



MASTER STEP

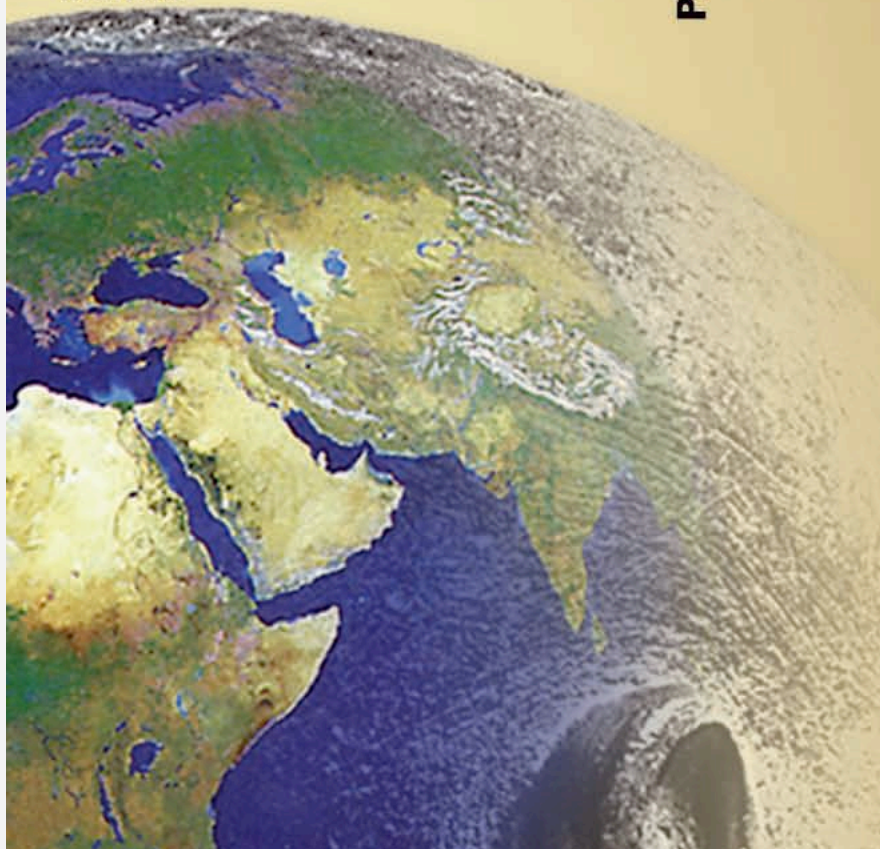
Sciences de la Terre,
de l'Environnement
et des Planètes

université
PARIS
DIDEROT
PARIS 7

FRONTIERS IN GEOSCIENCES
2007-2008

CO₂

Capture and Storage (CCS)



SUP

ÉCOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE LA TERRE
INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS - UNIVERSITÉ PARIS DIDEROT

1 Introduction to CCS : 14 March 2008, 10-12h / 14-17h

- Why, how and where ? : **Alain Bonneville** (IPGP)
- Chemical and Physical Mechanisms : **François Guyot** (IPGP-Université Paris Diderot)

2 Site Studies : 19 March 2008, 10-12h / 14-17h

- Ketzin, Germany : **Michael Kühn** (GFZ Potsdam)
- Lacq, France : **Nicolas Aimard** and **Marc Lescanne** (TOTAL Pau)

**3 Socio-economical aspects :
21 March 2008, 10-12h / 14-17h**

- CCS Economics and Acceptability : **Minh Ha Duong** (Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement, CNRS, Paris)
- CCS European policy and reglementation : **Jason Anderson** (Institute for European Environmental Policy, Bruxelles)

**4 Synthesis - General discussion (+ exam) :
29 March 2008, 9-13h**

- **Alain Bonneville** and **François Guyot** (IPGP- Université Paris Diderot)

Modalités de l'examen

(1) Rapport écrit : synthèse du cours de 2 pages maximum à envoyer avant le 27 mars 18h (impératif) par courriel à bonneville@ippg.jussieu.fr
guyot@lmcp.jussieu.fr

(2) Evaluation de votre participation orale à la séance de discussion du 29 mars. Chacun devra préparer 4-5 questions auxquelles les autres devront répondre.

Why? How? Where?

Alain Bonneville



CCS Why?

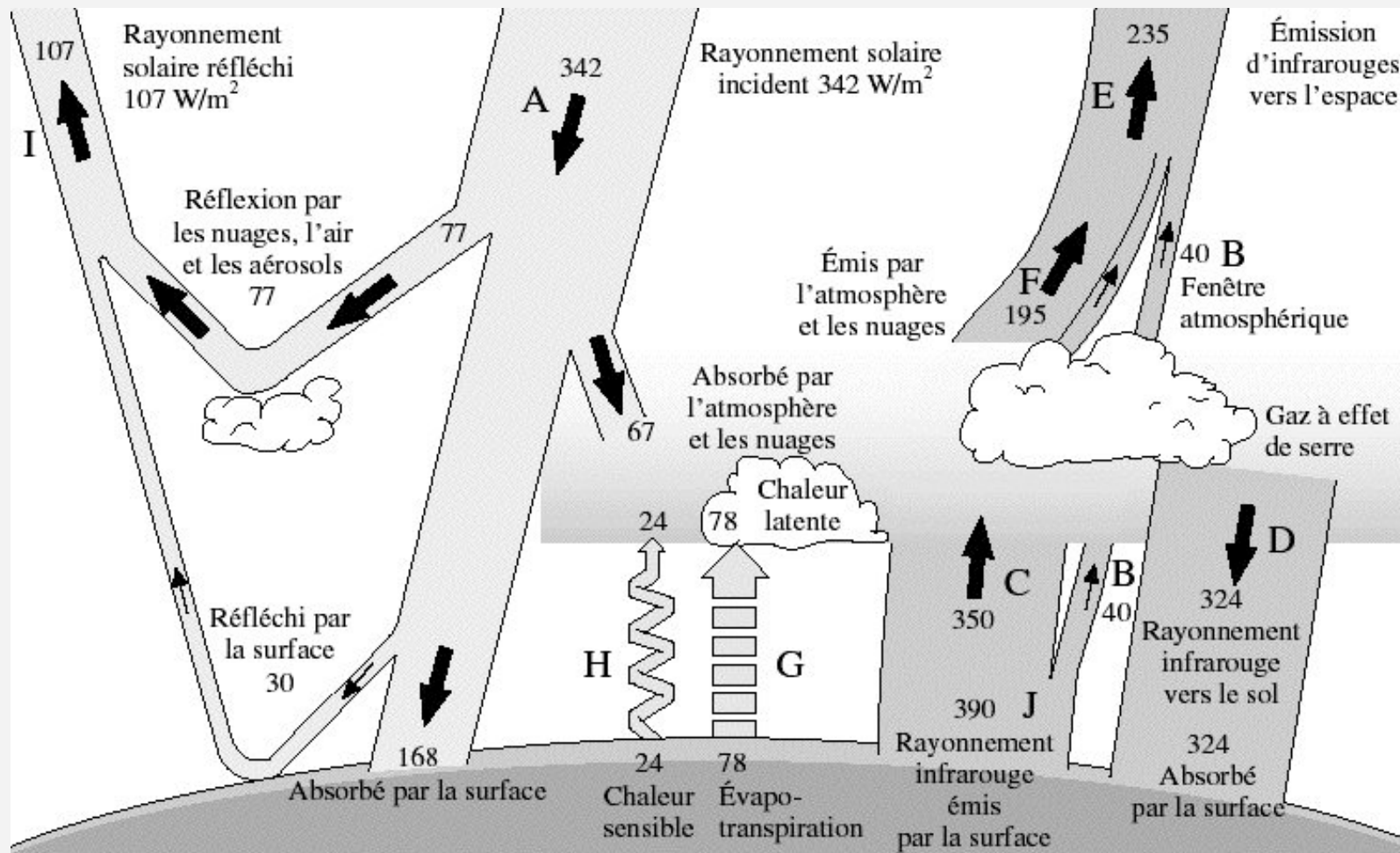


Sujets abordés ...

- dernières données sur le réchauffement climatique
- rôle du CO₂ dans ce réchauffement
- origines du CO₂
- évolution climatique et réduction des émissions de CO₂.
- la filière capture et stockage géologique du CO₂
- la situation dans le monde et en Europe
- la situation en France

L' Effet de Serre

C'est un phénomène naturel : des gaz de l'atmosphère sont opaques au rayonnement infrarouge.



Les gaz "naturels" à effet de serre (GES)

Les deux principaux gaz responsables (et pas seulement de son augmentation récente) sont :

- la vapeur d'eau (H_2O),
- le gaz carbonique (CO_2).

Les principaux autres gaz "naturels" à effet de serre sont :

- le méthane (CH_4),...le gaz naturel
- le protoxyde d'azote (N_2O), ... ou gaz hilarant
- l'ozone (O_3)

Les Gaz à Effet de Serre

Le pouvoir de réchauffement global (ou PRG) d'un gaz se définit comme le "forçage radiatif" (c'est à dire la puissance radiative que le gaz à effet de serre renvoie vers le sol), cumulé sur une durée qui est généralement fixée à 100 ans, d'une quantité de gaz donnée.

Cette valeur ne se mesure pas dans l'absolu, mais relativement au CO₂.

