



CIRENE : Centre d'Initiative et de Recherche **dans le domaine ENergie - Environnement**

**ASSOCIATION LOI 1901,
SCIENTIFIQUE ET INDEPENDANTE**

OBJECTIFS : ETUDES PLURIDISCIPLINAIRES

- **Etudes socio-technico-économiques (ADEME, USINOR, COGEMA, GDF,...) liées à l' EFFET DE SERRE**
- **Synthèses (COP LaHaye, Académie des Technologies)**

INFORMATIONS

- **Grand public (Mairie, Ecoles, Université,...)**
- **Milieus institutionnels**
- **Milieu scientifique Environnementaliste (congrès, séminaire,...)**

ATOUTS :

- **EXPERT CO2 – Académie des Technologies**
- **RESEAUX DE SPECIALISTES DE HAUT NIVEAU (CNRS - INRA – IFREMER – CEA – Ingénieries ...)**
- **VITRINE DE PROMOTION – SOURCES D'ENERGIES NON POLLUANTES VIS A VIS EFFET DE SERRE**



CIRENE



<http://www.cnrseditions.fr/>



Réunion du 21 Avril

2005

C U E P E

Genève

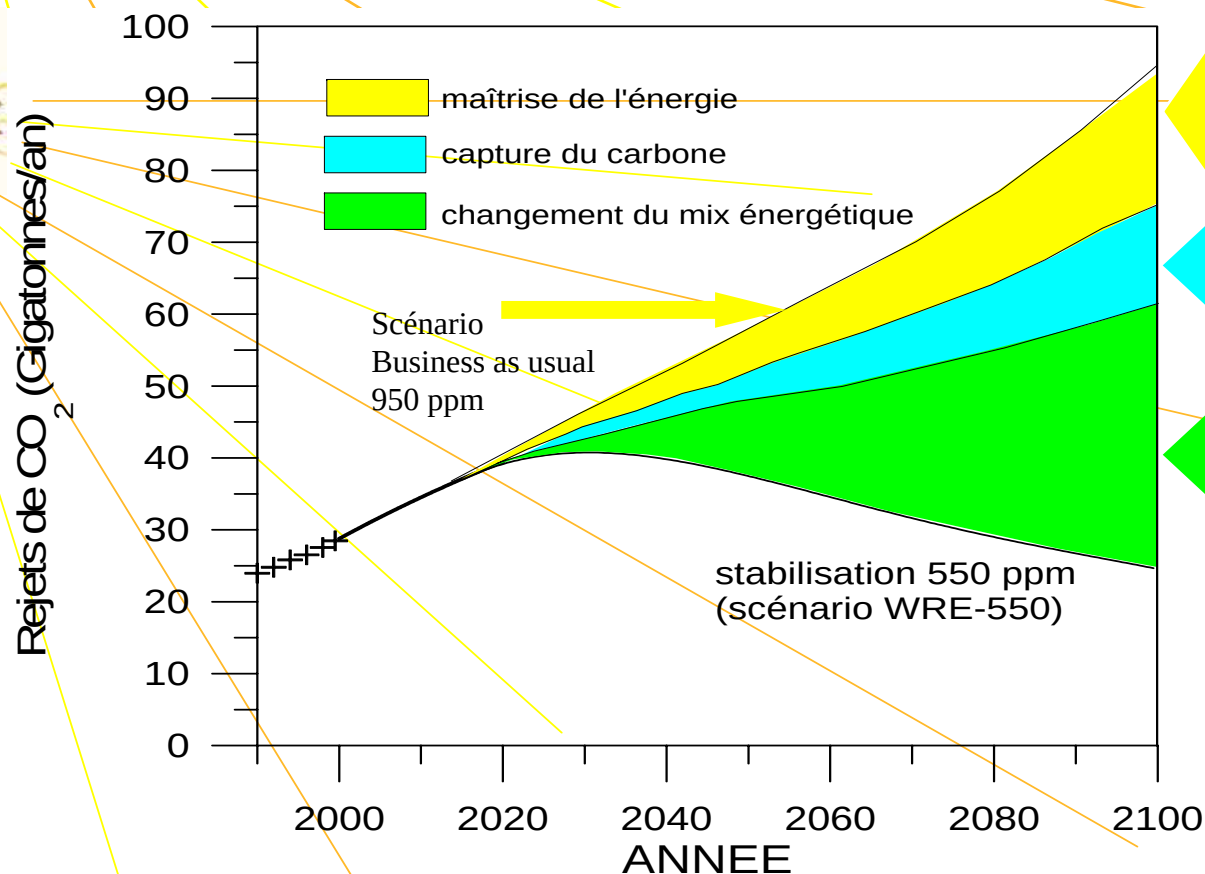
Revue

CO₂



D'après les données du World Energy Council (2000) et de l'IPCC (2001)

LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE EST UN OBJECTIF
AMBITIEUX MAIS DIFFICILE
SACHANT QUE LA CROISSANCE
ÉCONOMIQUE ENTRAÎNE UN ENRICHISSEMENT
DE LA POPULATION ET DONC DES DEPENSES
ÉNERGETIQUES SUPPLÉMENTAIRES
(CONSOMMATION DE BIENS ET SERVICES,
VOYAGES,...)



LA CAPTURE ET LA SEQUESTRATION
DU CO₂ SONT DES SOLUTIONS
LIMITÉES MAIS
INDISPENSABLES ET A
DEVELOPPER
TRÈS RAPIDEMENT

LE CHANGEMENT DU « MIXTE
ÉNERGETIQUE » DOIT FOURNIR
LE RESTE DE LA RÉDUCTION
DES ÉMISSIONS. POUR CELA,
IL FAUT MOBILISER
L'ENSEMBLE DES FILIÈRES
ÉNERGETIQUES
NON-ÉMETTRICES DE CO₂



LES TROIS GRANDS AXES POUR RÉALISER LA STABILISATION DU CO₂ À 550 ppm

Revue

2005

Genève

CO₂



Problématique du CO₂ industriel

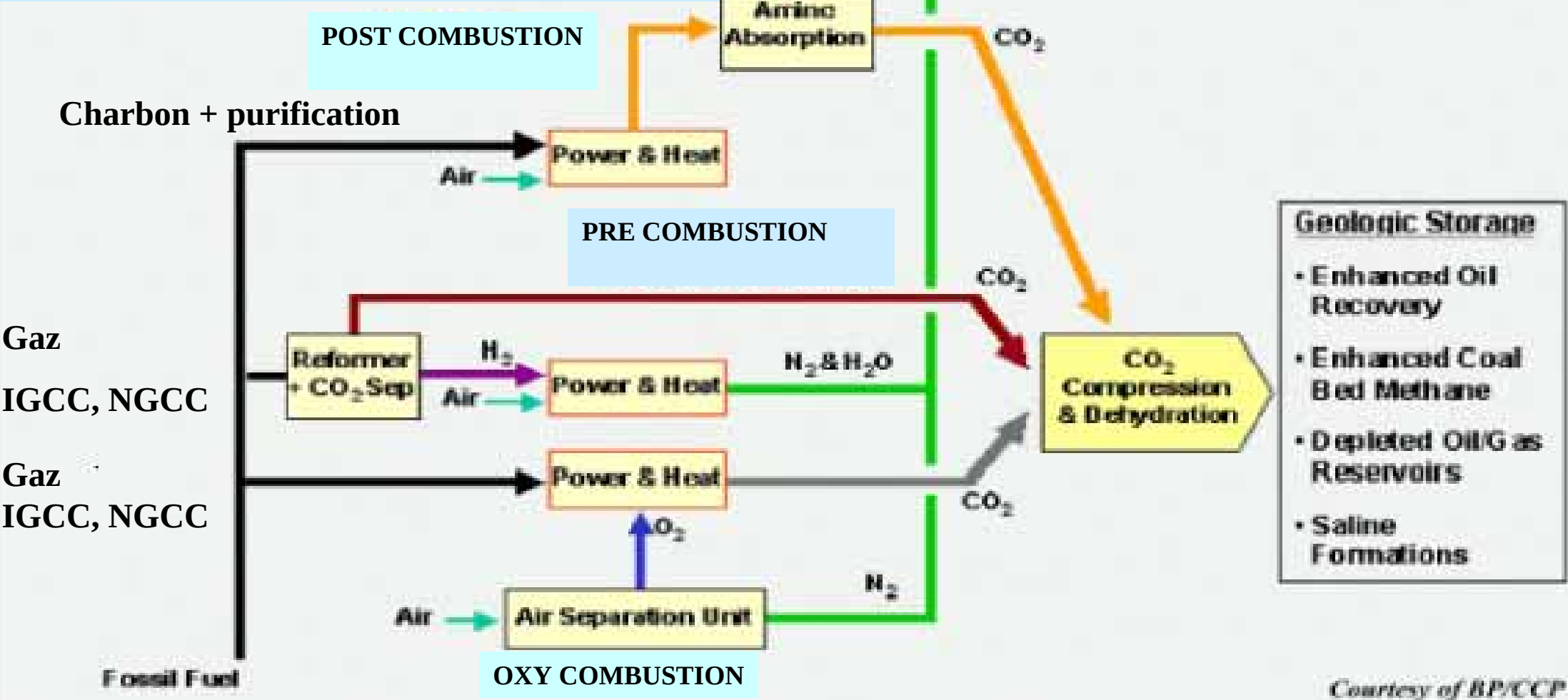
R.Ducroux

- La capture
 - Le transport
 - Le recyclage
 - le stockage
-
- Les projets en cours

