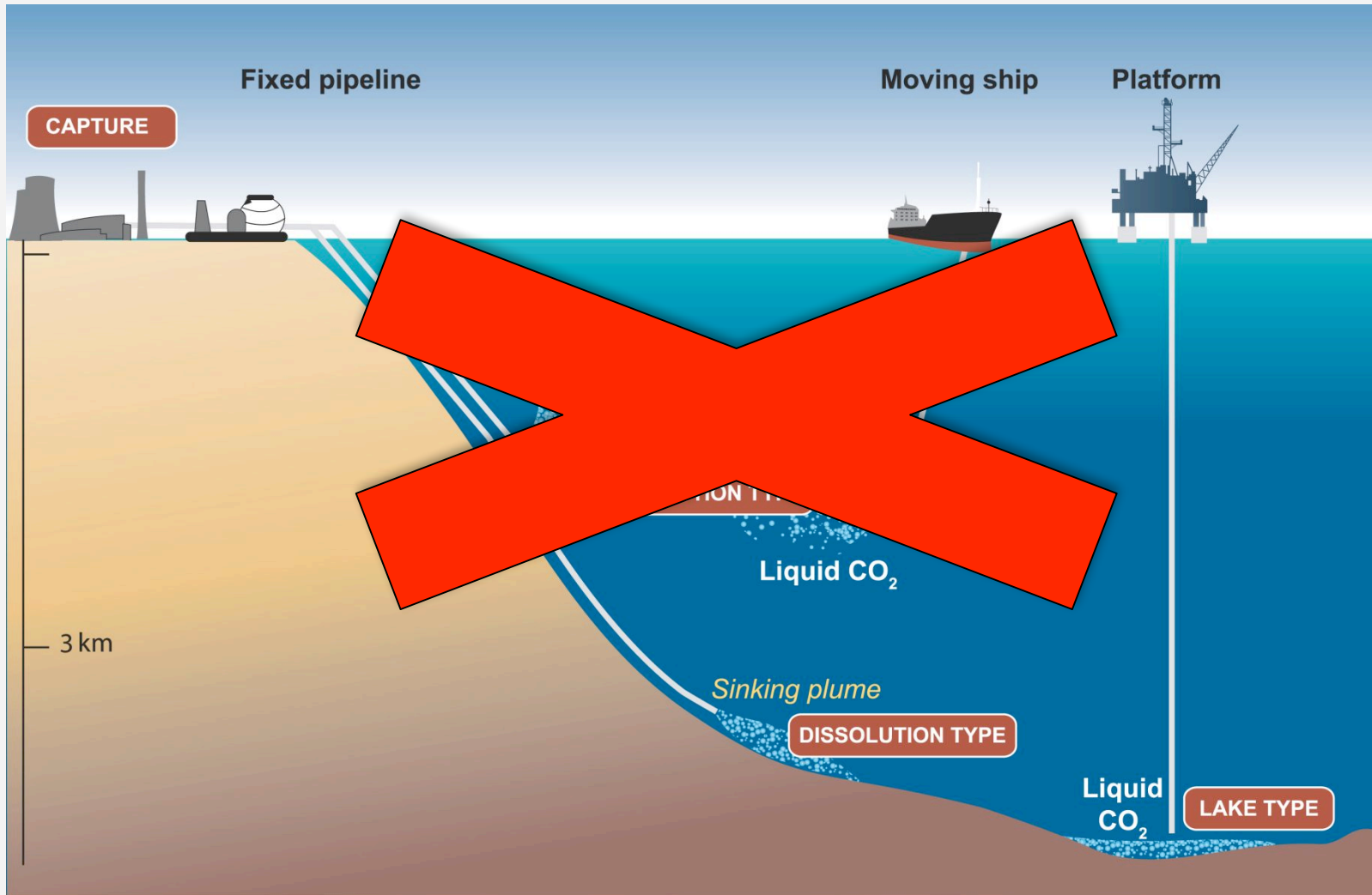
⇒ transport sous forme supercritique

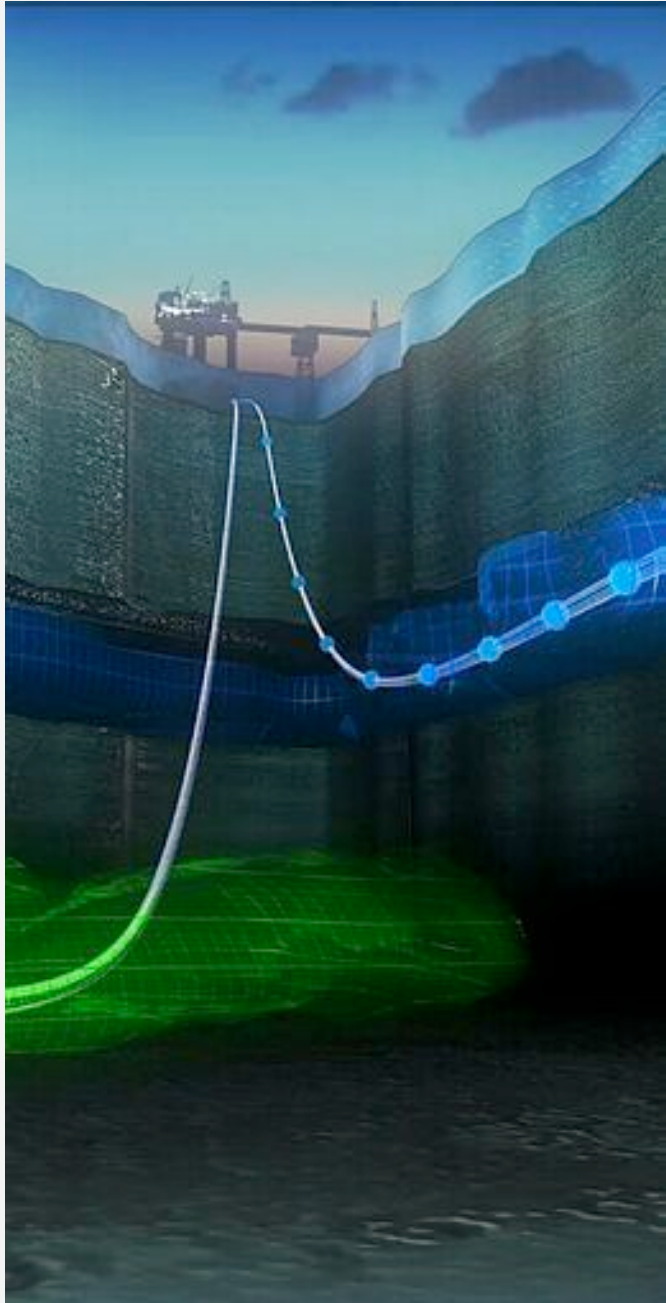
⇒ risque de corrosion/hydrates

Coût du transport :

- Diamètre
- Epaisseur
- Longueur
- Lieu de pose (*on ou off-shore...*)