Gaz	Formule	PRG relatif / CO₂ (à 100 ans)
Gaz carbonique	CO₂	1
Méthane	CH₄	23
Protoxyde d'azote	N_{2o}	298
Perfluorocarbures	C_{nF2n+2}	6500 à 8700
Hydrofluorocarbures	C_{nHmFp}	140 à 11700
Hexafluorure de soufre	SF₆	23900

Temps de résidence

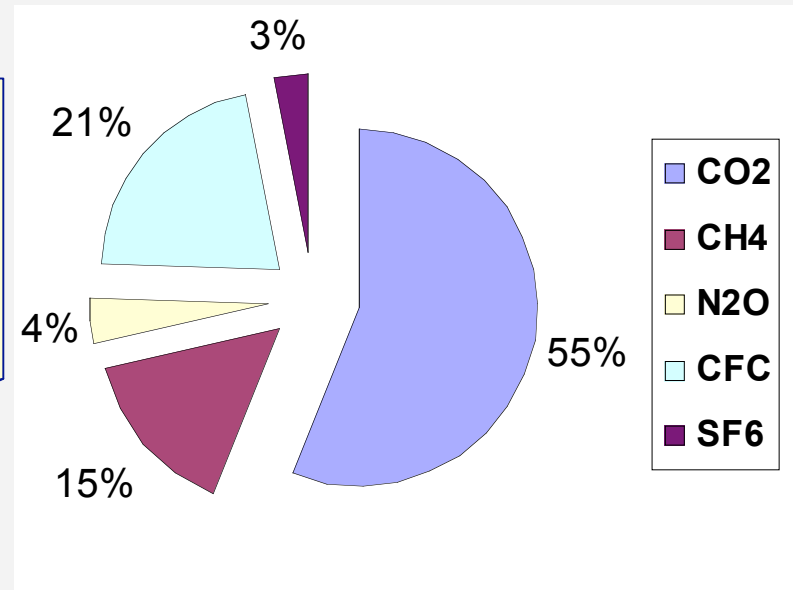
Gaz carbonique	100 ans
Méthane	12 ans
Protoxyde d'azote	120 ans
Halocarbures	jusqu'à 50.000 ans

Le réchauffement climatique

C'est le changement de climat global dû à l'augmentation de l'effet de serre elle-même liée à l'augmentation des dégagements de GES par les activités humaines.

Facteurs à prendre en compte :

- Pouvoir de Réchauffement Global (PRG)
- Durée de vie du gaz dans l'atmosphère
- Quantité de gaz émis annuellement
- ...



Contribution à l'effet de serre additionnel

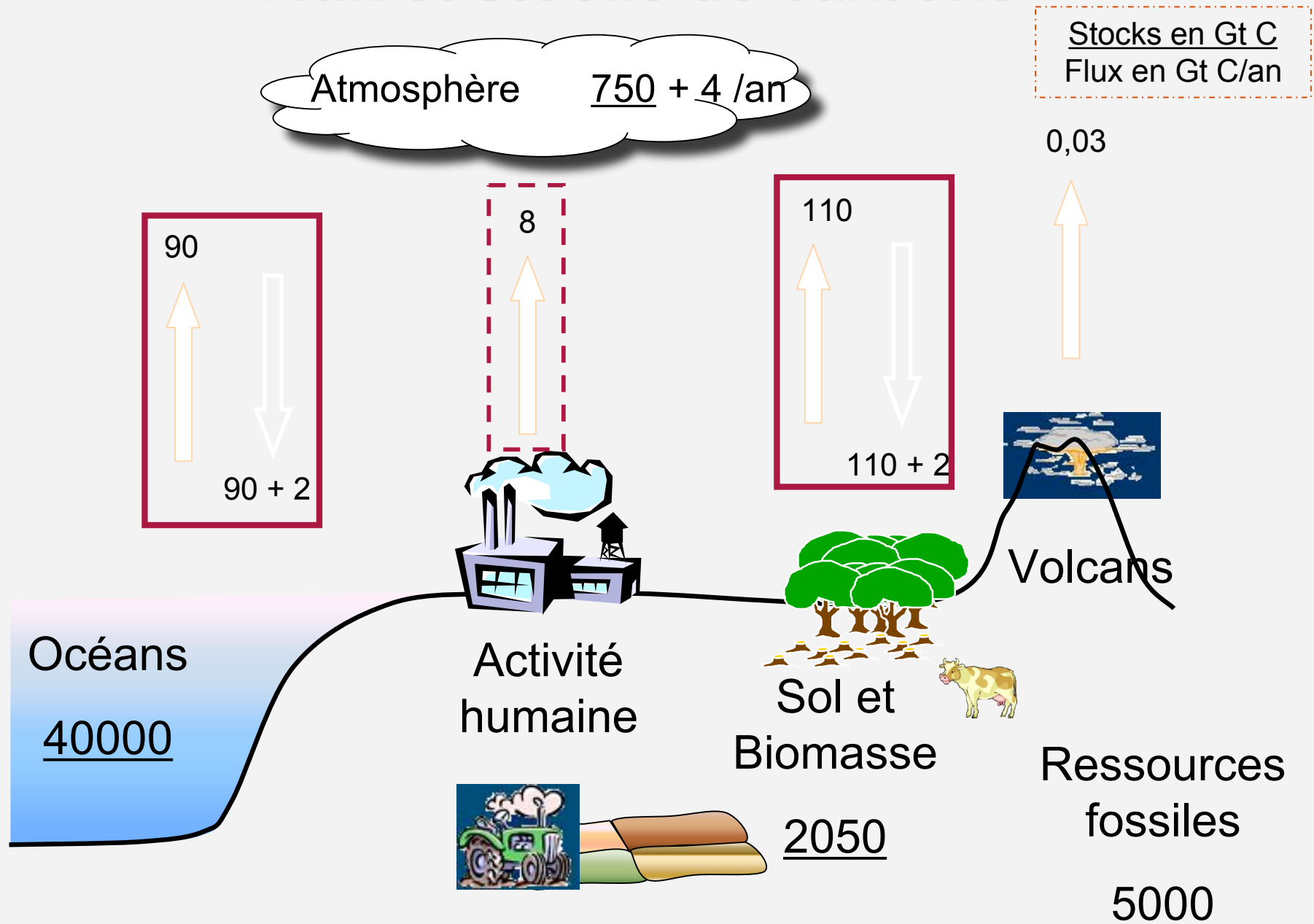
L'ensemble de la planète est un énorme réservoir de carbone. La fraction mobile de ce carbone circule essentiellement sous forme de CO₂.

	Carbone, Gt
Atmosphère	750
Océans	40 000
Sol superficiel	1 500
Biomasse	550
Couches géologiques	20 000 000

Depuis 1850, les activités humaines ont rejeté 350 Gt de carbone dans l'atmosphère sous forme de 1300 Gt de CO₂ (1t de carbone donne 3,7 t de CO₂). Ce chiffre représente un peu moins de 50% du volume contenu dans l'atmosphère.

Dans le même temps, la teneur en CO₂ de l'atmosphère est passée de 280 ppm à 380 ppm soit environ 32% de plus -> une partie de ce CO₂ résultant de l'activité humaine a donc été recyclée, soit par échange avec les océans soit par la végétation.

Flux et stocks de carbone



Observations du changement climatique

rapport du GIEC de février 2007

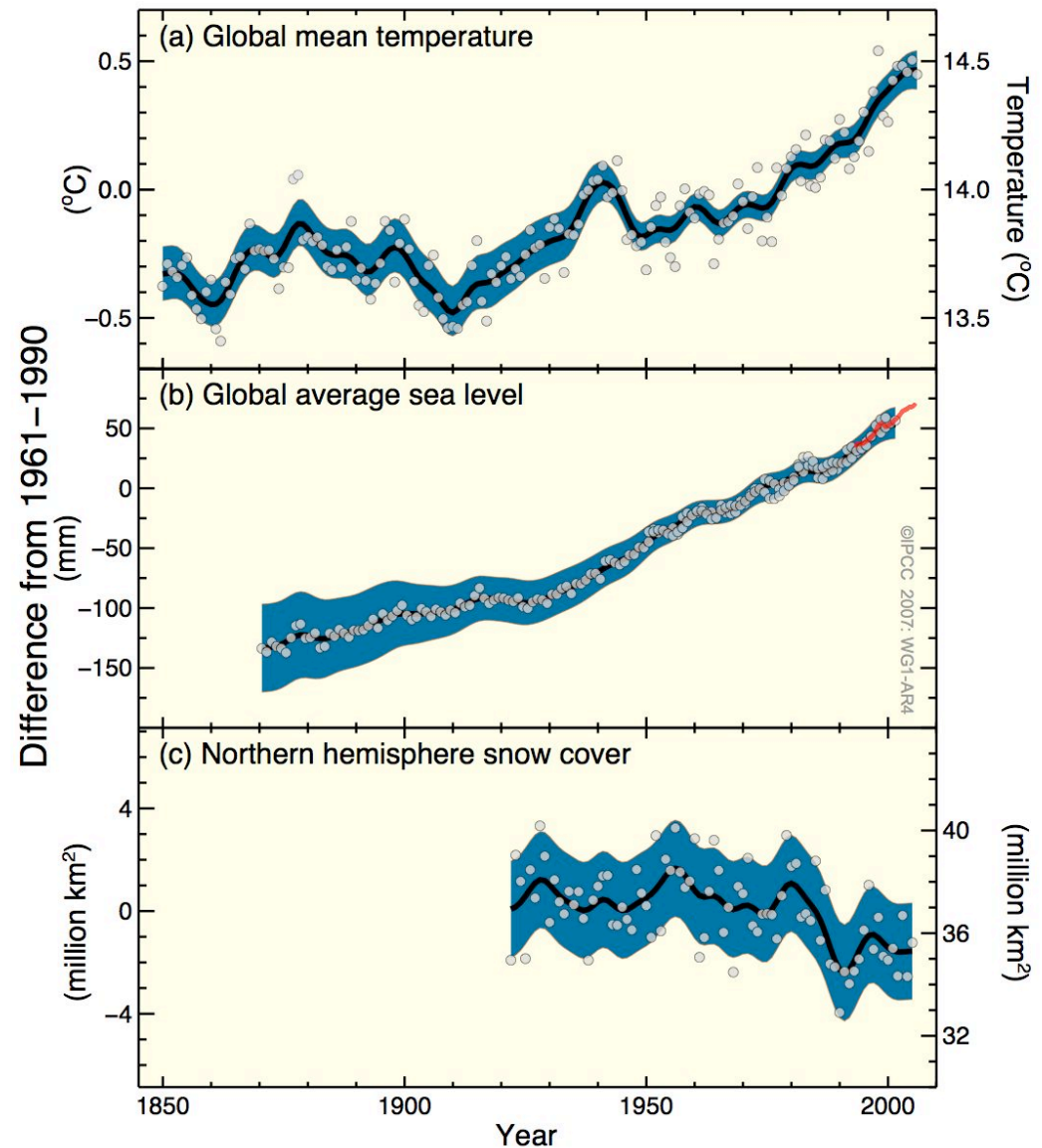
GIEC = Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

Température moyenne globale

(jusqu'en 2005)