+ Coûts



LA CONFIGURATION des CENTRALES pour la CAPTURE du CO₂



Flow diagram of various CO₂ capture and storage technologies



Process	Methods	Capturing elements
Adsorption on a solid	PSA TSA ESA	Zeolithes, Oxides Molecular sieves polymers
Chemical Absorption	Absorber Stripper	MEA, DEA, MDEA, KS1-2-3 (MHI) Silicates, carbonate
Hybrid Sorbent + Amine	Absorber Stripper	1 + 2
Physical absorption	Absorber Stripper	Selexol Rectisol, Purisol Propylene carbonate
Membranes	Contactor Separator	Polymer Porous or microporous oxides, Metal
Hybrid Solvent + membrane	Separator Absorber	3 + 2
Cryogenics	Compression Cooling, PSA	

Les
procédés
de
capture
du CO₂



ABSORPTION CHIMIQUE



ABSORPTION Chimique (MEA, DEA,...) est le principal procédé sur le marché (ABB, Fluor Daniel, MHI)

Les avantages et les inconvénients sont bien connus

La R&D se développe pour:

- Limiter les pertes de solvant
- Eviter la formation des sels
- Eviter la corrosion...
- ➡ • Trouver des nouveaux solvants (sel fondus, carbonate, oxyde de lithium,...)

➡ Filtrage en amont pour ne garder que le CO₂

↓
Hybrides: Adsorbant et membranes / solvant





Les adsorbants

Moles of CO₂/kg at
100 kPa (1b-14.5psi)

Moles of CO₂/kg
at 2 MPa(20b-290psi)

Synthetic Zeolite Z10-08

2.5 - 3

7 - 8

Synthetic Zeolite Z10-10

2.5 - 3

6 - 8

Natural Zeolites

Na Alumino Silicate 1

1 - 1.5

4 - 5

Na Alumino Silicate 2

0.5 - 1

2 - 2.5

Ca K Alumino Silicate

0.1 - 0.2

1 - 1.5

Natural zeolite GSA ZS500A

4.5

Activated carbon

7 - 8

composite CFCMS

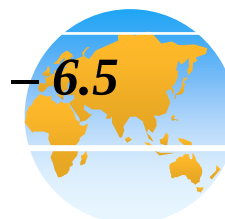
3 - 4.5

**Polyethyleneimine PEI
(molecular sieve)**

3 - 4.5

Molecular sieve 13 X

5.5 - 6.5



Réunion du 21 Avril

C U E P E

Revue

2005

Genève

CO₂



MEMBRANES

Type

Organic(Polymer)

PTFE, PBI,PES

Polym.ceram. Compos.?

Porous, mporous

Silica, alumina,

Dense ceramic

Silica, alumina

Aluminosilicate

Metallic (Pd)

Pd on metal,

ceramic ?

Advantages

High pressure

Possib high T 400C (PBI)

H₂, CO₂, CH₄

High permeability,

High T (over 600 C)

Cheap

High permeability, high T

Selectivity with H₂ (< 2nm)

No pore clogging

Cheap

High flux, Selective to H₂

No sensitivity to CO₂, H₂O

Drawbacks

Low permeability

Short life / metallic

**Not easy to fabricate
(defect)**

Stability with CO₂, H₂O ?

Low flux

Stability with CO₂, H₂O ?

**Cracks, brittle with H₂
cycling**

Cost, cermet ?



Réunion du 21 Avril

2005

C U E P E

Genève

Revue

CO₂



LES SYSTEMES HYBRIDES

- **ADSORBANT + ABSORBEUR**

Améliore le contact gaz-liquide

La capacité d'absorption est fortement augmentée

L'étape de désorption nécessite moins d'énergie (moins d'impuretés)

- **MEMBRANE + ABSORBEUR**

Meilleure sélectivité

Réduction de la taille des équipements





Les coûts de la capture

IPCC 2005, Special report on CO₂ capture and storage

Coût du CO₂ capturé en \$/t CO₂:

$$\frac{(\text{Coût électricité})_{\text{capt.}} - (\text{Coût électricité})_{\text{Réf}}}{\text{CO}_2 \text{ capt./kWh}}$$

CO₂ capt./kWh

Coût du CO₂ évité en \$/t CO₂ :

$$\frac{(\text{Coût électricité})_{\text{capt.}} - (\text{Coût électricité})_{\text{Réf}}}{(\text{CO}_2/\text{kWh})_{\text{Réf}} - (\text{CO}_2/\text{kWh})_{\text{capt}}}$$

(CO₂/kWh)_{Réf} - (CO₂/kWh)_{capt}

Type de centrale Capture procédé actuel	Coût CO ₂ Capturé US\$/t CO ₂	Coût CO ₂ Évité US\$/t CO ₂	Remarques
Nouvelle centrale au charbon (460-520 MW)	31 – 44 M35	45 – 55 M50	MEA
Centrale existante au charbon (140-300 MW)	31 - 56	45 – 67	MEA
Gaz naturel		35 - 36	MEA
IGCC	18 – 29 M24	13 – 35 M25	Selexol
Production H ₂ (gaz et Charb)	14 - 20		MDEA+PSA
Oxy combustion	30	8 - 41	NGCC/O2
Multiproduit (H2 + Elect.) Charbon (1000MW)		0 - 5	Selexol

Réunion du 21 Avril

C U E P E

Revue

2005

Genève

CO₂



CONCLUSIONS CAPTURE

- L'ABSORPTION CHIMIQUE EST TOUJOURS LE PRINCIPAL PROCEDE DE CAPTURE SUR LE MARCHE
(Fluor Daniel – MHI – ABB)**
- LES SYSTEMES HYBRIDES (membranes et adsorbant +MEA)
SEMBLENT AVOIR UN REEL POTENTIEL POUR L'AVENIR**
- COUTS : TENDANCE A LA BAISSSE en particulier avec les nouvelles centrales multi produits (0 – 30 \$/t CO₂)**