~~Stockage dans l'océan~~

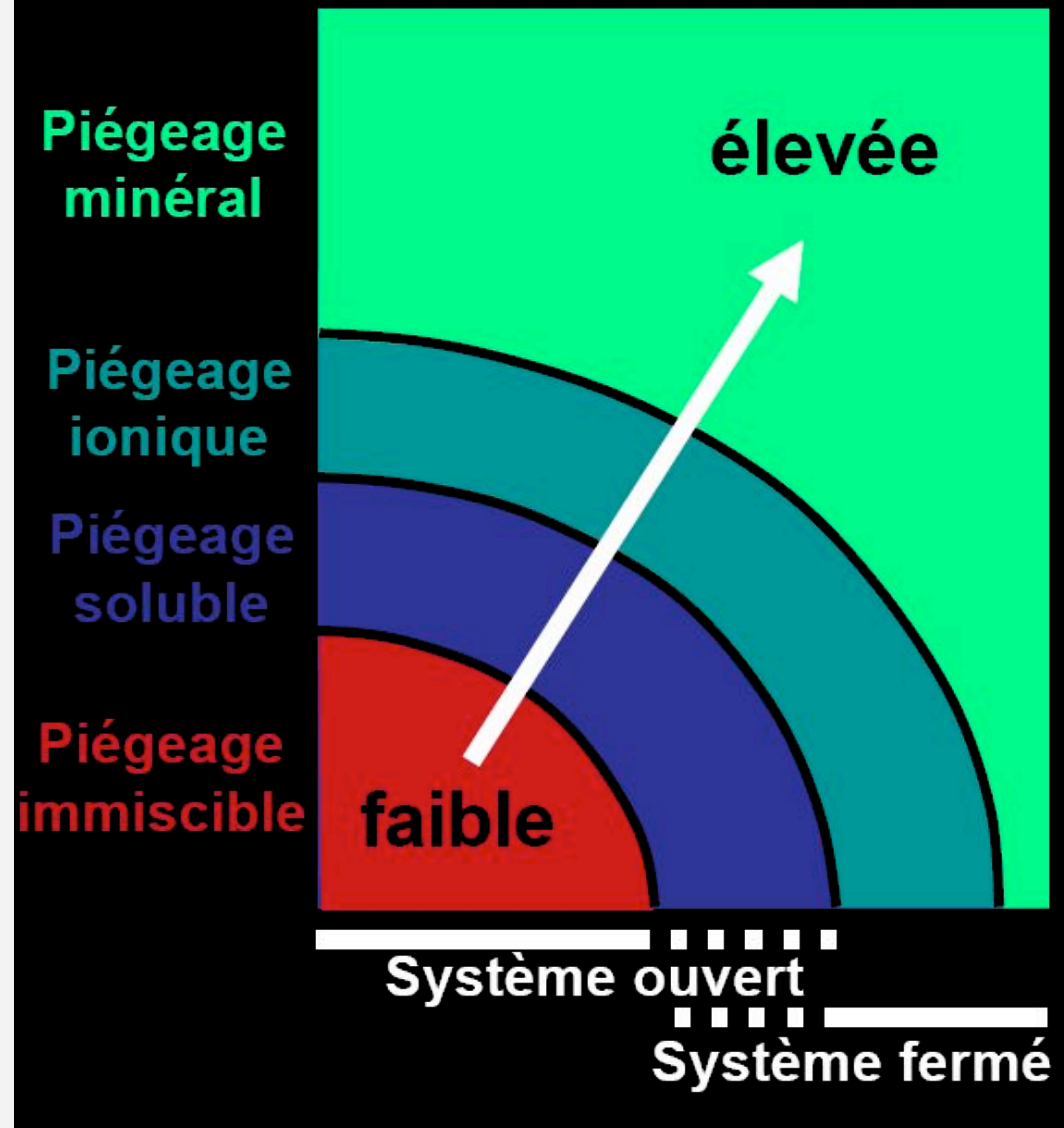




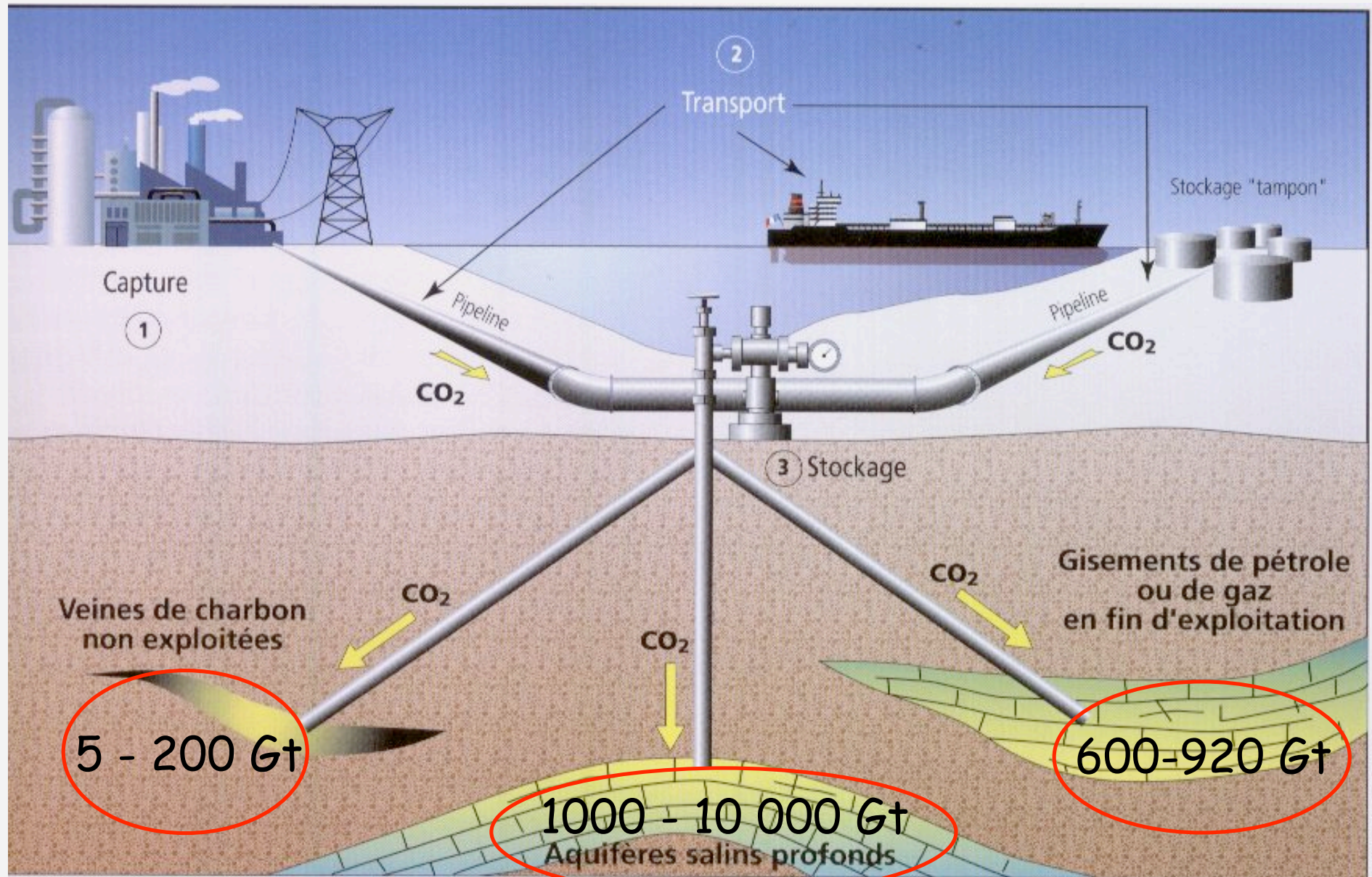
Stockage géologique du CO₂

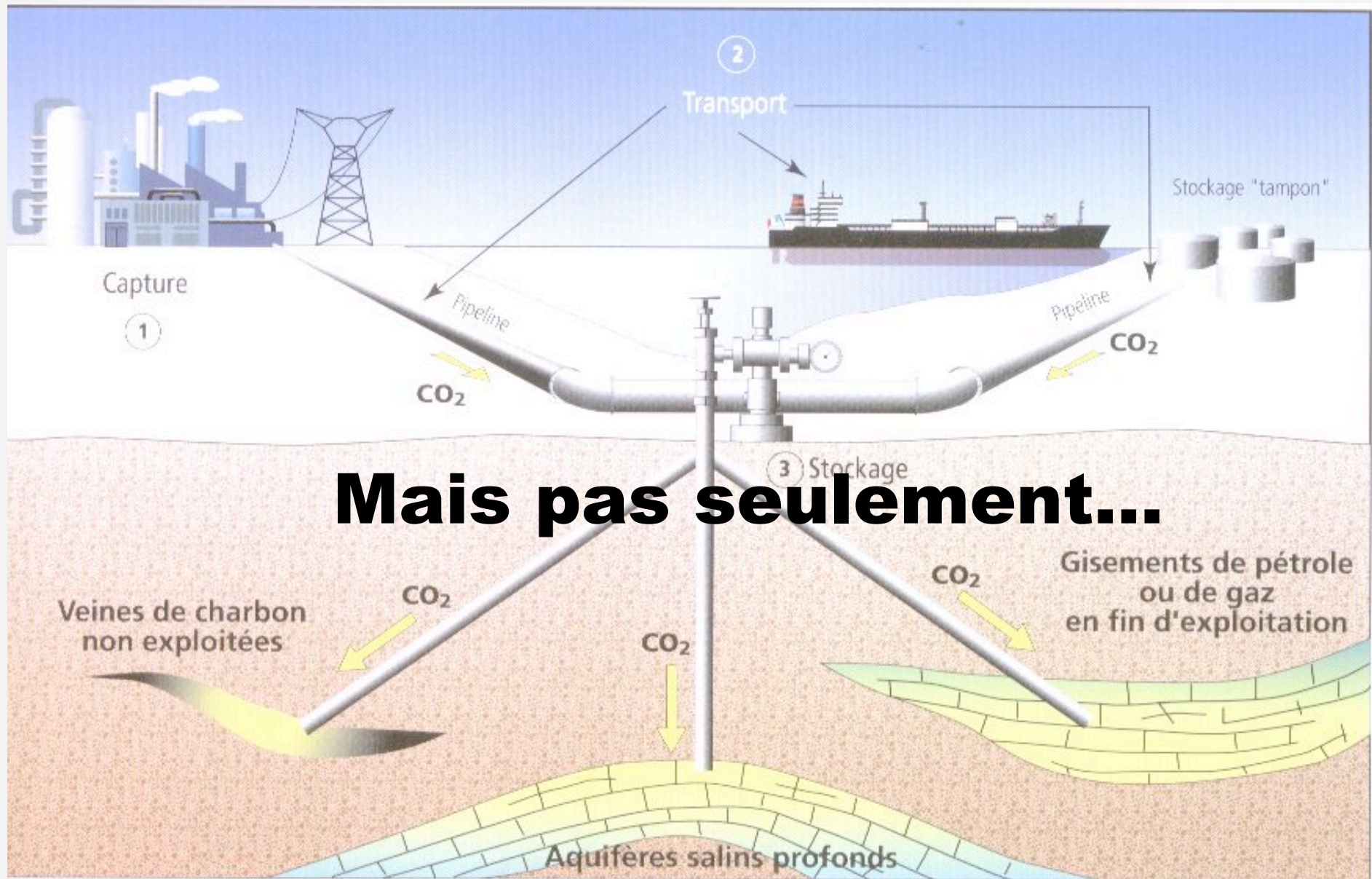
- 1) Type de piégeage
- 2) Grands types de réservoir
- 3) Les sites existants et les projets

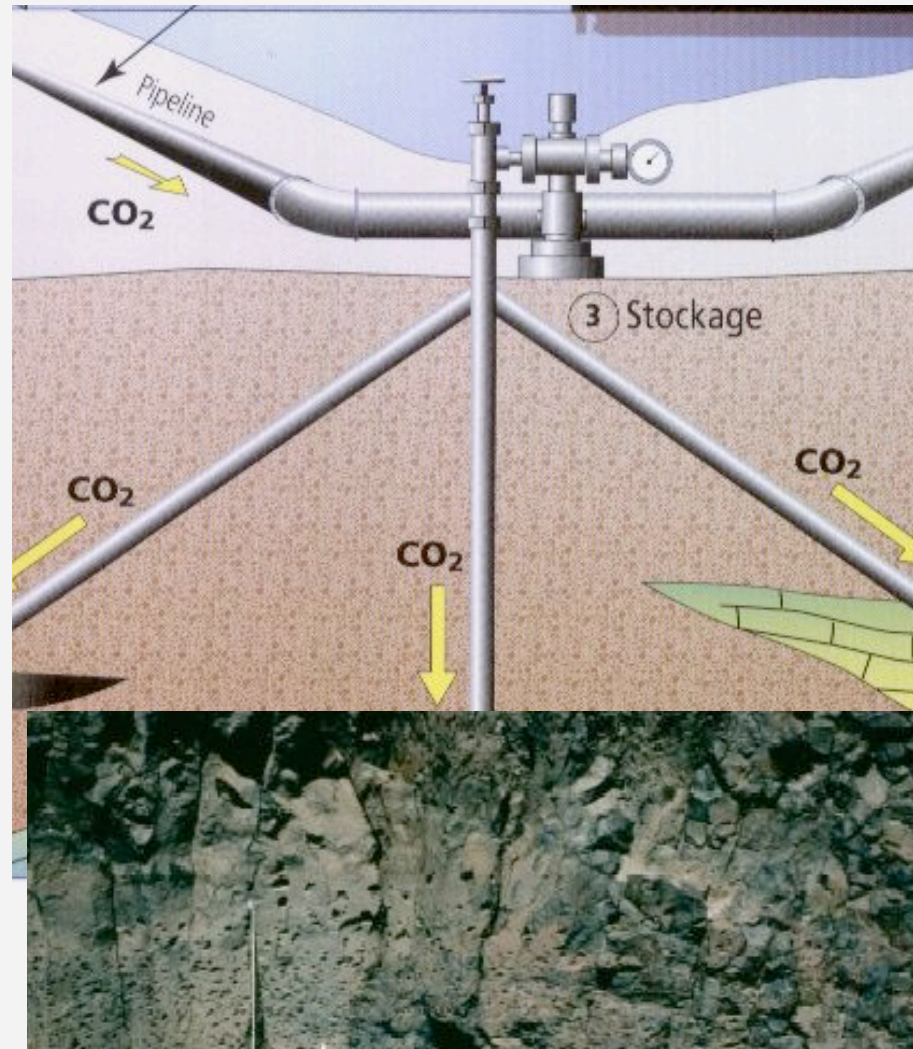
Sécurité du stockage



Formations géologiques concernées







Le grand absent : les roches basiques (séquestration minérale)

Avantages / inconvénients

- ▶ Gisements d'hydrocarbures (huile / gaz)
 - Structures piégeantes
 - Etanches (aux gaz non réactifs)
 - Objets bien connus
 - Intérêt économique via EOR / EGR

- ▶ Veines de charbons (non exploitées)
 - Volumes poreux et perméabilité faibles
 - Récupération de méthane possible