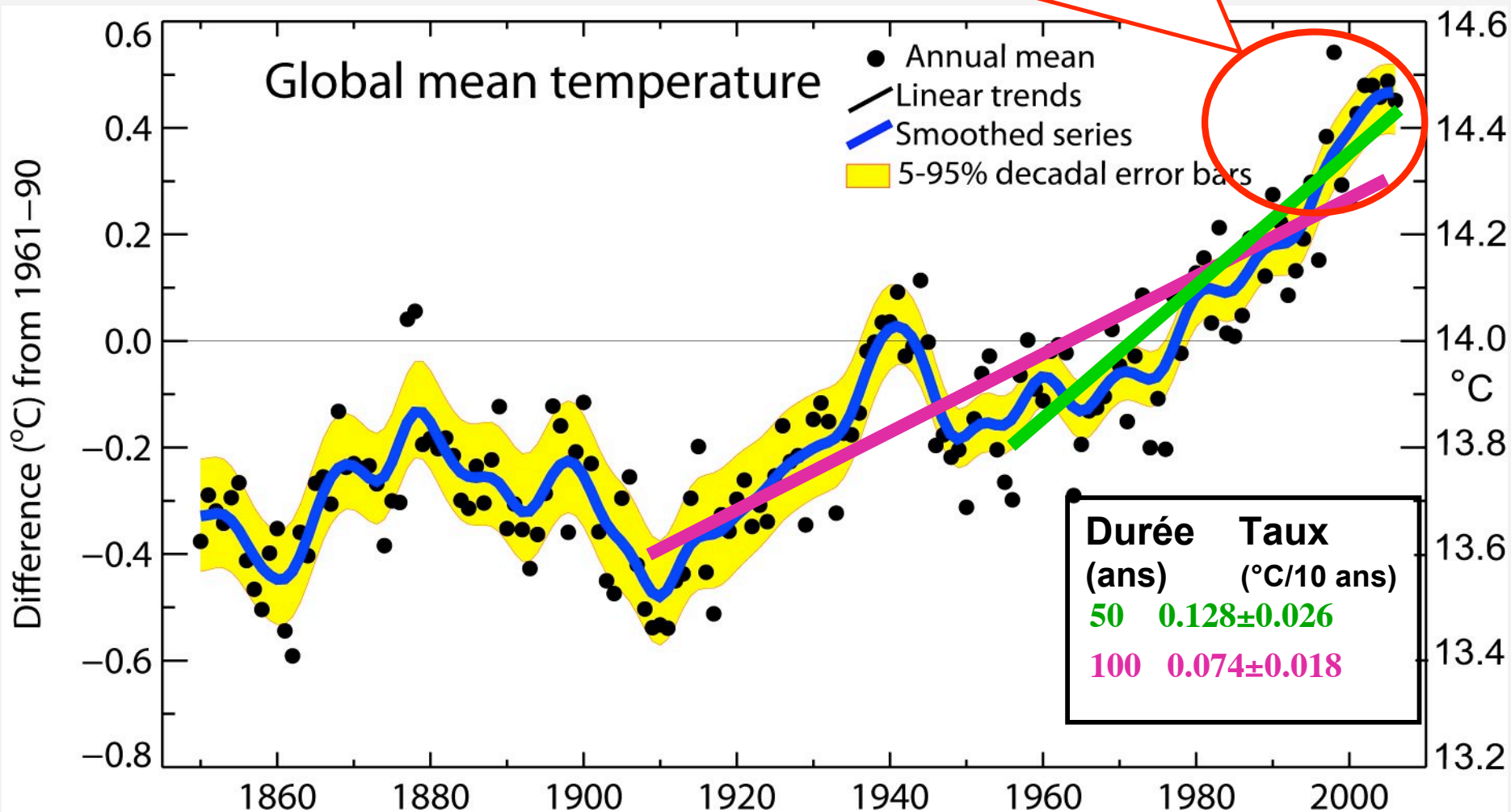
Niveau moyen des mers

Couverture neigeuse de l'hémisphère nord



Accélération de l'augmentation de la température moyenne

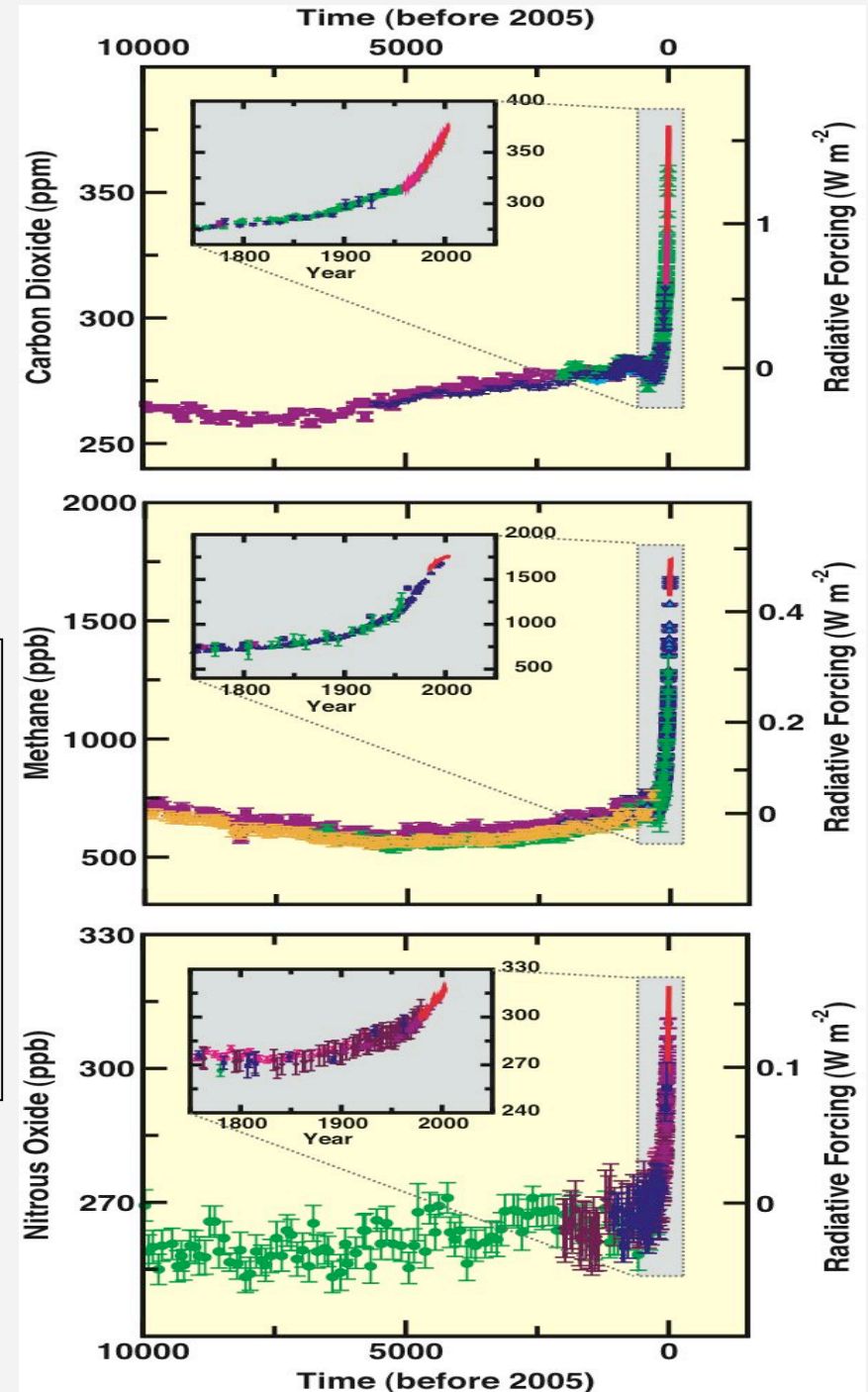
Les 12 années les plus chaudes :
1998, 2005, 2003, 2002, 2004, 2006,
2001, 1997, 1995, 1999, 1990, 2000



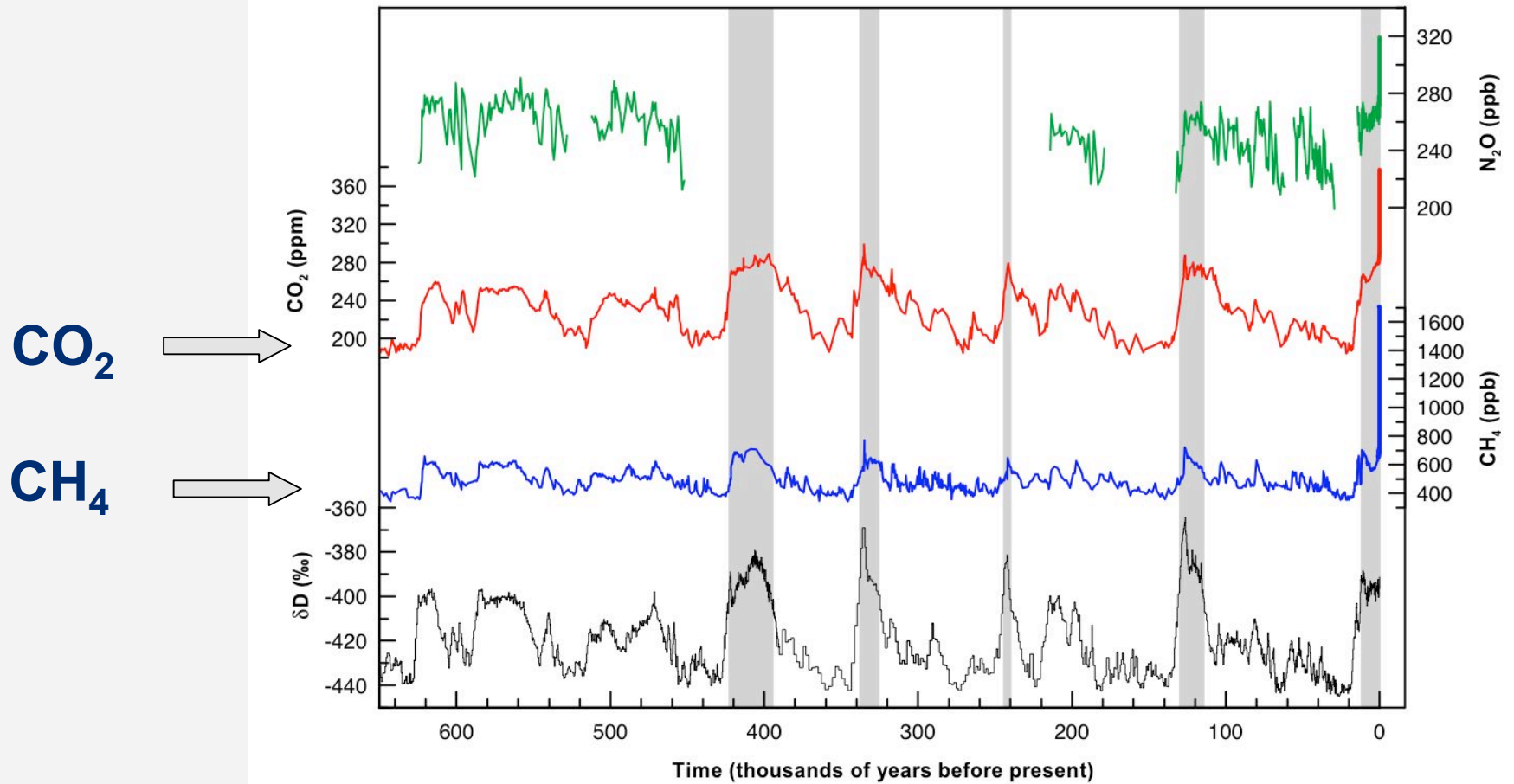
Contraintes naturelles et anthropiques sur le réchauffement