LE TRANSPORT du CO₂

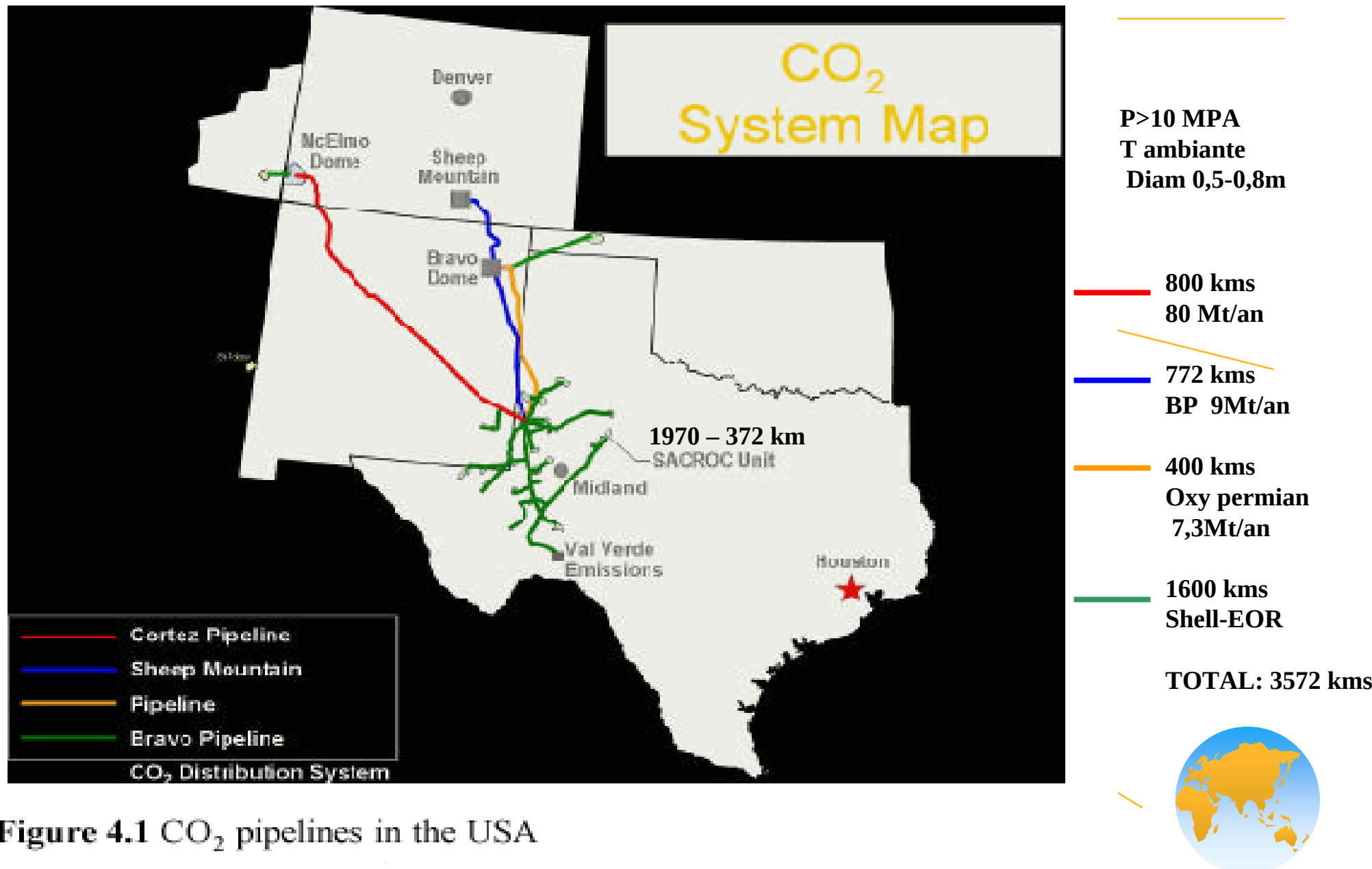


Figure 4.1 CO₂ pipelines in the USA

Réunion du 21 Avril

C U E P E

Revue

2005

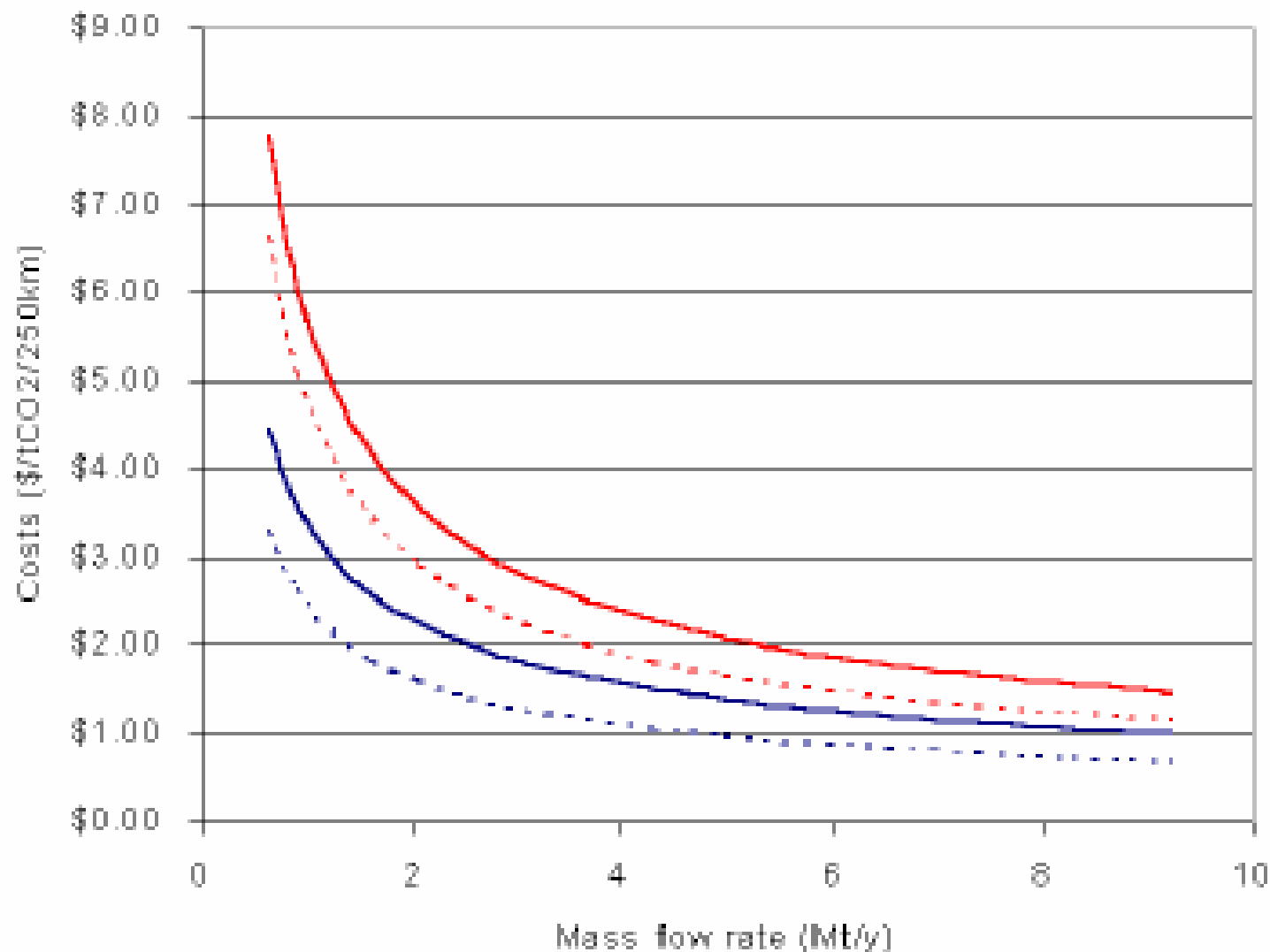
Genève

CO₂

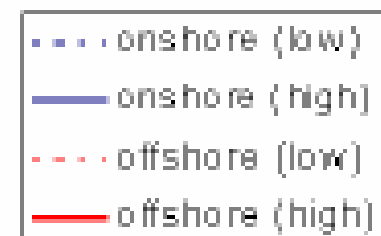


Comparaison coûts pipe line on shore et off shore

IPCC 2005, Special report on CO₂ capture and storage



**Coûts Off shore sont
40 à 70% plus élevés
que les Coûts
On shore**





Le transport du CO₂

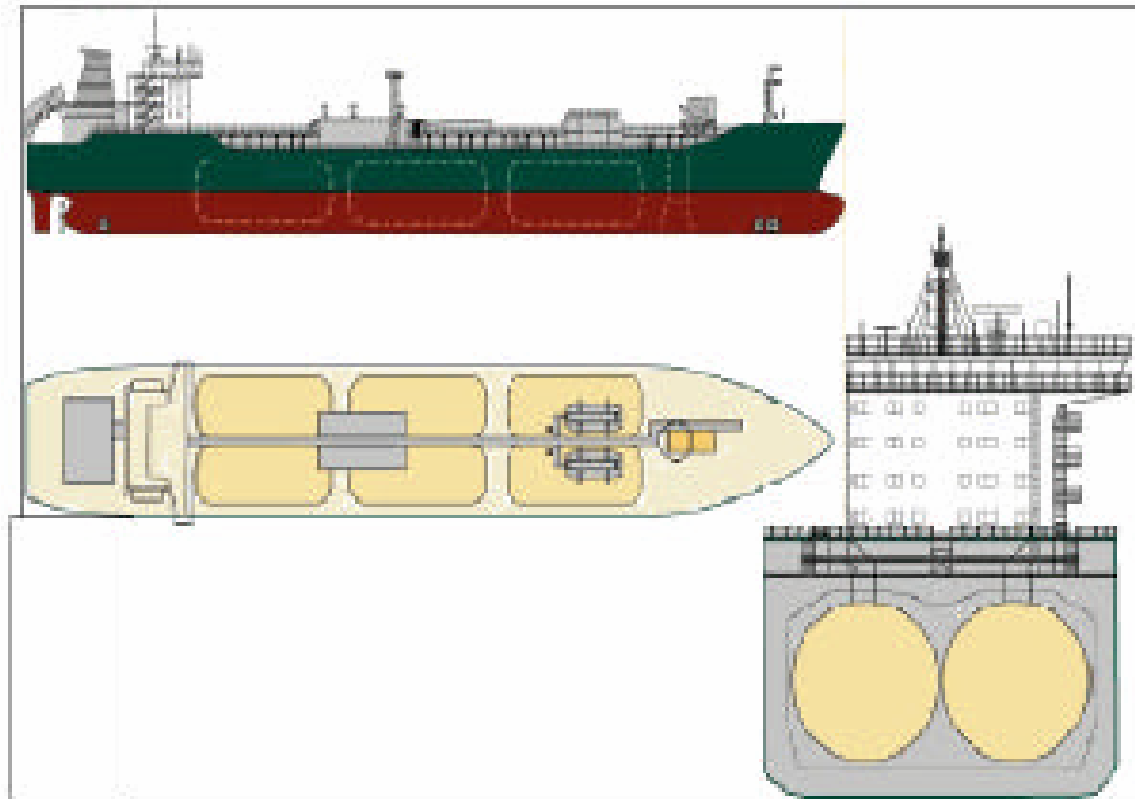
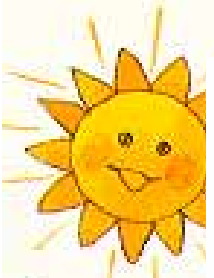


Figure 4.2 Illustration of one concept for a 20 000 m³ (22000 t) tanker for carrying CO₂ at minus 50°C and 7-8 bar pressure.