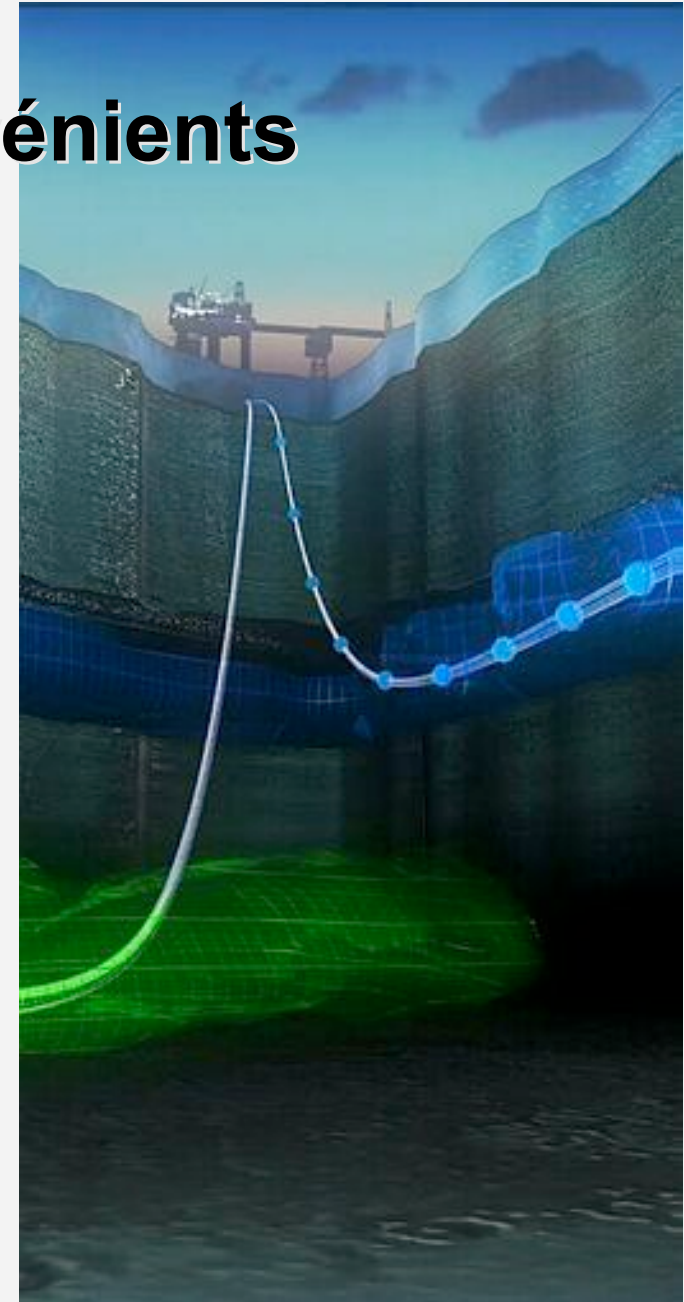
Avantages / inconvénients

▶ Aquifères salins

- Grande capacité de stockage
- Eau non potable
- Généralement peu connus

▶ Roches basiques

- Volumes poreux et perméabilité faibles
- Stockage minéral



Parlons un peu d'argent...

Le coût de la tonne de CO2 évité est la somme des coûts :

- 1) de capture du CO2 + compression,
- 2) de transport du CO2 par pipeline ou bateau sur le site de stockage,
- 3) du stockage du CO2 (caractérisation géologique, injection de CO2, surveillance et monitoring...)

toutes ces technologies sont connues mais nécessitent d'être éprouvées sur des pilotes intégrés à grande échelle.

Coût estimé de la filière en 2007

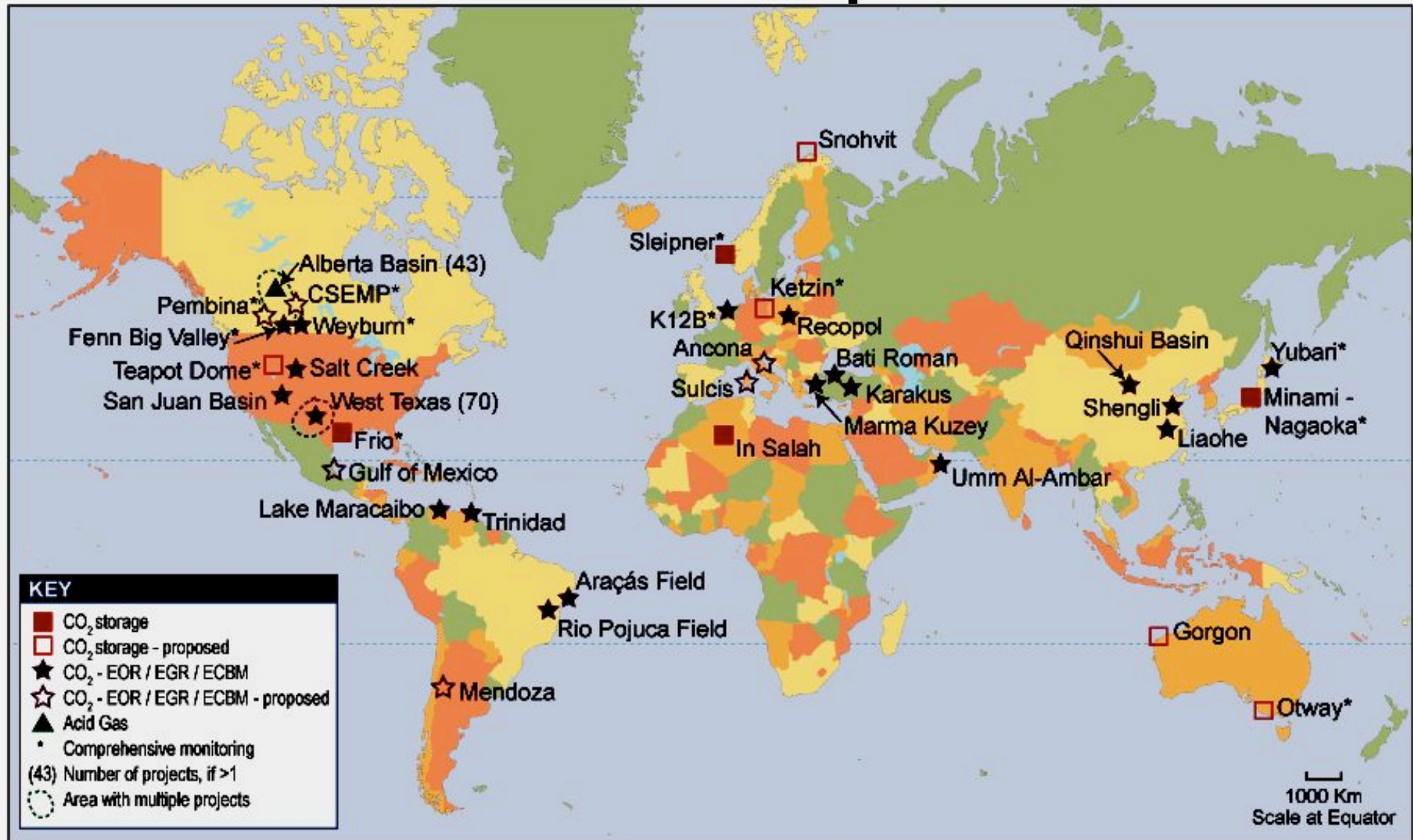


Document : Paula Coussy, IFP

CCS Where?