Concentrations en CO₂, CH₄ and N₂O

- Excèdent de loin les valeurs pré-industrielles qui ont peu varié au cours du temps
- Augmentation marquée depuis 1750 due aux activités humaines



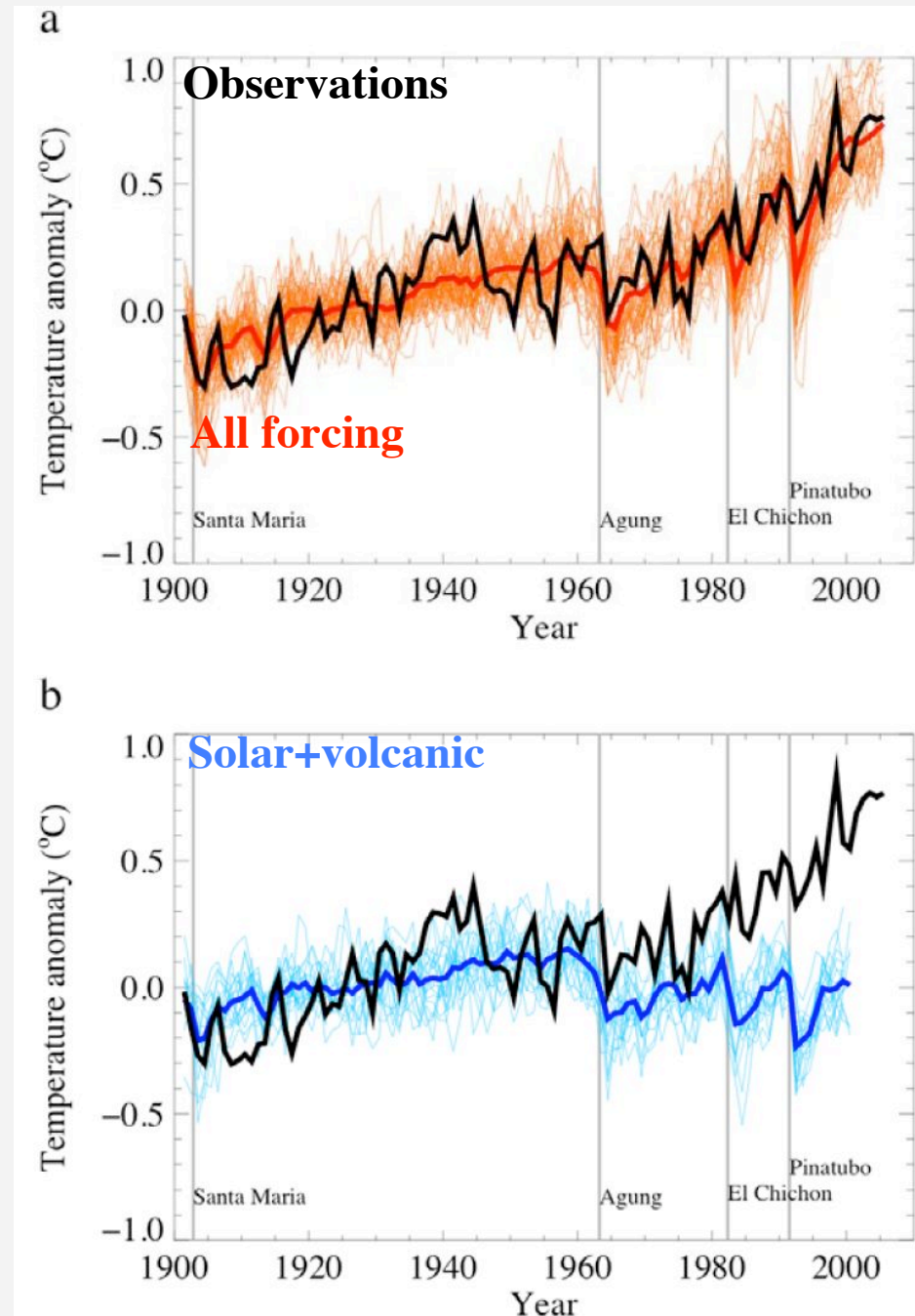
Glacial-Interglacial Ice Core Data



Les concentrations en CO₂ et CH₄ in 2005 excèdent de loin ce qui est connu depuis 650 000 ans.

Origine du réchauffement

- ▶ Les changements observés :
- sont en accord avec les réponses attendues des forçages climatiques
- Ne peuvent être expliqués par d'autres phénomènes.



Contraintes naturelles et anthropiques sur le réchauffement

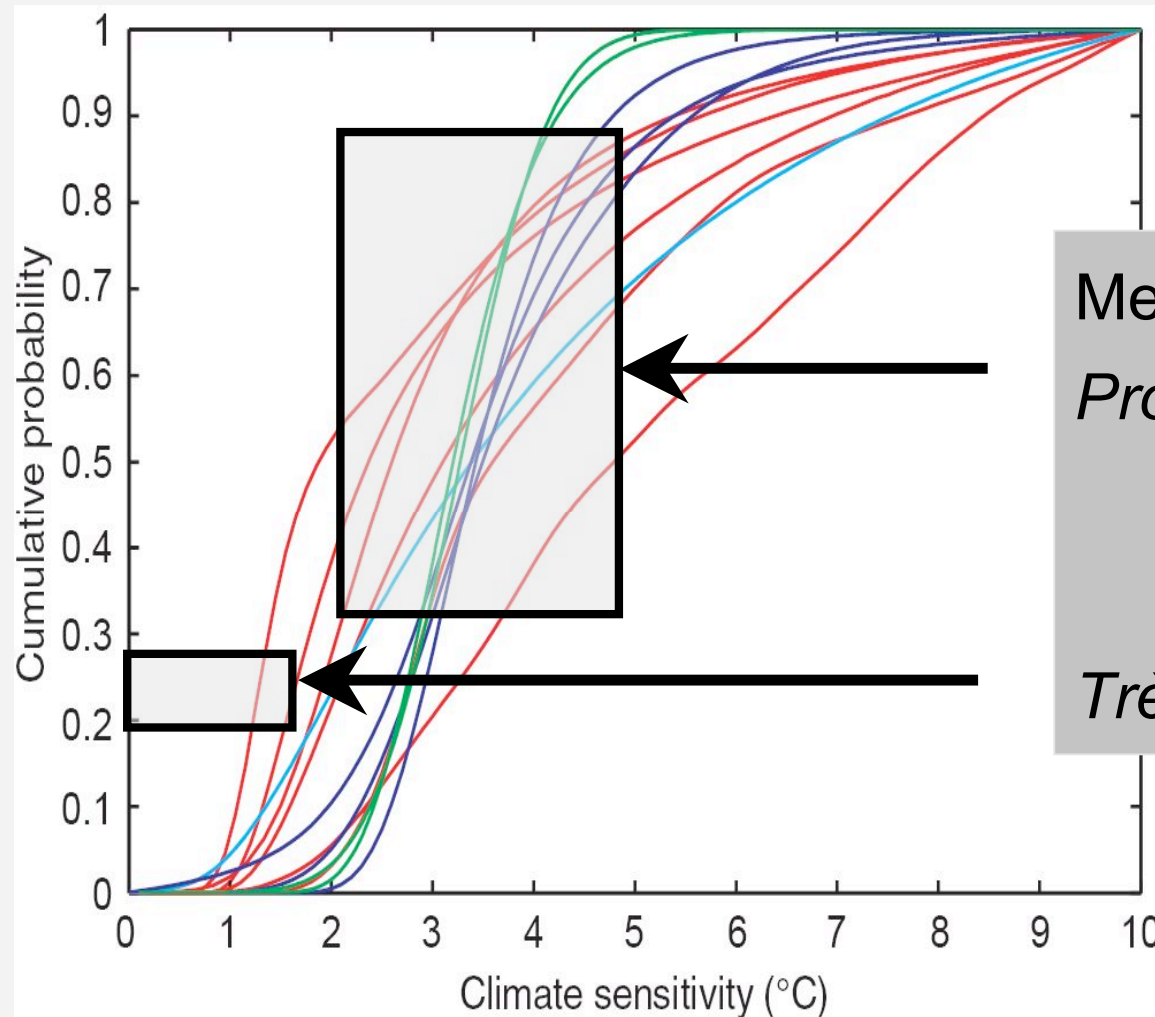
- ▶ Les émissions de CO₂ à partir de combustibles fossiles ont augmenté en moyenne de **6.4** GtC par an durant les années 90 à **7.2** GtC par an sur 2000-2005.
- ▶ Le forçage radiatif du CO₂ a augmenté de **20% de 1995 à 2005**, la plus forte augmentation en une décennie au moins durant les 200 dernières années (1.5 W.m⁻²).
- ▶ Les changements dans l'irradiance solaire depuis 1750 ont causé un forçage radiatif de +0.12 [+0.06 to +0.30] Wm⁻²

Conclusions du GIEC de février 2007

- ❑ L'essentiel de l'augmentation observée de la température moyenne du globe depuis 1950 est **très vraisemblablement** dû à l'augmentation constatée des GES d'origine anthropique.
- ❑ Les effets de ce réchauffement s'étendent désormais à d'autres aspects du climat comme le réchauffement des océans, l'augmentation de la fréquence des températures extrêmes et le régime des vents.