Les coûts de transport par pipe line on shore en \$/tCO₂

CAPACITE DE PRODUCTION	Length of pipeline		Specific cost
	100km	400km	\$/t/100km
0.1 million t/y	13	51	13
5 million t/y	1.1	4.2	1.1
50 million t/y	0.4	2.2	0.4-0.5

IPCC 2005, Special report on CO₂ capture and storage

Les coûts de transport par tanker

Pour des bateaux entre 20 000 et 30 000 m³ (22 000 à 33 000t) les coûts sont estimés à 50 à 70 M\$. (>30 à 40% tanker gaz)

Un coût de 23 à 25 000 \$/jour pour le transport de 20 000m³ semble raisonnable, couvrant l'investissement, le transport et la maintenance.



LE RECYCLAGE du CO₂

- Récupération du pétrole pour l'augmentation des rendements

EOR(Enhanced Oil Recovery - 40 Mt)

- Industrie chimique (100 Mt)

- L'alimentation,

- Industrie pharmaceutique,

- Industrie du papier,

-Sidérurgie,

- Electronique,

-Traitement des déchets

13,5 Mt

LA CONSOMMATION MONDIALE DE CO₂ EST DE L'ORDRE DE

150 Mt, le CO₂ utilisé étant essentiellement d'origine naturelle.

-John Gale, 2000, Geologic CO₂ sequestration, Oil and gas journal, drilling and production

-Aresta, 2003, Carbon Dioxide Recovery and Utilisation, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands

-Halmann and Steinberg, 1999, Greenhouse Gas Carbon Dioxide Mitigation Science and Technology, Lewis Publisher, USA

-Song, C., 2002: CO₂ Conversion and Utilization. An Overview. In CO₂ Conversion and Utilization,

Song, C., A.M., Gaffney, K. Fujimoto (eds.), ACS Symp Series 809, USA, pp. 2-30.





STOCKAGE

STOCKAGE ACTUELS AUTORISES

- PUIITS GAZIERS et PETROLIERS	OUI
- EOR	OUI
- ECBM (OUI si exploitation)	NON
- AQUIFERES SALINS (Législ. Mer)	NON
- OCEAN	NON

DIFFICULTES

- PRODUIT à STOCKER (en cours)
- PAS de LEGISLATION (en cours)
- STOCKAGE long terme (1000 ans):
 - Méthodologie d'évaluation des risques (en cours),
 - Etudes géologiques et environnement
- Acceptabilité du public «Public outreach »(en cours)



STOCKAGE (impuretés dans CO₂ capturé)

SNC LAVALIN Inc. (Canada), 2003

Summary of Cases						
Using Base Fuel (Australian low S Bit. Coal)						
	Case C	Case F	Case G	Case H	Case B	Case B1
	Flue Gas Inj.	Cansolv	Oxy-fuel	Membranes	Gasification	Gasification
CO ₂ Purity		(+ amines)		(partial capture)	(capture)	(co-capture)
CO ₂ Range, %	15 - 17%	95.5 - 99.5%	96.6 - 99.6%	67 - 70%	97 - 98%	95 - 98%
N ₂ Range, %	80 - 84%	trace	trace	28 - 31%	0,5%	> 0.2%
O ₂ Range, %	1 - 3.5%	trace	trace	0.4 - 1.2%	none	none
SO ₂ Range	55 - 4350 ppm	0.5 - 4.5%	0.4 - 3.4%	0.3 - 2.1%	none	none
NO _x Range	150 - 400 ppm	trace	50 - 150 ppm	900 - 2100 ppm	none	none
Mercury Range, mg/m ³	??	trace	??	??	??	??
H ₂ Range, %	none	none	none	none	1 - 2%	1 - 2%
H ₂ S Range, %	none	none	none	none	> 0.1%	0.6 - 3.0%
CO Range, %	trace	trace	trace	trace	> 0.2%	> 0.2%
Phase	Gas	Dense	Dense	Gas	Dense	Dense
Approx flow, MMSCFD, or	1500 - 1900	n/a	n/a	200 - 300	n/a	n/a
Liquid flow, tph	n/a	500 - 700	500 - 700	n/a	500 - 700	500 - 700

Réunion du 21 Avril

C U E P E

Revue

2005

Genève

CO₂



STOCKAGE

J.Gale
IEA Greenhouse gas R&D
programme
6th International Conference
on Greenhouse Gas Control
Technologies (Oct.2002,
Kyoto, Japan)

Options de stockage	Capacité globale	
	Gt CO ₂	% des émissions jusqu'en 2050
Puits désaffectés gaz et pétrole	920	45
Aquifères salins profonds	400 – 10.000	20 - 500
Mines	40	2

	Capacité de stockage IPCC 2001a (Gt CO ₂)
Océan	> 4000



Réunion du 21 Avril

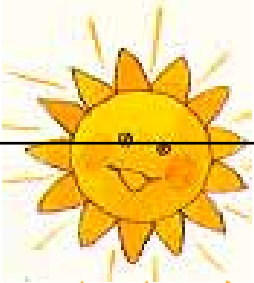
2005

C U E P E

Genève

Revue

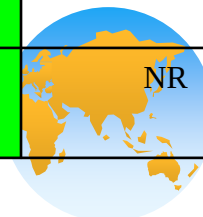
CO₂



CONVENTIONS et LOIS

R.Ducroux, M. Bewers (IEA GHG Vancouver 2004)

	Direct Entry from Land to Sea (1)*	Direct Entry from Land to Seabed (2)*	Entry to sea via dedicated offshore structure (3)*	Entry to the seabed via dedicated offshore structure (4)*	Discharge to sea via offshore oil & gas structure (5)*	Discharge to seabed via offshore oil & gas structure (6)*	Discharge from ship to sea (7)*	Discharge from ship to seabed (8)*	EOR or Seabed Injection of stripped CO ₂ from offshore oil & gas structure (9)*
Convention/Agreement									
UNCLOS									In "The Area"
London Convention		NR							Operational
1996 LC Protocol (NYIF)									NR
MARPOL 73/78	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
GPA-LBA (Non-binding)									
Basel Convention									NR
Rotterdam Convention (PIC)									NR
International Transport Regs									NR