Stockages géologiques existants et prévus



2007: stockages existants

Projet	Pays	Début injection	injection (tCO ₂ /jour)	Stockage prévu (tCO ₂)	Type de Réservoir
Weyburn	Canada	2000	3 000 – 5 000	20 000 000	EOR
In Salah	Algérie	2004	3 000 – 4 000	17 000 000	Champ Gaz
Sleipner	Norvège	1996	3 000	20 000 000	Aquifère salin
K12B	Hollande	2004	100	8 000 000	EGR
Frio	Etats-Unis	2004	177	1 600	Aquifère salin

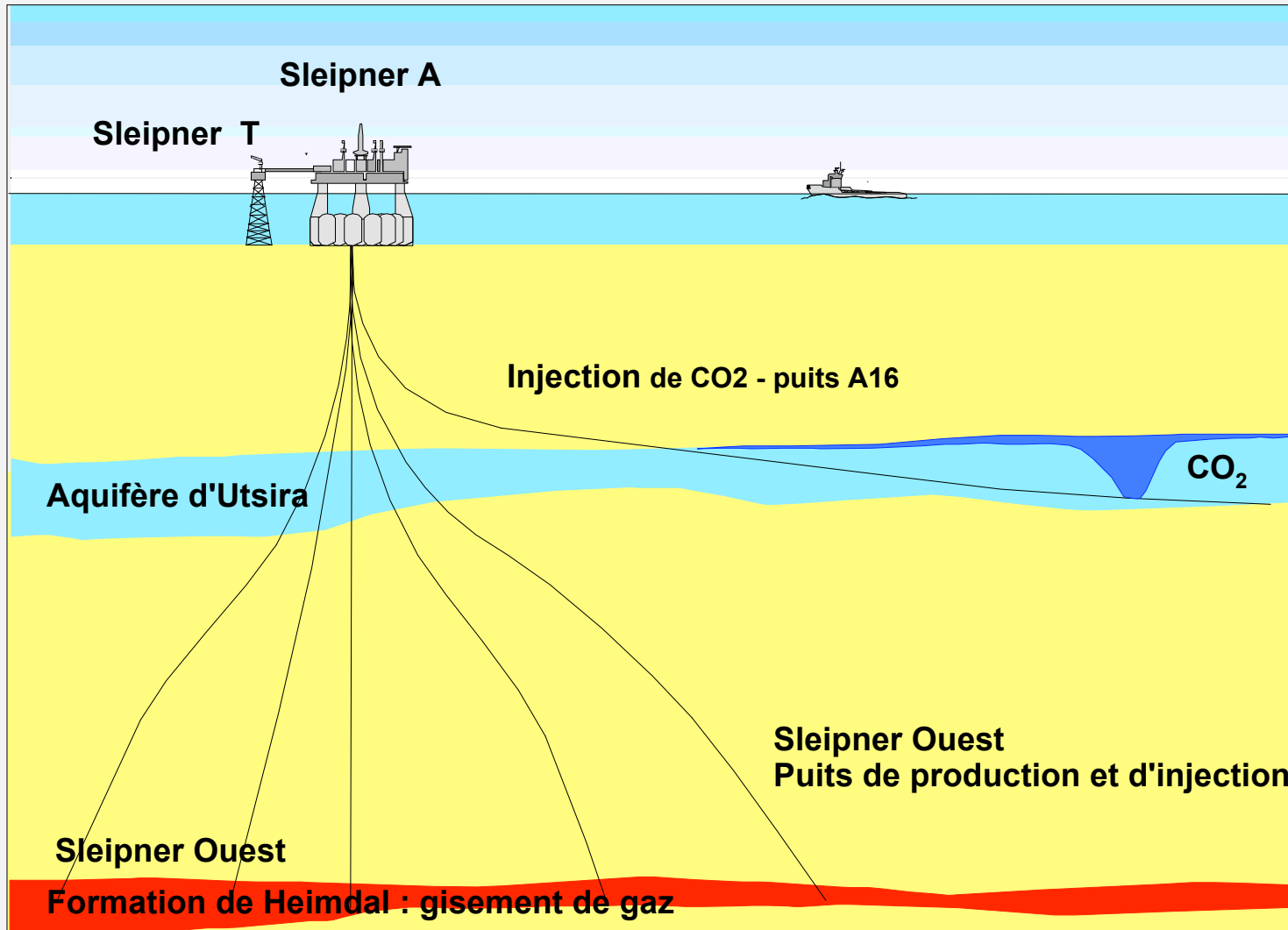
Un exemple de stockage de CO₂ dans un aquifère, champ de Sleipner, Norvège

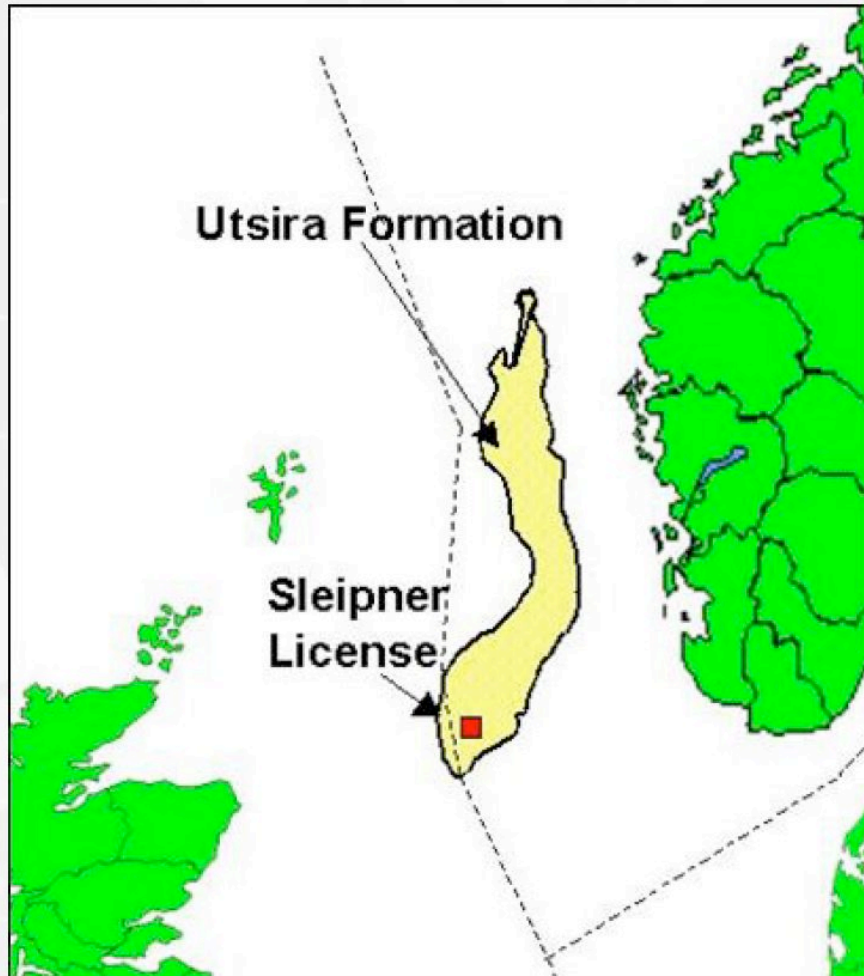


Stockage à Sleipner : pourquoi ?