Prédictions d'évolution climatique

Réchauffement de surface suivant un doublement
de la concentration en CO₂



2100

Meilleure estimation 3°C
Probable 2-4.5°C;

Très improbable < 1.5°C

Prédictions d'évolution climatique

- ▶ Pour les 2 décennies à venir, le réchauffement moyen serait de **0.2°C par décennie** suivant les scénarii envisagés.
- ▶ Même si nous pouvions contenir les concentrations en GES et aérosols à leur niveau de 2000, il faudrait encore s'attendre à un réchauffement **0.1°C par décennie**.
- ▶ Les premières prévisions du GIEC de 0.15 à 0.3 °C par décennie peuvent maintenant être comparées aux valeurs observées de 0.2 °C.

D'où provient le CO2 anthropique?

**Secteurs d'activité concernés,
pays émetteurs, ...**

(source documentaire Enerdata)

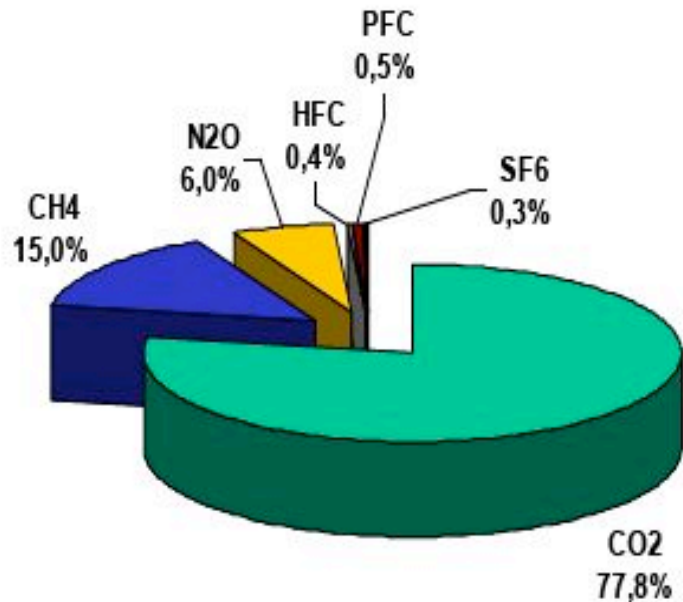
1990-2003 dans le monde: les chiffres-clés

- **PIB : +38 %**
- **Population : +19%**
- **CO₂-énergie : +21%**
- **CO₂/habitant : +1,7%**
- **CO₂/PIB : -12%**

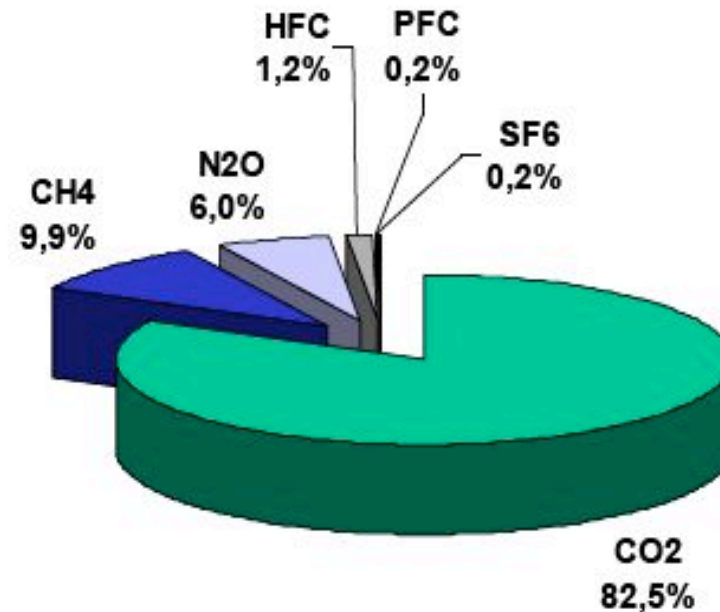
Que représente le CO2 par rapport aux autres GES?

Le CO2 pèse pour plus de 80% dans les émissions de gaz à effet de serre et sa part progresse depuis 1990

Répartition des Emissions
Totales de GES par Gaz
- 1990 -



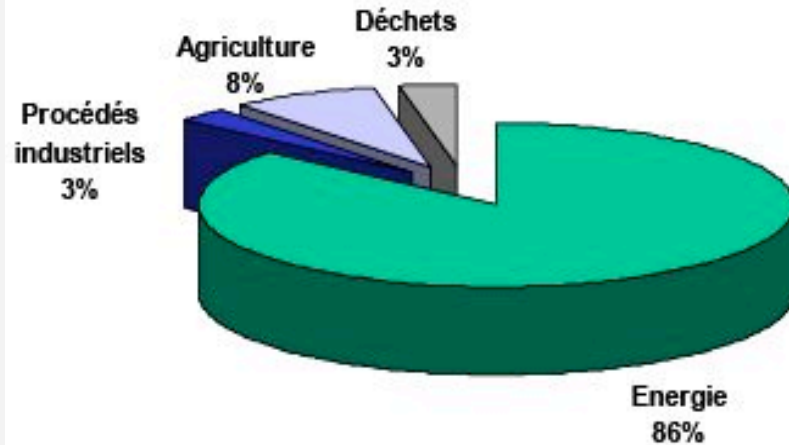
Répartition des Emissions
Totales de GES par Gaz
- 2002 -



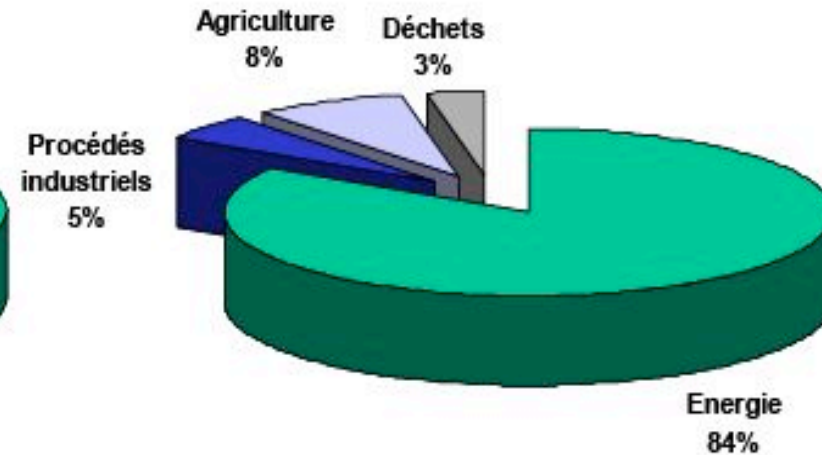
Que représente le secteur énergétique dans les émissions de CO2 ?

L'énergie pèse pour 85% dans les émissions de GES

Répartition des Emissions
Totales de GES par Secteur
- 1990 -

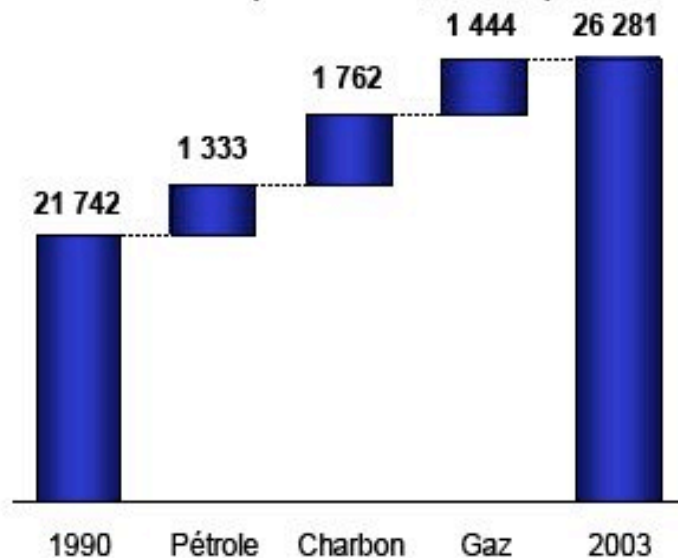


Répartition des Emissions
Totales de GES par Secteur
- 2002 -

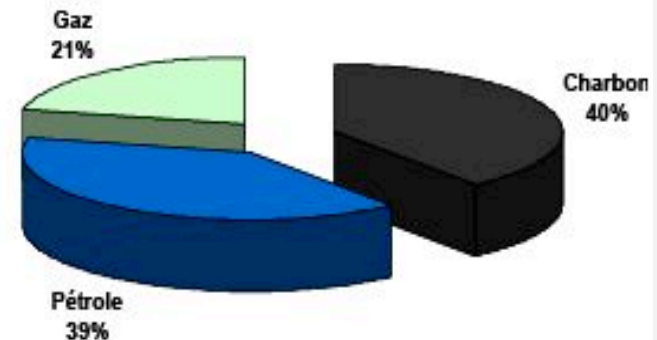


Le CO₂-énergie dans le monde par source d'émissions en 2003

Evolution des Emissions de CO₂-énergie par source (1990-2003; MtCO₂)



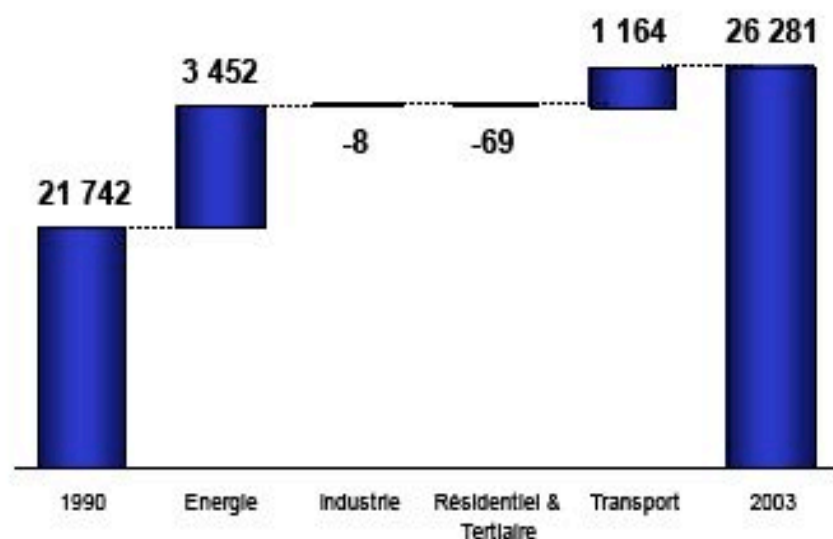
Répartition des Emissions de CO₂-énergie par Source (2003, en %)