Réunion du 21 Avril

C U E P E

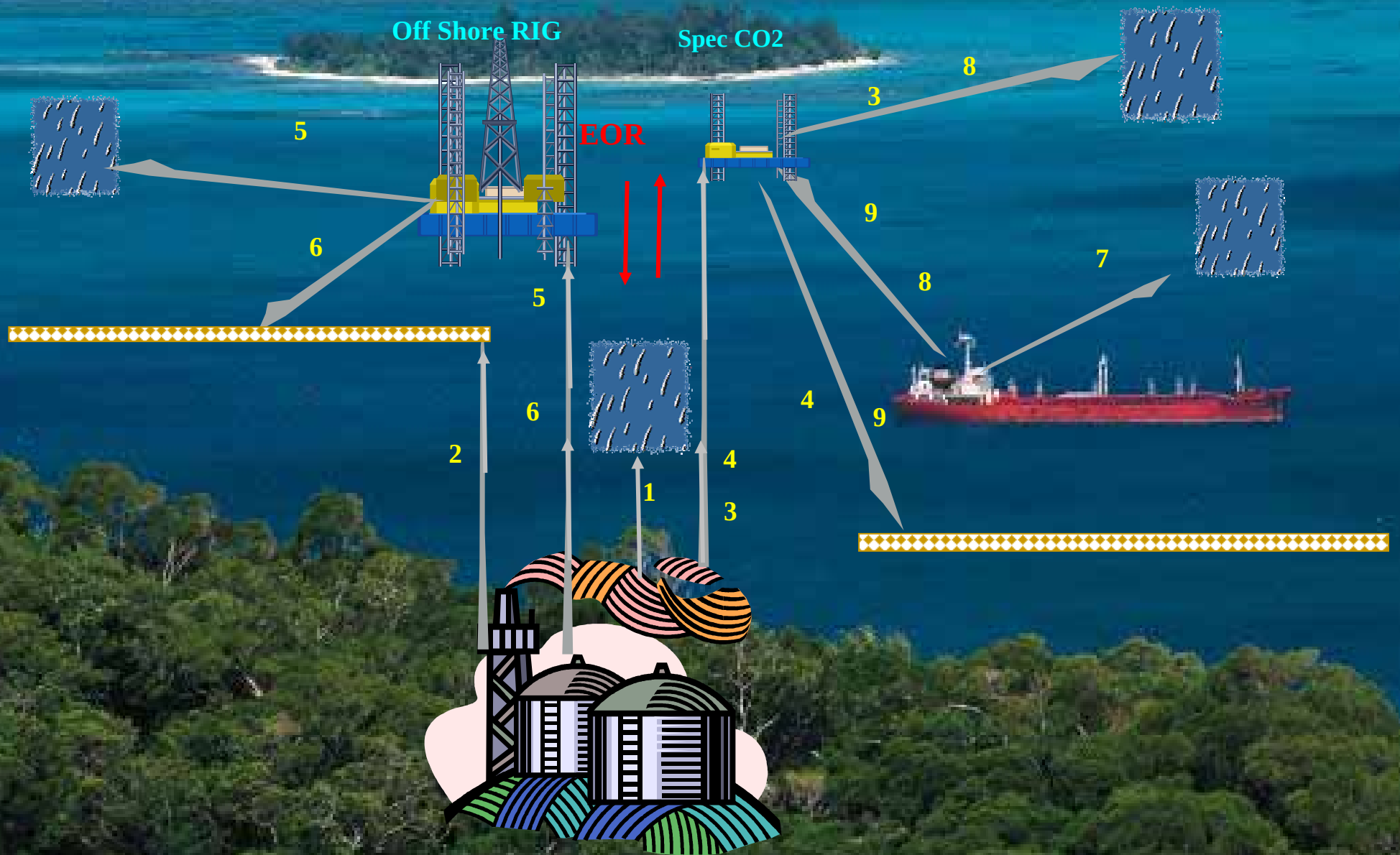
Revue

2005

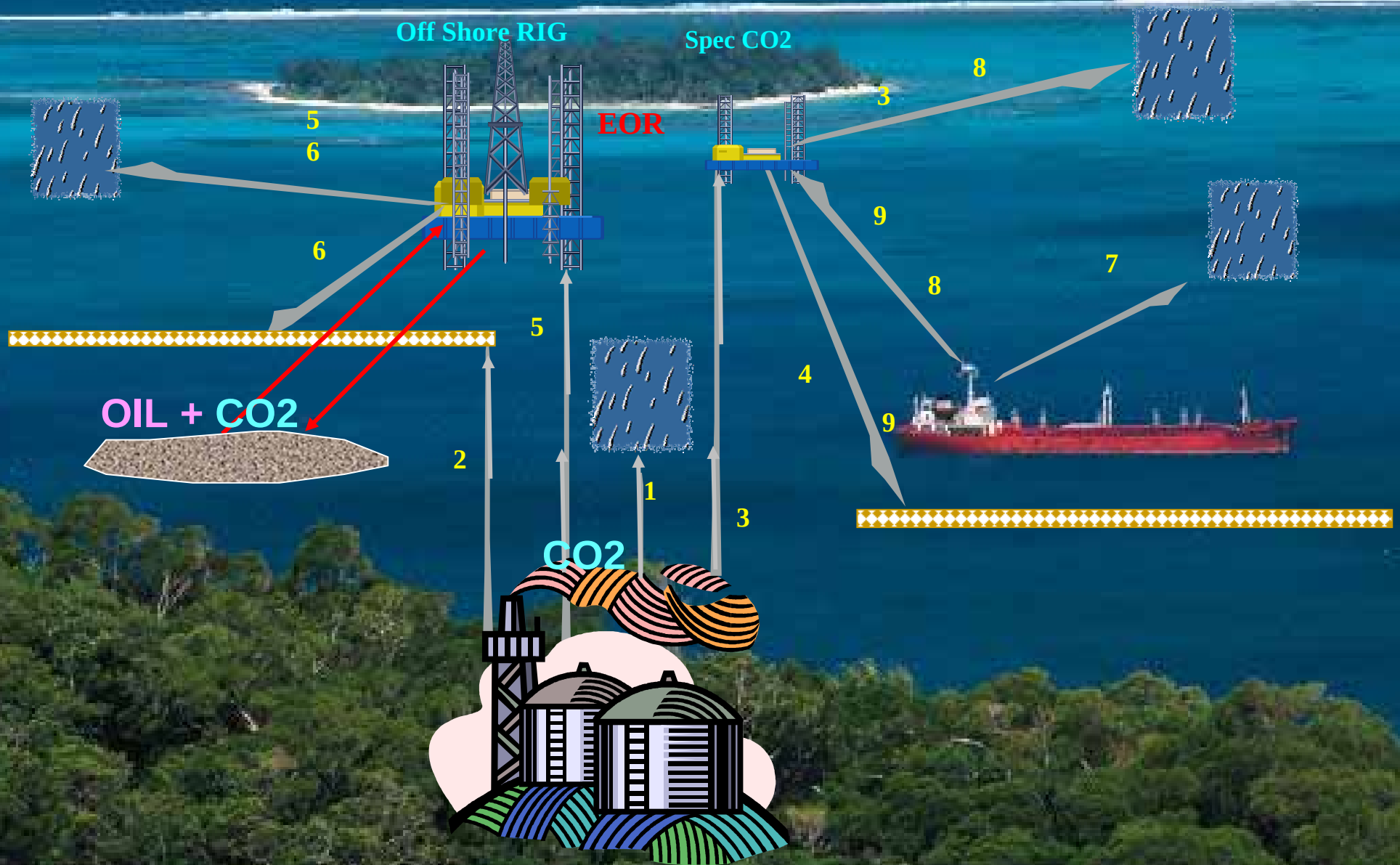
Genève

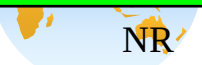
CO₂

DIFFERENT WAYS FOR CO₂ STORAGE IN THE OCEAN AND THE SUBSEABED



DIFFERENT WAYS FOR CO₂ STORAGE IN THE OCEAN AND THE SUBSEABED



	Direct Entry from Land to Sea (1)*	Direct Entry from Land to Seabed (2)*	Entry to sea via dedicated offshore structure (3)*	Entry to the seabed via dedicated offshore structure (4)*	Discharge to sea via offshore oil & gas structure (5)*	Discharge to seabed via offshore oil & gas structure (6)*	Discharge from ship to sea (7)*	Discharge from ship to seabed (8)*	EOR or Seabed Injection of stripped CO ₂ from offshore oil & gas structure) (9)*
Convention/Agreement									
OSPAR Convention					Ambiguous	Ambiguous			
Helsinki Convention									Operational
Barcelona Convention									PreAssessment
Jeddah Convention									
Nairobi Convention			Ambiguous	Ambiguous	Ambiguous	Ambiguous			Ambiguous
Noumea Convention									
Antarctic Treaty									NR
Waigani Convention									
Abidjan Convention									
Antigua Convention									
Bucharest Convention									
Cartagena de Indias Conv.									
Lima Convention									 NR
Kuwait Convention									PreAssessment
Caspian Sea Convention									
Arctic Council Agreement									



- IEA GHG R&R Programme 1991 - 16 pays membres dont l'UE et 10 industriels – 2 millions € - Etudes et R&D -

Dr Lukas Gutzwiller Dr Gerhard Schriber



- CCP CO2 Capture Projects 2000– 50 millions \$ -10 industriels, NETL(DOE),RCN(Norway) –Etudes et Prototypes-