- Le gaz naturel du gisement de Sleipner contient 9% de CO₂ dans le réservoir.....les spécifications pour la vente du gaz autorisent un maximum de 2,5%
- La décision de réinjecter le CO₂ a été prise en 1991, suite à l'introduction en Norvège d'une taxe sur les émissions de CO₂ de 50 €/tonne CO₂ émise
- L'injection a débuté en septembre 1996 (1 Mt / an)

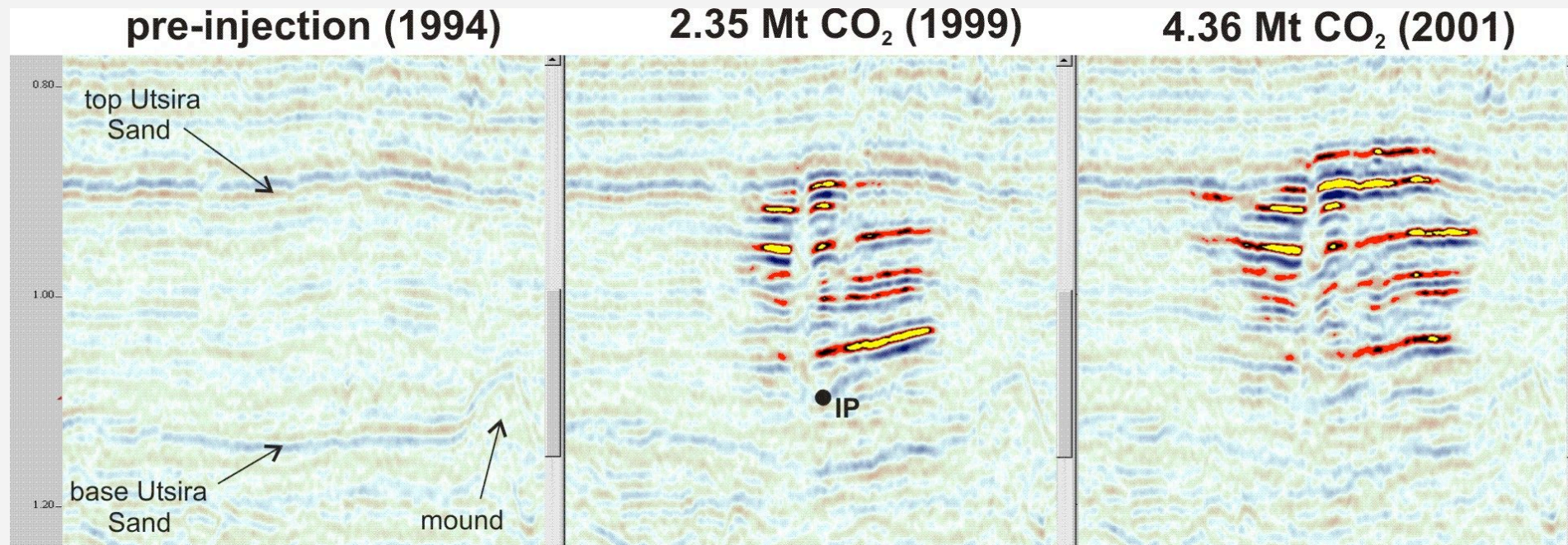
Stockage de CO₂ dans l'aquifère d'Utsira



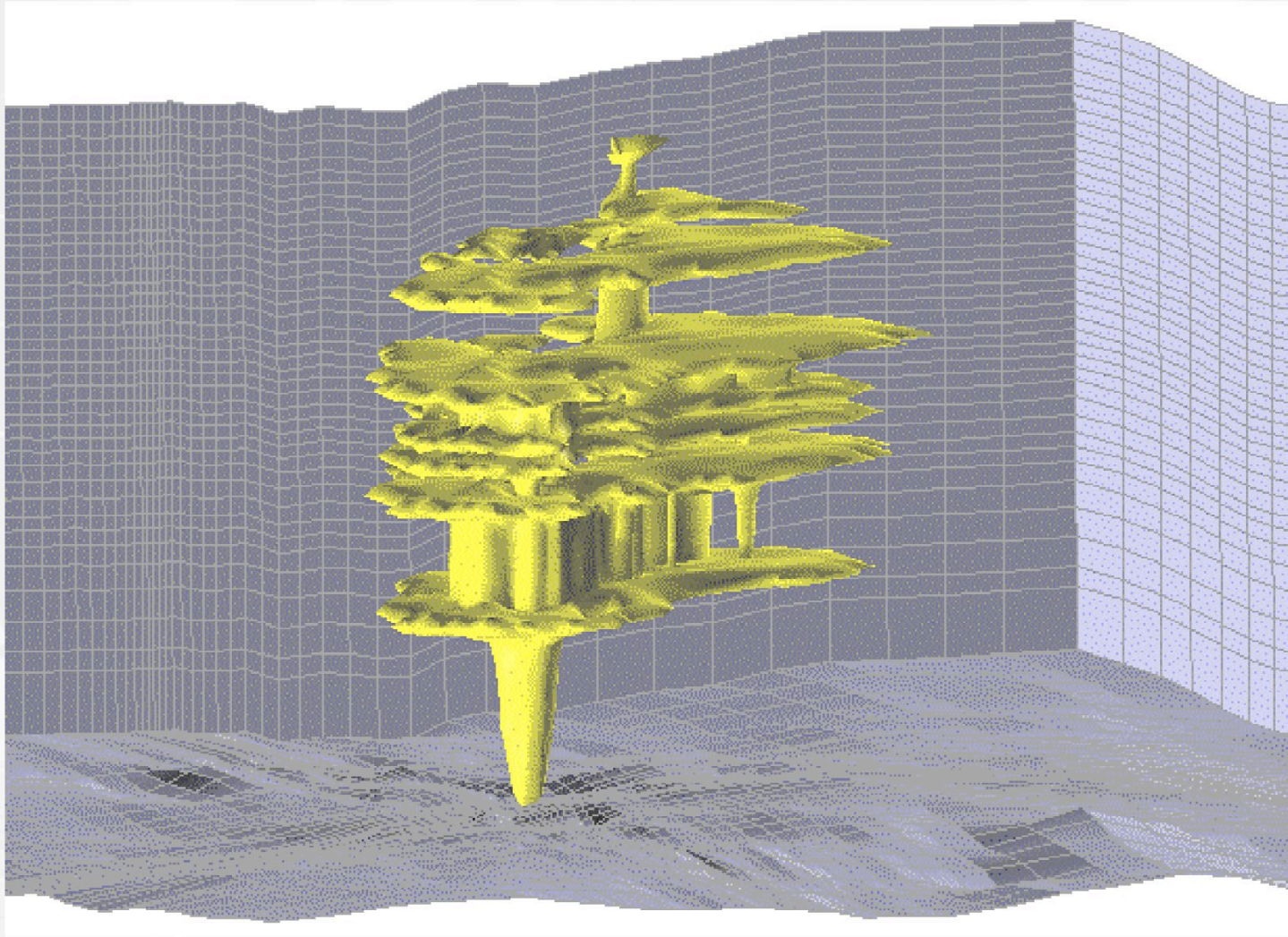


La capacité de stockage représente plus de 1000 fois les émissions annuelles de CO₂ en Europe

Suivi par méthode sismique de l'injection de CO₂



Reservoir model of CO₂ after 3 years



Source: SACS, Best Practise manual 2003

Le stockage géologique du CO₂ en France

(d'après documents BRGM de janvier 2007)