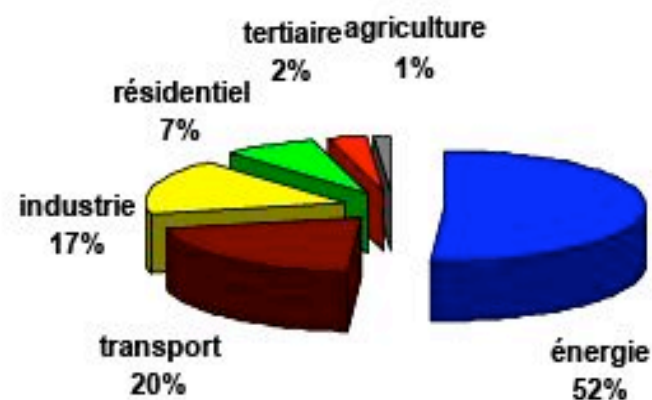
- > Le charbon est la principale source d'émission dans le monde en 2003
- > depuis 1990, l'accroissement des émissions est principalement dû au charbon
 - charbon : 39%
 - gaz : 32%
 - pétrole 29%

Le CO₂-énergie dans le monde par secteur d'émissions en 2003

Evolution des Emissions de CO₂-énergie par source (1990-2003 MtCO₂)



Répartition des Emissions de CO₂-énergie par Secteur (2003, en %)



- > Le secteur énergétique (essentiellement la production d'électricité) émet plus de la moitié des émissions totales de CO₂-énergie; le transport est le second gros émetteur (20%)
- > Le secteur énergétique absorbe les trois quarts de l'accroissement des émissions de CO₂-énergie depuis 1990, le transport un quart
- > L'industrie et les autres secteurs n'émettent pas plus en 2003 qu'en 1990



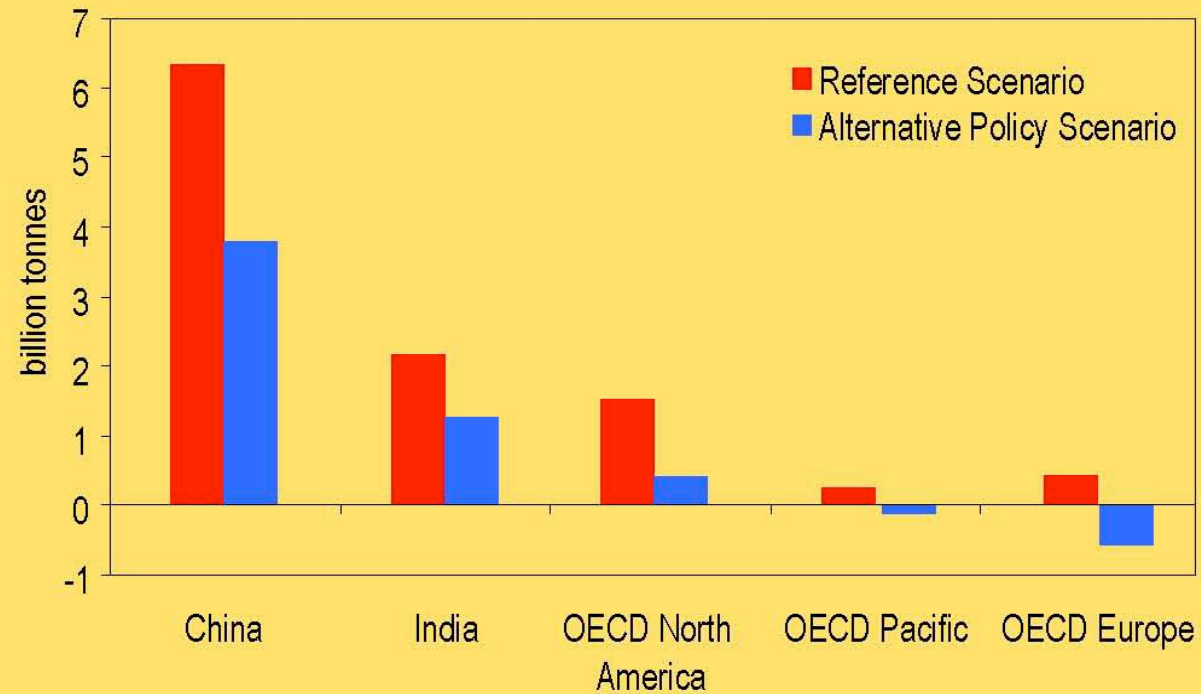
INTERNATIONAL
ENERGY AGENCY

WORLD
ENERGY
OUTLOOK
2007

China
and India
Insights

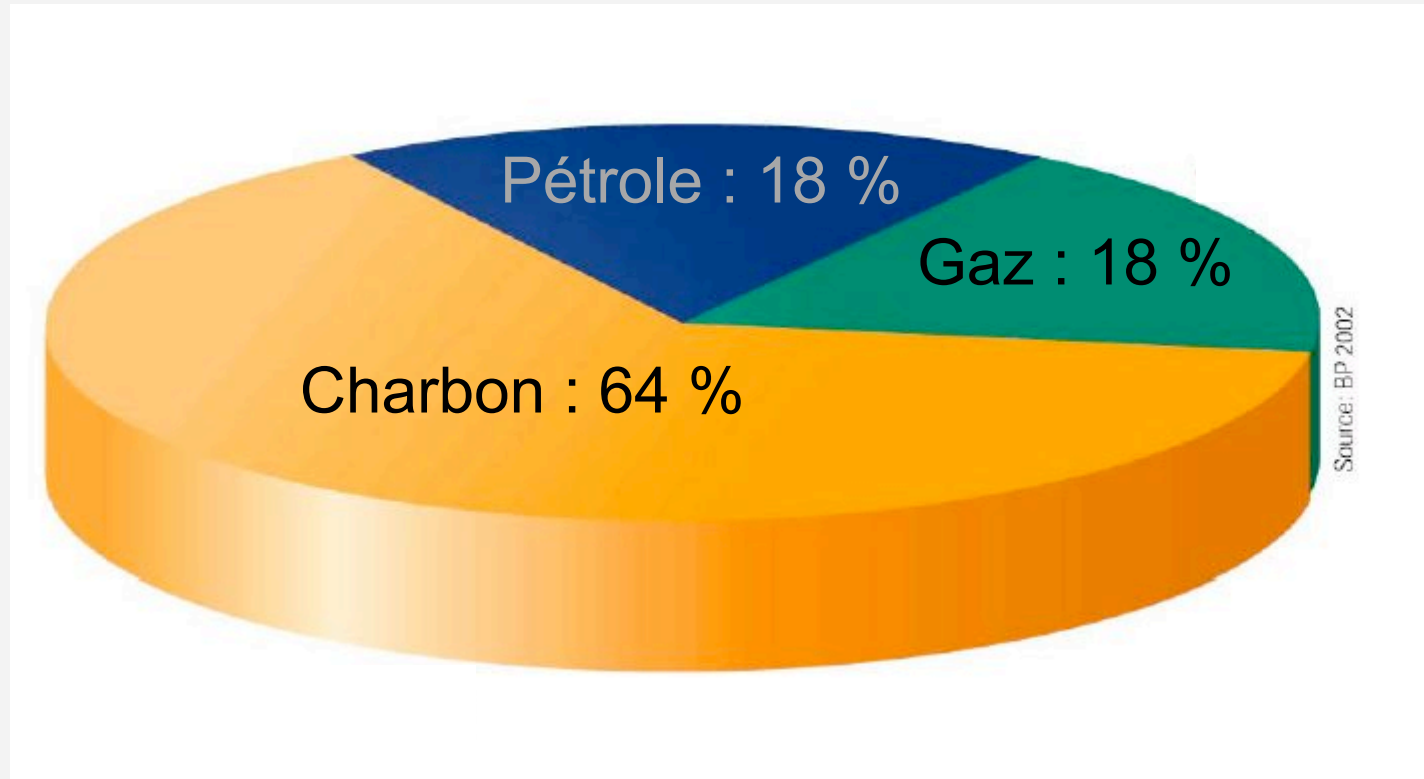
© OECD/IEA - 2007

Incremental Energy-Related CO₂ Emissions, 2005-2030



Most of the increase in emissions are projected to come from China & India in all scenarios