- CSLF : Carbon Sequestration Leadership Forum 2003 - 17 Etats membres dont l'UE

- CO2NET – Fin 2002- Projet Européen 15 pays(+suisse/ETH)- Forum



Réunion du 21 Avril

2005

C U E P E

Genève

Revue

CO₂

PROJETS DE STOCKAGE ACTUELS et FUTURS

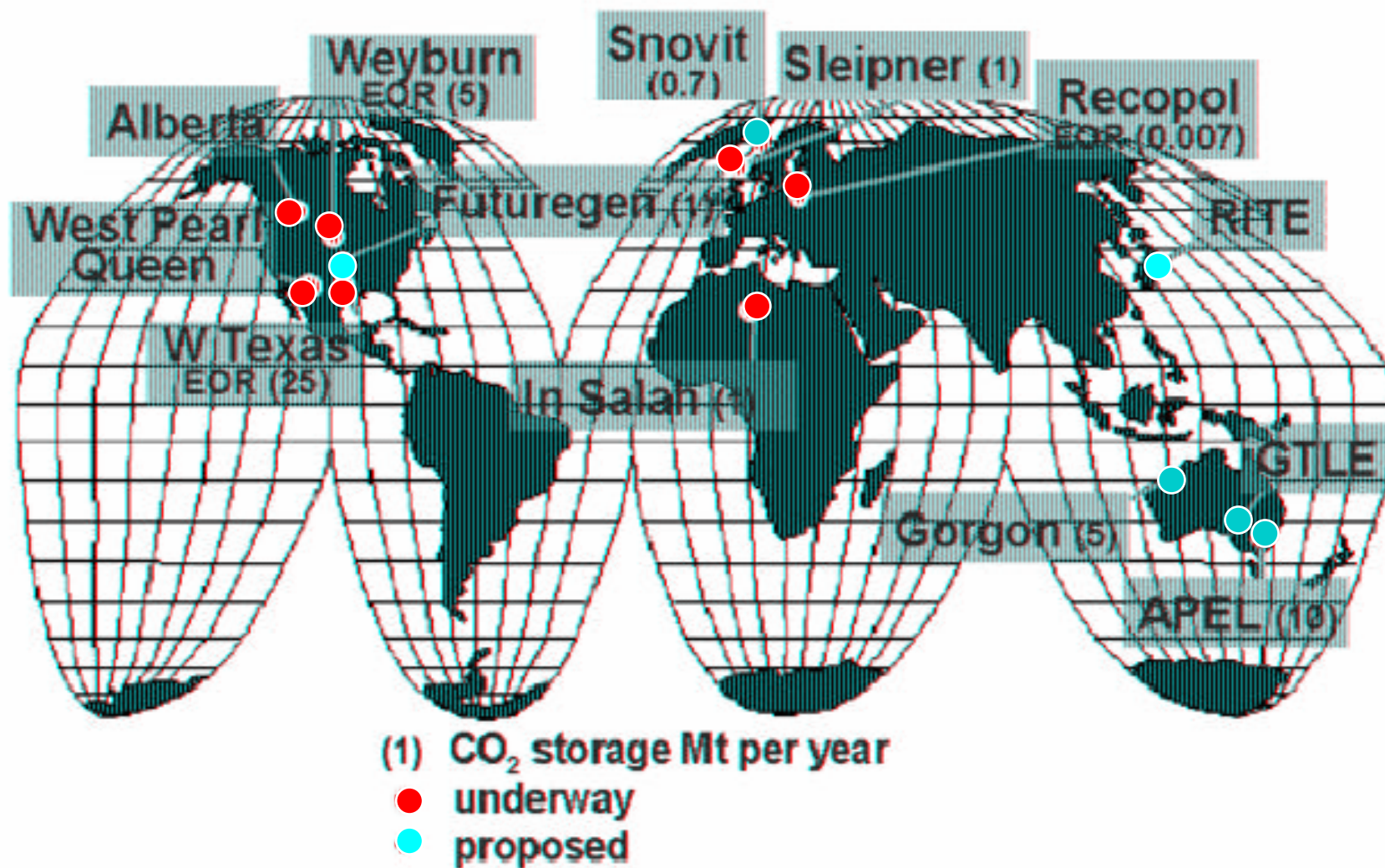


Figure 5.1 IPCC 2005, Special report on CO₂ capture and storage



Réunion du 21 Avril

C U E P E

Revue

2005

Genève

CO₂



STOCKAGE - COUTS

Option		Range of Cost Estimates \$/tonne CO ₂ avoided
Onshore	EOR	-91 to 74
	ECBM	-26 to 19
	Saline Formations	1 - 12
	Disused Oil & Gas Fields	1- 20
Offshore	EOR	-10 to 20
	Saline Formations	4-18
	Disused Oil and Gas Fields	4-8

IPCC 2005, Special report on CO₂ capture and storage



Réunion du 21 Avril

2005

C U E P E

Genève

Revue

CO₂



CONCLUSIONS STOCKAGE

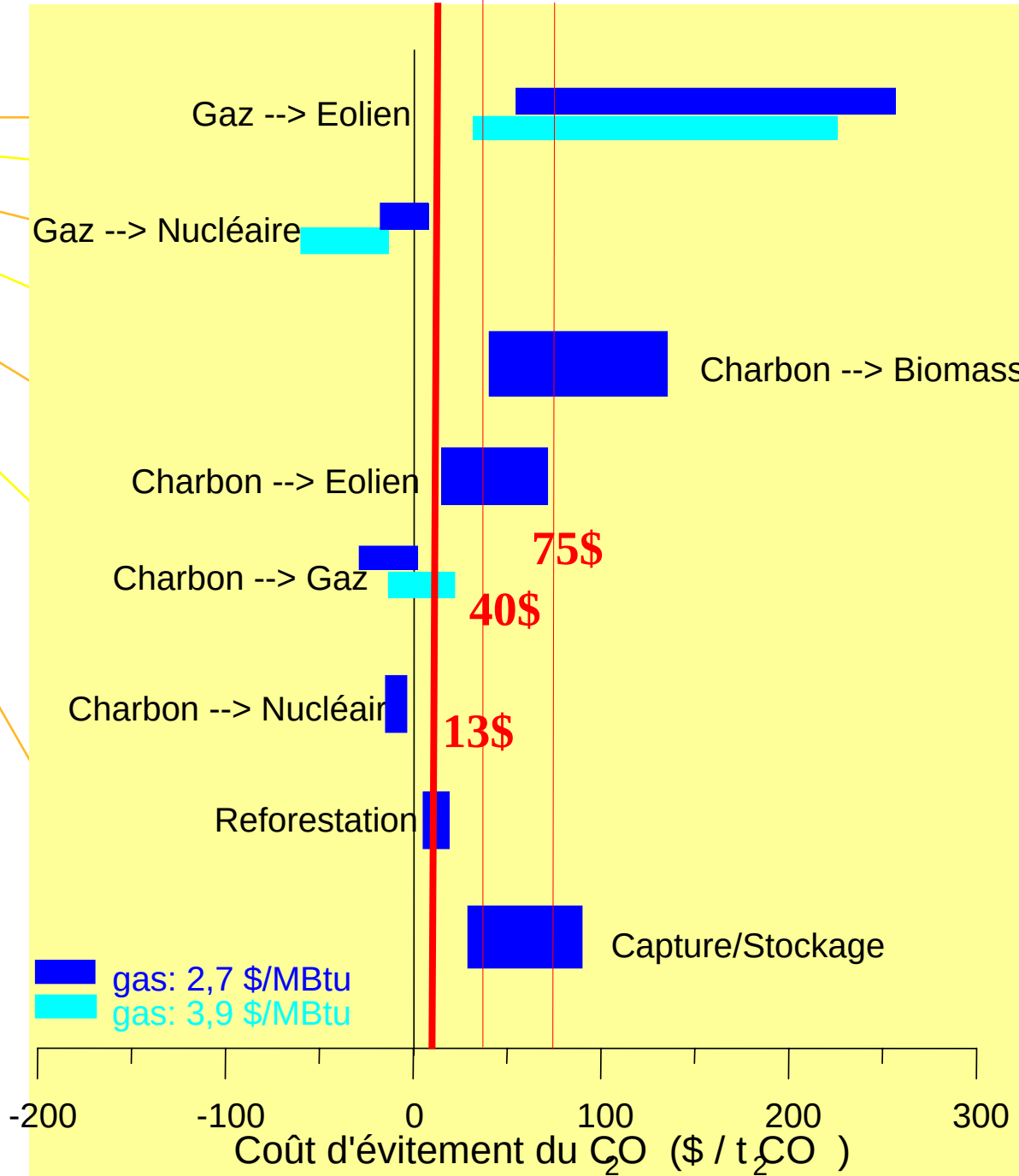
- La CAPTURE SANS LE STOCKAGE N'A PAS DE SENS,
- La LEGISLATION est à METTRE en PLACE,
- Le STOCKAGE LONG TERME est à étudier,
- Les PROJETS de DEMONSTRATION sont en COURS,
- Le GRAND PUBLIC est à CONVAINCRE,