Les objectifs de réduction de CO₂ en France

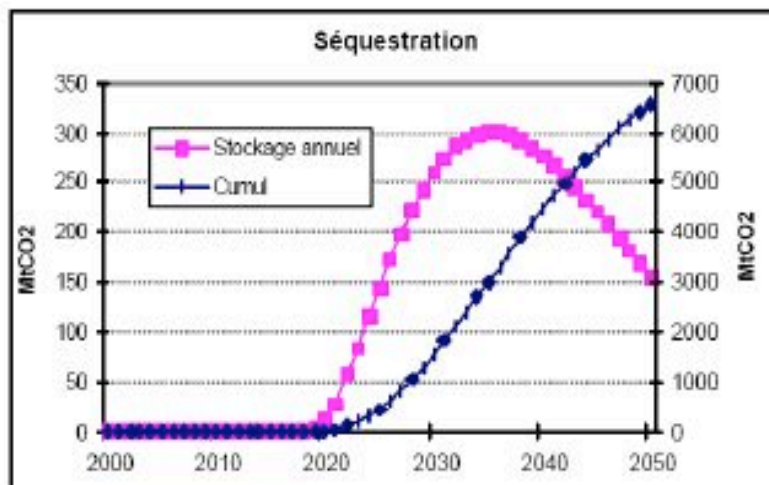


Rapport P. Radanne, MIES, 2004

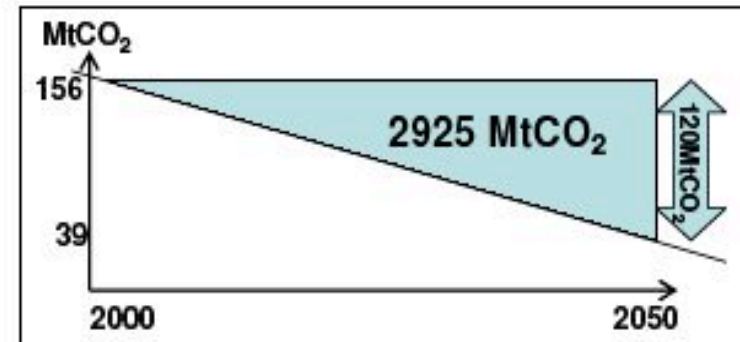
> La division par 4 – rapport du MEDD

- Limiter la concentration du CO₂ à moins de 450 ppmv, et tenter de contenir le réchauffement mondial à moins de 2°C, c'est diviser les émissions mondiales de GES par deux
- Assumer cet objectif tout en garantissant le développement des pays du Sud, c'est **diviser par 4 les émissions des pays industrialisés**

Les scenarii à l'horizon 2050



Rapport ENERDATA, DGEMP, 2005



- émissions de CO₂ en 2004: environ 535 Mt
- quotas pour les unités industrielles (20MW/10ktCO₂) : environ 156 MtCO₂/an

> Conséquence

- Être en mesure d'offrir des capacités de stockage de l'ordre de **100 à 300 MtCO₂** par an
- Disposer d'une capacité de **5 à 10 GtCO₂** en France



Document : Didier Bonijoly, BRGM

Des gisements naturels de CO2 existent

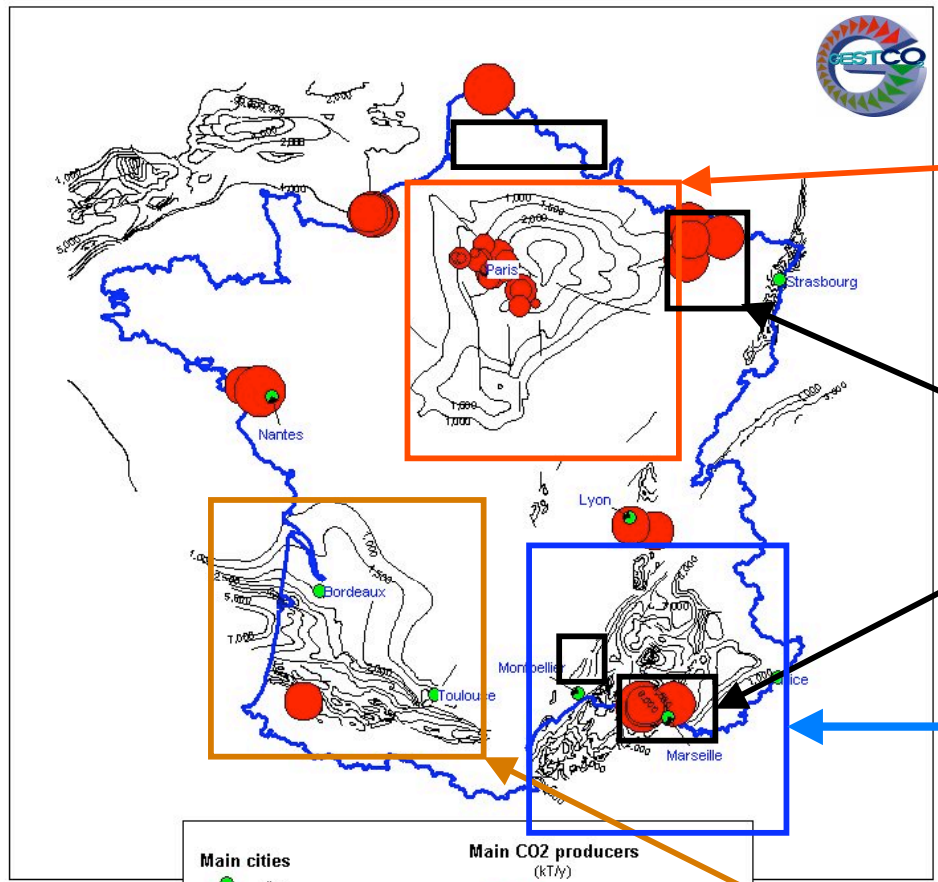


Stockages de gaz en aquifères profonds

Plusieurs sites
exploités depuis
50 ans



Les capacités de stockage en France

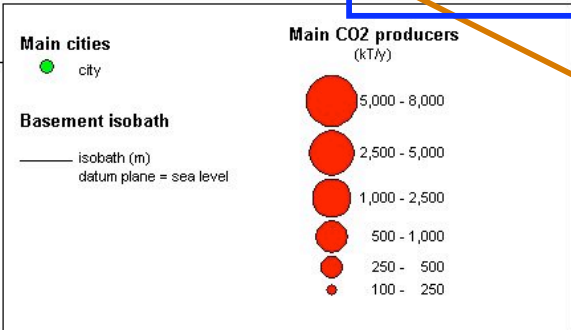


Bassin de Paris
 Aquifères : 26 000 Mt
 Gisements d'HC : 100 Mt

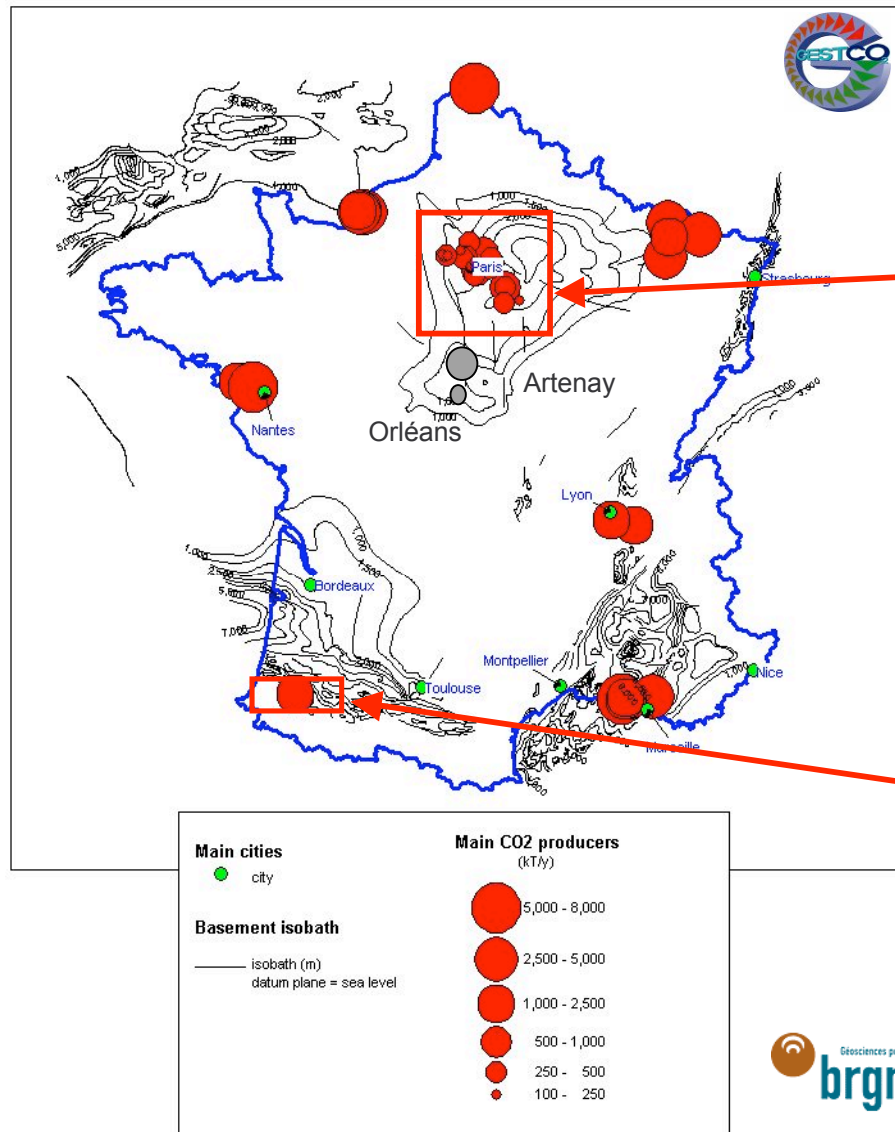
Bassins houillers
 (300 – 500 Mt)