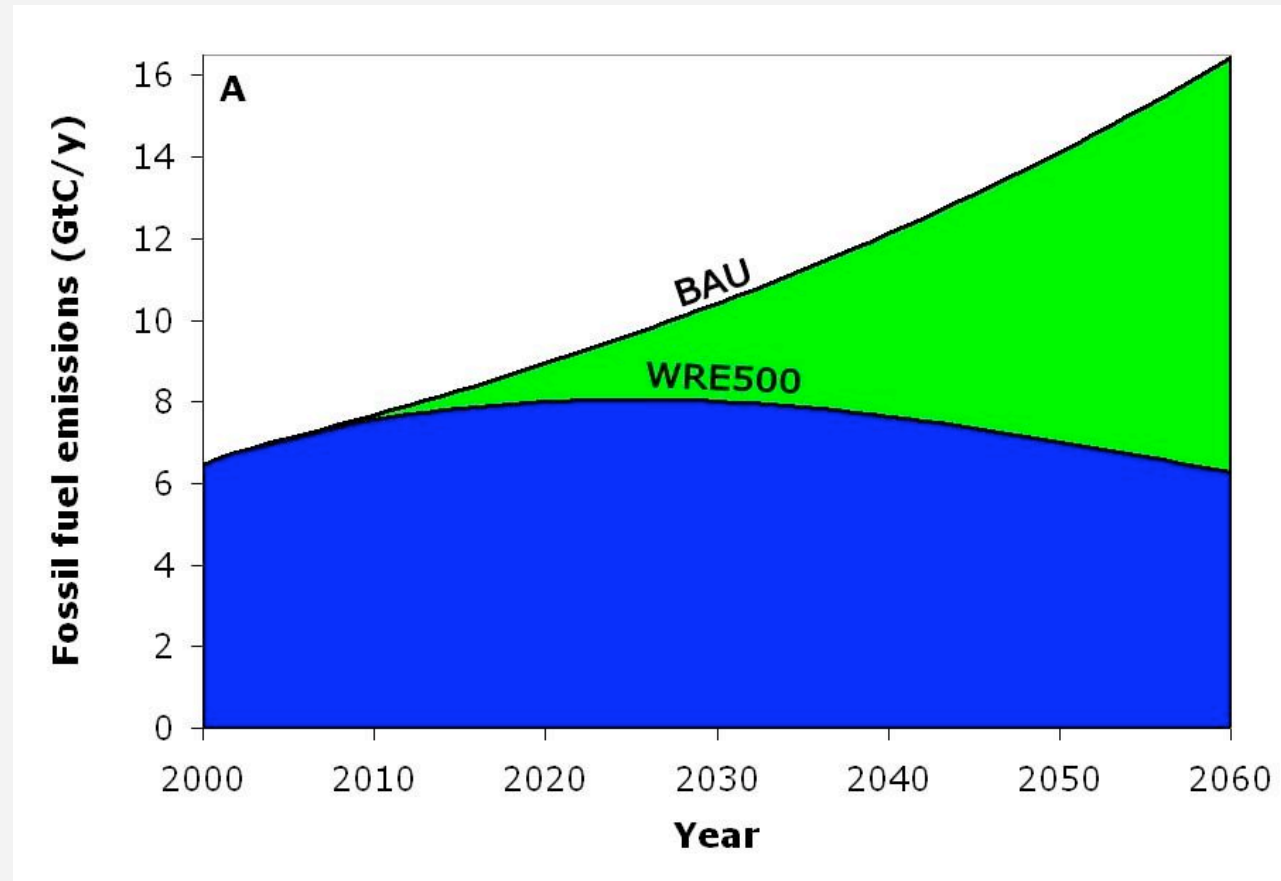
Réserves de carburants fossiles en 2002



En réserves prouvées (*hypothèse la moins optimiste*) :

- 40 ans de pétrole
- 60-100 ans de gaz
- 200-300 ans de charbon

Prévisions pour les 50 prochaines années

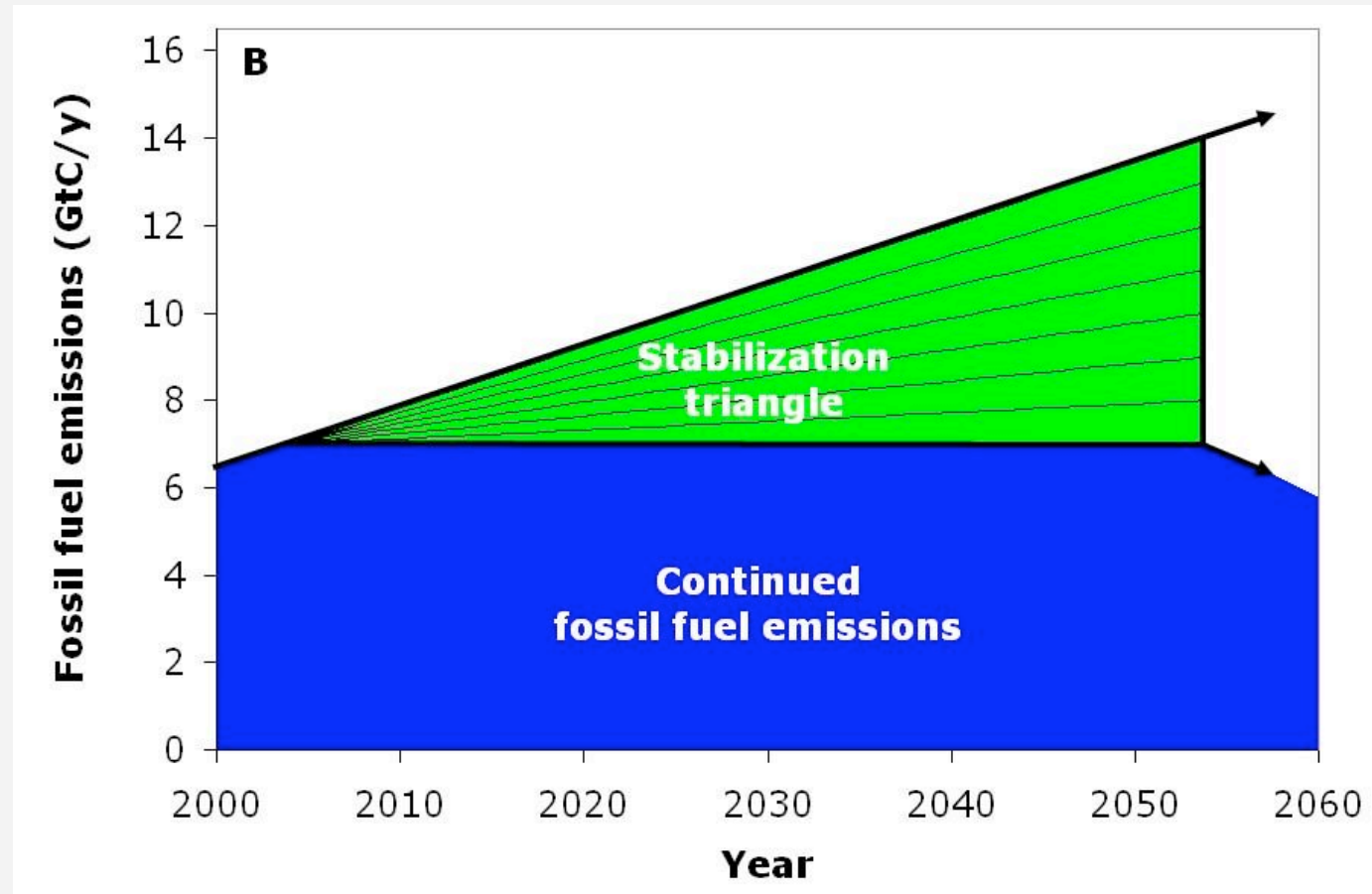


Deux modèles de prédiction des émission de CO₂:

- BAU (Business as usual) : 1.5%/an (croissance exponentielle)
- WRE500: modèle de Wigley, Richels, Edmonds (stabilisation à 500 ppm).

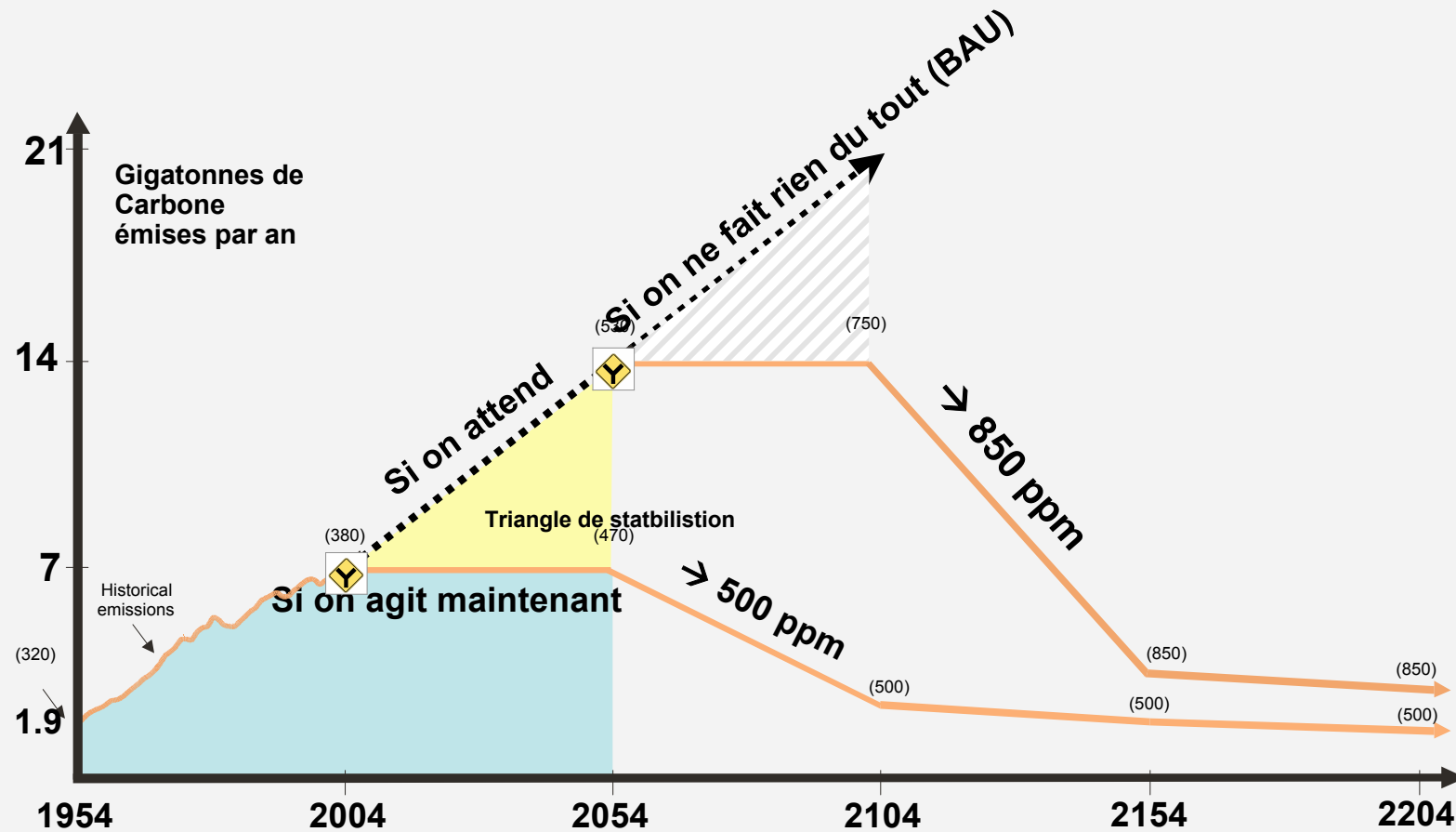
Le Triangle de stabilisation

(d'après Pacala et Sokolow, 2004)