En attendant,

EOR et ECBM pour une exploitation,

Puits gaziers et pétroliers désaffectés
peuvent être utilisés pour le stockage





Réunion du 21 Avril

C U E P E

Revue

2005

Genève

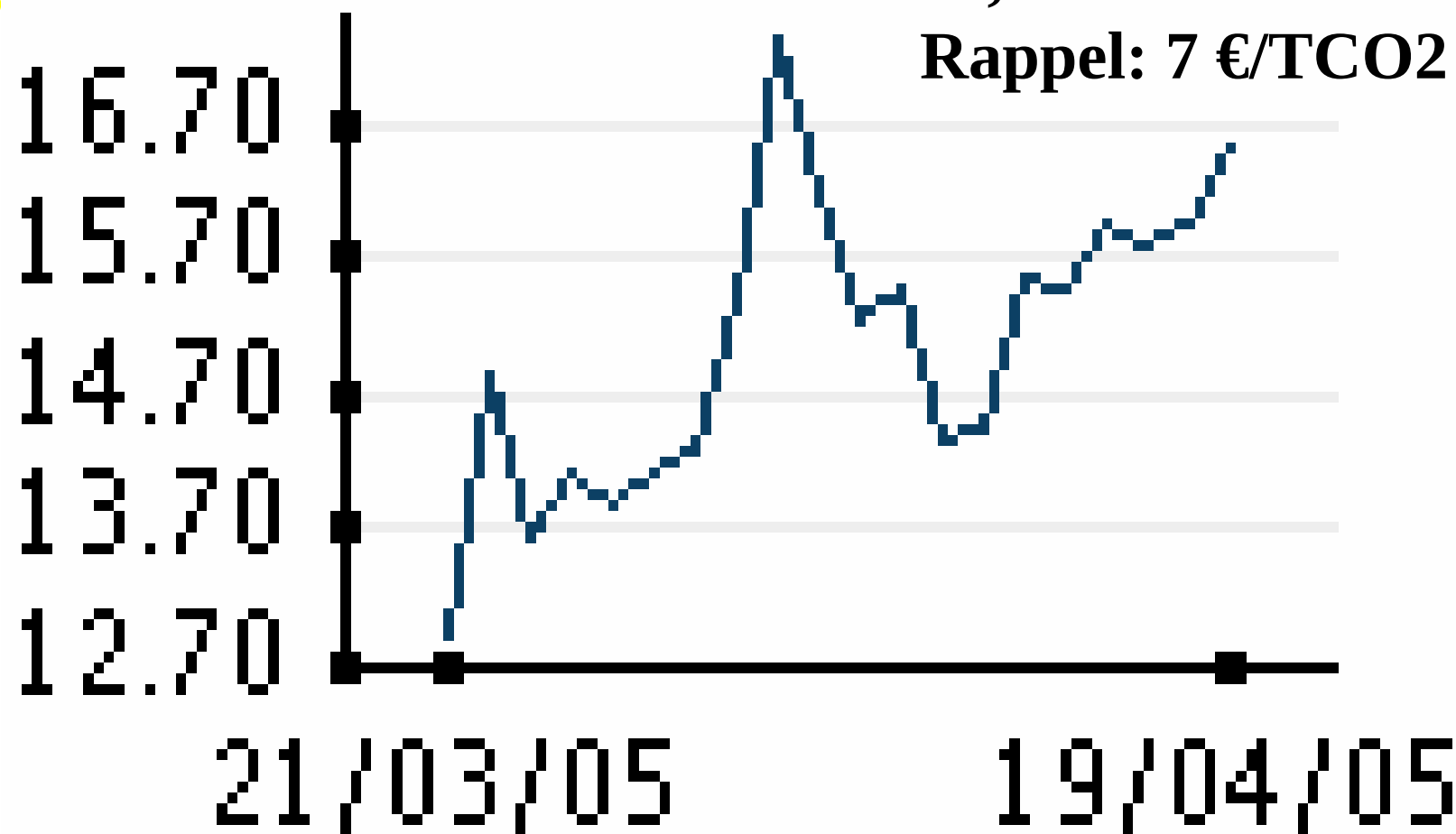
CO₂



Point Carbon: 19 Avril 2005

16,50 € / Tonne CO₂

Rappel: 7 €/TCO₂ en 09/04



Réunion du 21 Avril

C U E P E

Revue

2005

Genève

CO₂



CONCLUSIONS GENERALES

COUTS INDUSTRIELS du CO₂ (€ / t CO₂)

CAPTURE	TRANSPORT	STOCKAGE
0 - 50	2-5	1 – 20 -91 à +74 EOR -26 à +19 ECBM
70%	5 %	25%

CAPTURE : Procédés industriels, R&D en cours,
Baisse des coûts attendus

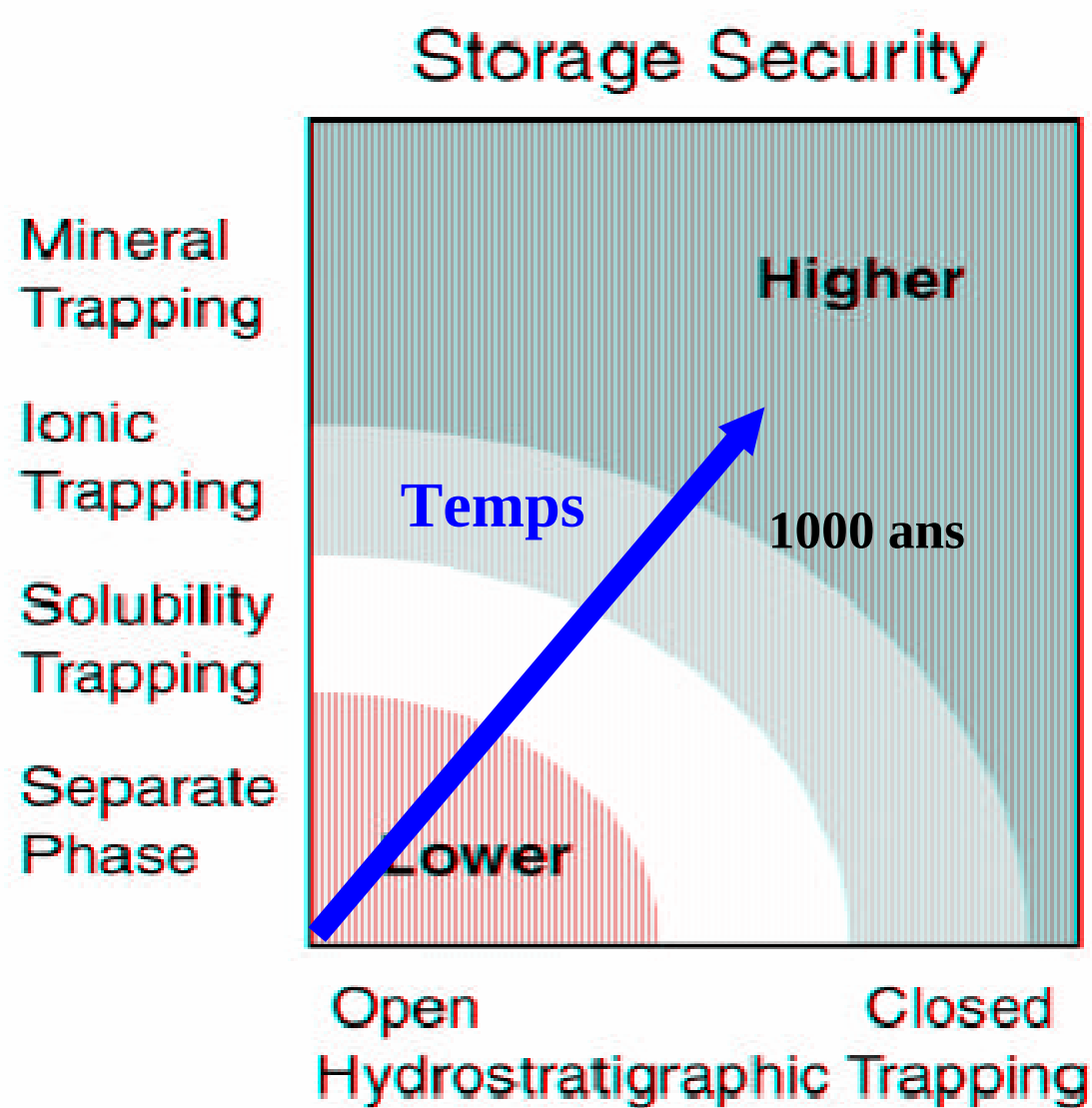
TRANSPORT : en développement (pipelines, bateaux)

STOCKAGE: Législation à faire, R&D et Projets à
poursuivre, population à convaincre.