Bassin du Sud-Est
 Aquifères : non évalué

Bassin d'Aquitaine
 Aquifères : non évalué
 Gisements d'HC : 560 Mt



Identification de sites pour pilotes de démonstration en France



Bassin de Paris Projets CPER :

- en Ile de France (émission fossiles)
- en région Centre (biomasse)

Bassin Aquitain

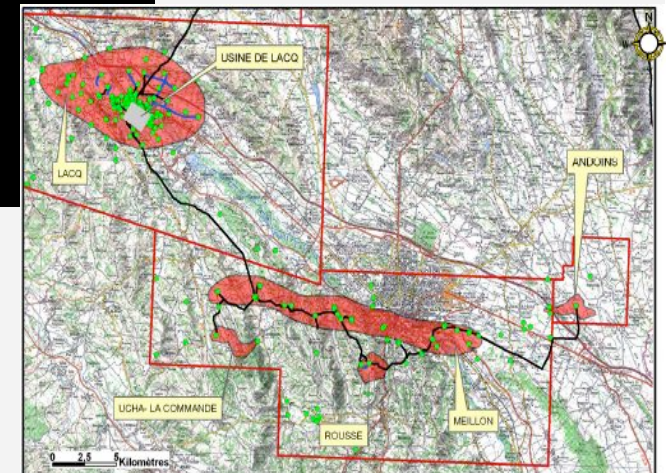
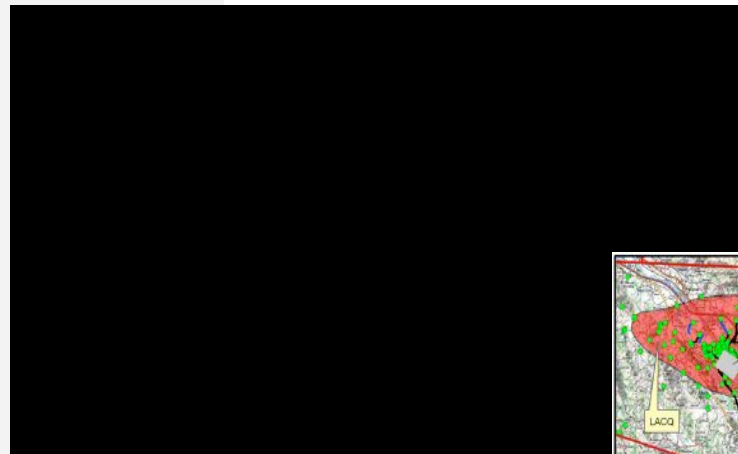
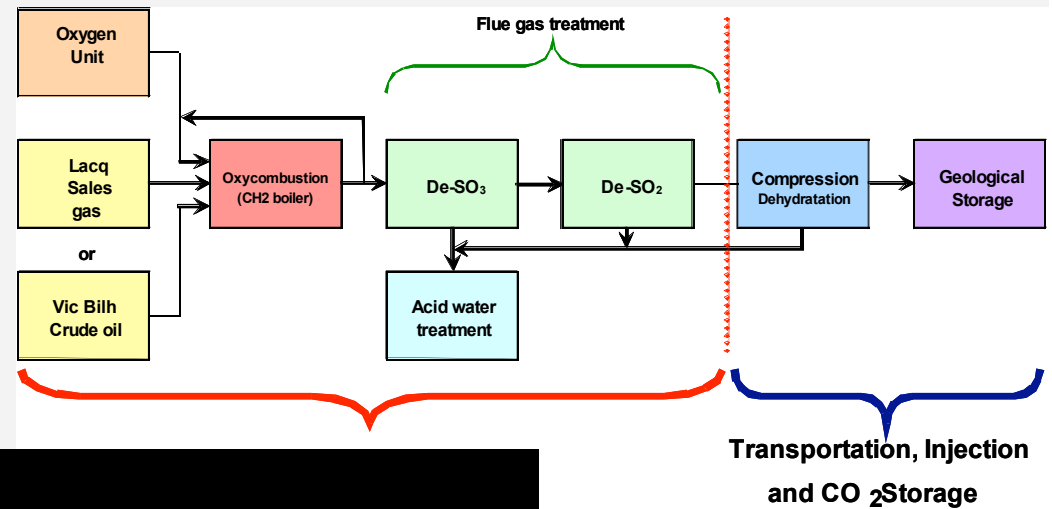
Lacq

Un projet de démonstration intégré sur site industriel
TOTAL

Pilote d'oxycombustion et de stockage de Lacq

Caractéristiques:

- ✓ Centrale Oxy-combustion 30MW
- ✓ Par revamping d'une centrale 35MW conventionnelle
- ✓ Combustible liquide riche en sulfure
- ✓ Traitement innovant des gaz d'émission
- ✓ Transport et injection dans un satellite
- ✓ Stockage de 150 kt de CO₂ dans un réservoir épuisé
- ✓ Démarrage 2008



La filière CSC présente encore de formidables défis techniques et scientifiques

- (1)** sélection des meilleurs types de réservoirs (charbon, roches basiques/ultrabasiques, aquifères salins, réservoirs d'hydrocarbures appauvris);
- (2)** modélisation de l'injection de grands volumes de gaz dans des réservoirs géologiques;
- (3)** contrôle et gestion des processus d'injection au niveau du forage et du réservoir;
- (4)** prédiction du devenir des GES stockés sur des milliers d'années après l'injection;
- (5)** choix des outils adaptés pour la surveillance du site afin d'anticiper les fuites éventuelles.

Et pour conclure.....



La CSC présente des enjeux économiques considérables :

Conseil Européen du 20 février 2007 :

objectif de -20% de réduction des émissions de GES en 2020 (par rapport à 1990)

- avec **d'ici 2020** un gain de 20% d'efficacité énergétique et 20% de l'énergie d'origine renouvelable

- **dès 2020**, toute nouvelle centrale charbon **devra être** équipée d'un dispositif de capture de CO₂ :
 - ❑ ZEP : Zero Emission fossil fuel power plant Platform
→ vers zéro émission de CO₂ !
 - ❑ 12 pilotes en Europe d'ici 2014, représentant 1740 MW et 12 Mt CO₂/an de stockage

Vers un déploiement de projets industriels



Sources documentaires :

- BRGM www.brgm.fr
- club CO2 (ADEME) www.clubco2.net
- CO2SINK www.co2sink.org
- ENERDATA www.enerdata.fr
- GIEC www.ipcc.ch
- IFP : www.ifp.fr
- IPGP www.ipgp.fr
- MIES www.effet-de-serre.gouv.fr
- STATOIL www.statoil.com
- TOTAL www.total.fr