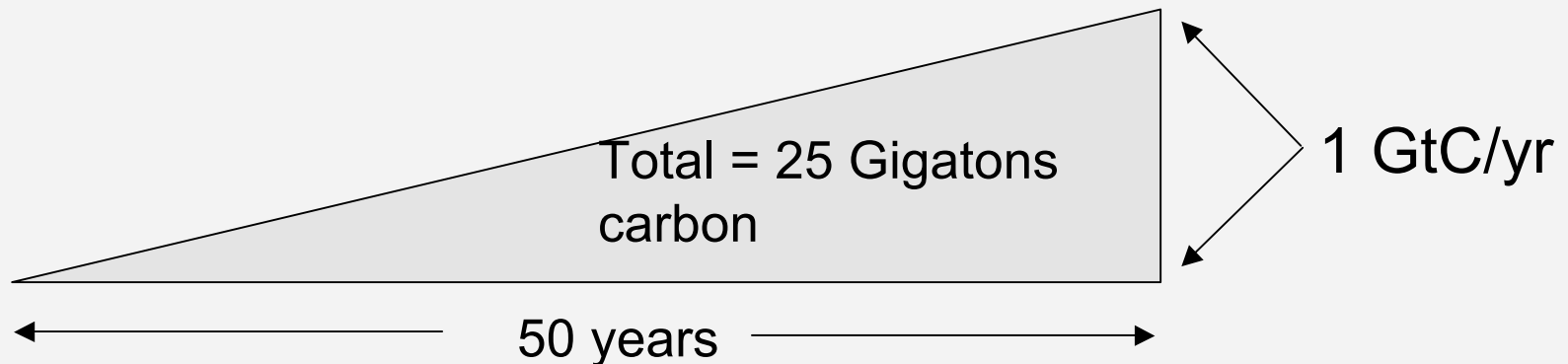
Pacala, S. and R.Sokolow, Stabilization wedges: solving the climate problem for the next 50 years with current technologies, *Science*, vol. 305, pp 968-972, 2004.

En agissant maintenant on peut stabiliser à 500 ppm en 2050



What is a “wedge”?

A “wedge” is an activity reducing the rate of carbon build-up in the atmosphere that grows in 50 years from zero to 1.0 Gt(C)/yr.

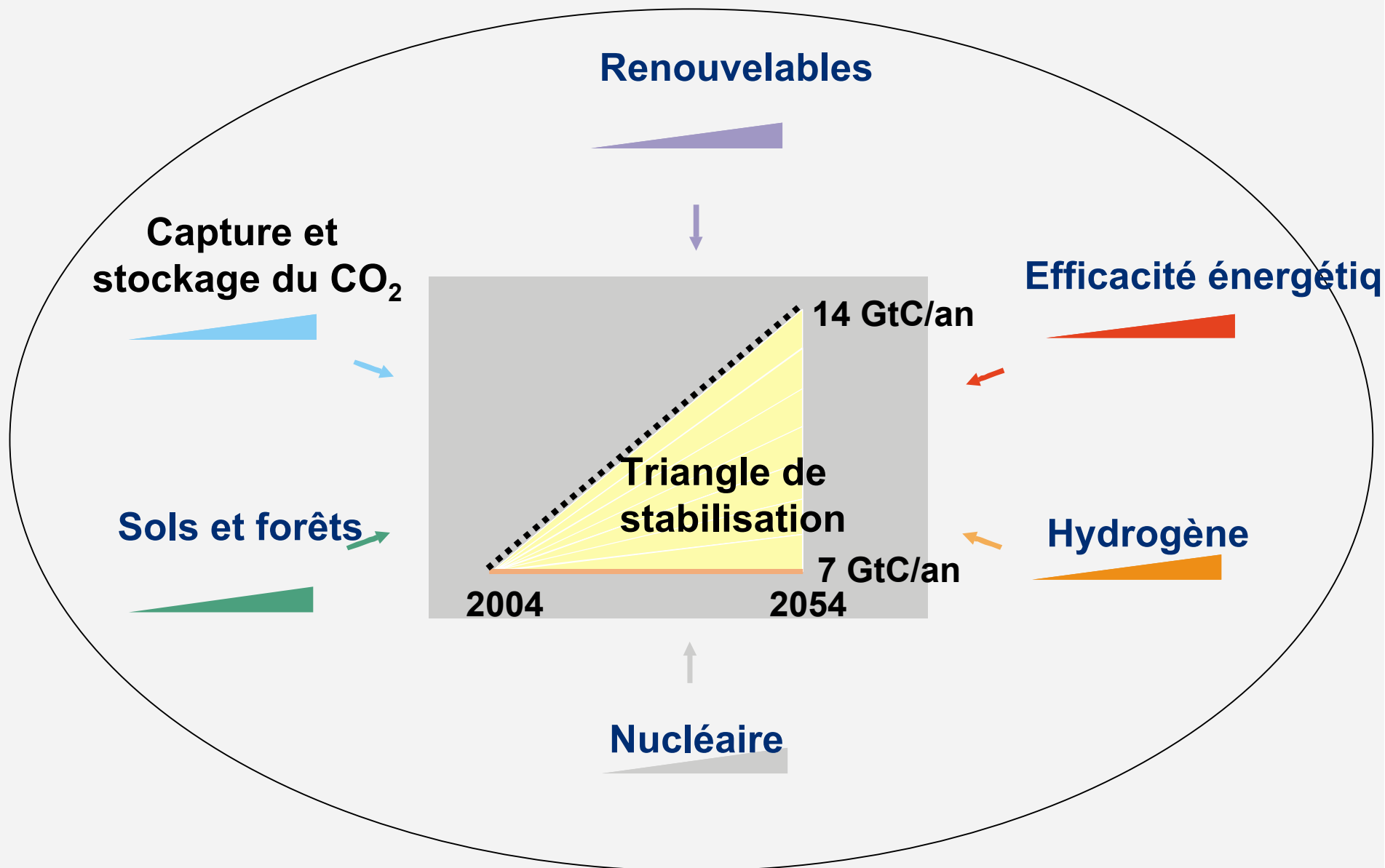


Cumulatively, a wedge redirects the flow of 25 Gt(C) in its first 50 years. This is 2.5 trillion dollars at \$100/t(C).

A “solution” to the Greenhouse problem should have the potential to provide at least one wedge.



Parmi les solutions possibles



Comment réduire chaque année les émissions de CO₂ d'un milliard de tonnes par an? (300 centrales à charbon de 500 MW)

- ***Ne pas consommer cette énergie.***
Exemple: remplacer toutes les ampoules à incandescence par des ampoules à basse consommation (un an)
- ***Remplacer ces centrales par des centrales nucléaires de 1000MW:***
150 nouvelles unités par an
- ***Les remplacer par du solaire ou de l'éolien:***
je vous laisse faire le calcul...
- ***Conserver ces centrales et séquestrer le CO₂ produit dans des pièges géologiques:***
1000 Sleipner par an

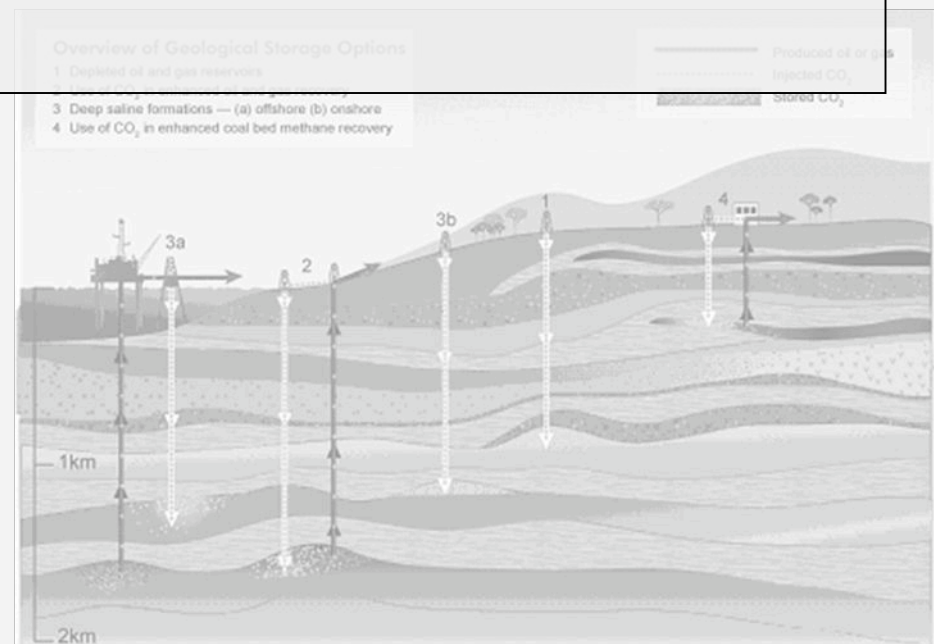
IL N'Y A PAS DE SOLUTION MIRACLE

TOUT SERA NECESSAIRE

Filière Capture, Transport et Stockage de CO₂

CSC ou CCS pour Carbon Capture and Storage.

Agir sur les sources concentrées de CO₂ principalement les centrales thermiques pour capturer le CO₂ puis le transporter et l'enfouir dans le sous-sol pour qu'il y reste plusieurs milliers d'années si possible.



Qu'est-ce une source de CO₂ adaptée au stockage géologique?

- ▶ Important point d'émission permanent.
- ▶ Haute concentration en CO₂ des fumées produites
- ▶ A distance raisonnable d'un site de stockage souterrain potentiel

Sources permanentes émettant plus de 0.1 MtCO₂/an

Process	No. of sources	Emissions (MtCO ₂ /yr)
Fossil Fuels		
Power (coal, gas, oil and others)	4,942	10,539
Cement production	1,175	932
Refineries	638	798
Iron and steel industry	269	646
Petrochemical industry	470	379
Oil and gas processing	N/A	50
Other sources	90	33
Biomass		
Bioethanol and bioenergy	303	91
Total	7,887	13,466

Plus de la moitié des émissions mondiales...

CCS How?