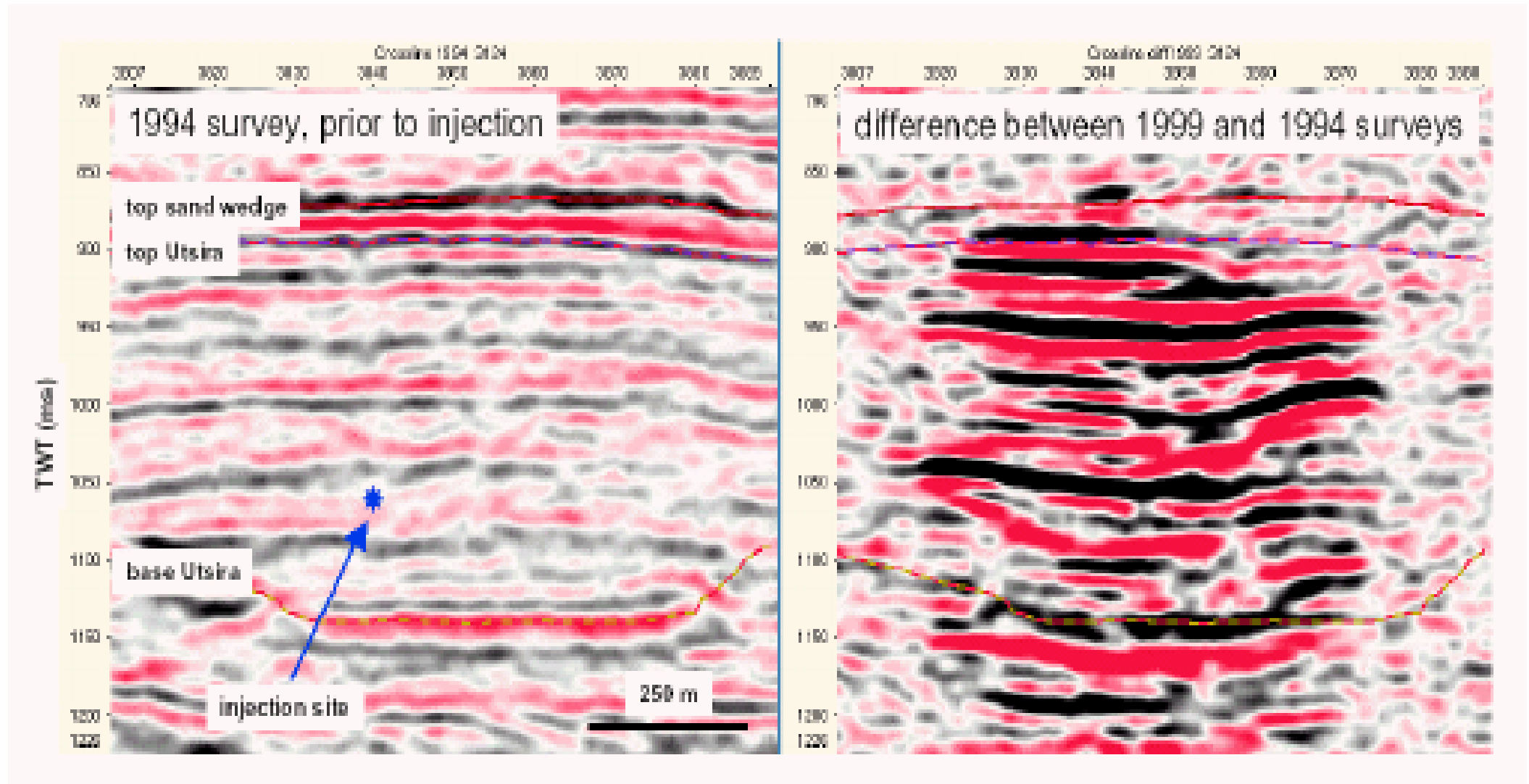


STOCKAGE- minéralisation





SLEIPNER



IPCC 2005, Special report on CO₂ capture and storage

Réunion du 21 Avril

2005

C U E P E

Genève

Revue

CO₂



FUITES CO₂

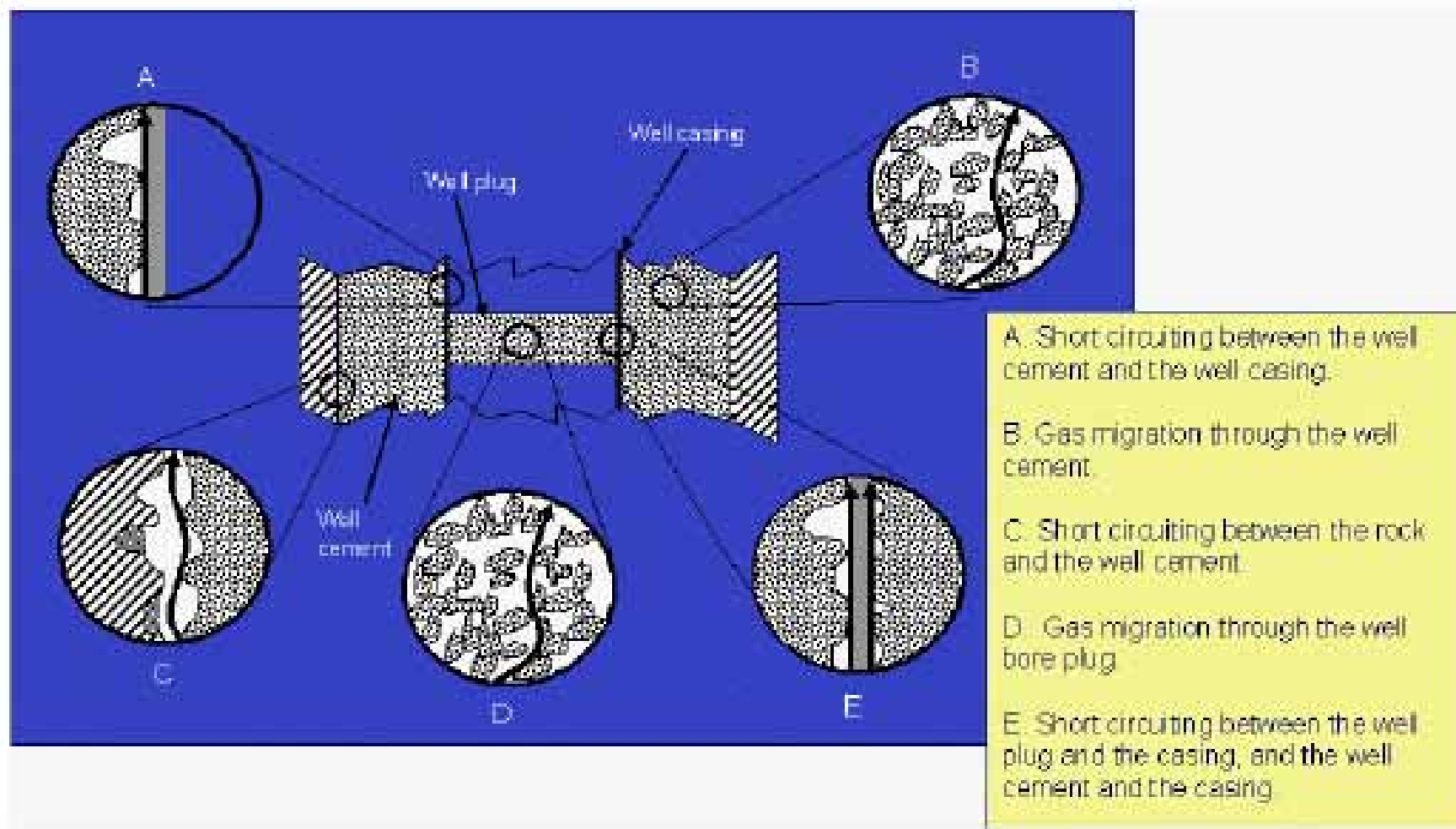


Figure 5.12

IPCC 2005, Special report on CO₂ capture and storage

Réunion du 21 Avril

C U E P E

Revue

2005

Genève

CO₂

FUITES CO2

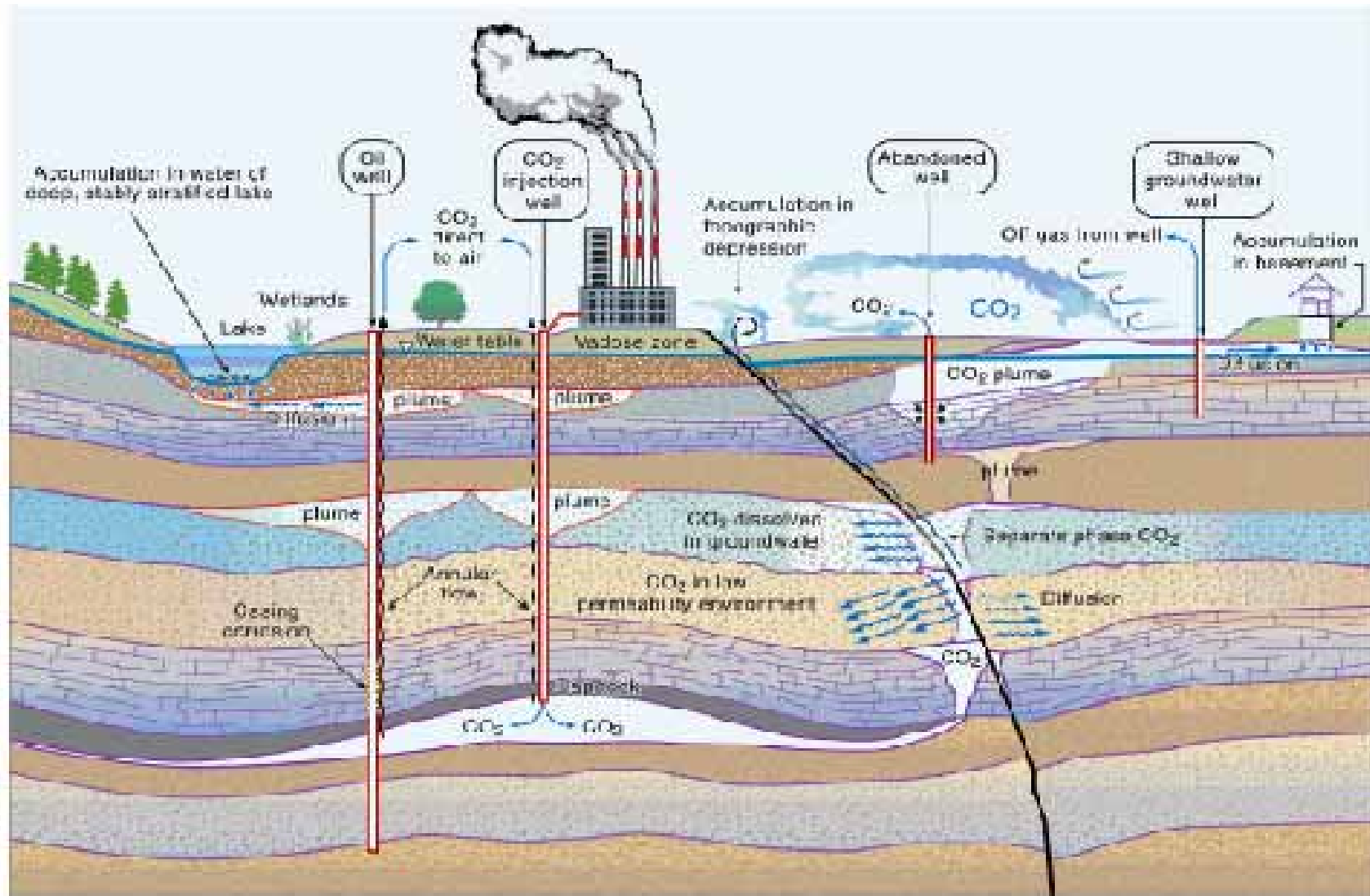


Figure 5.11 IPCC 2005, Special report on C02 capture and storage

