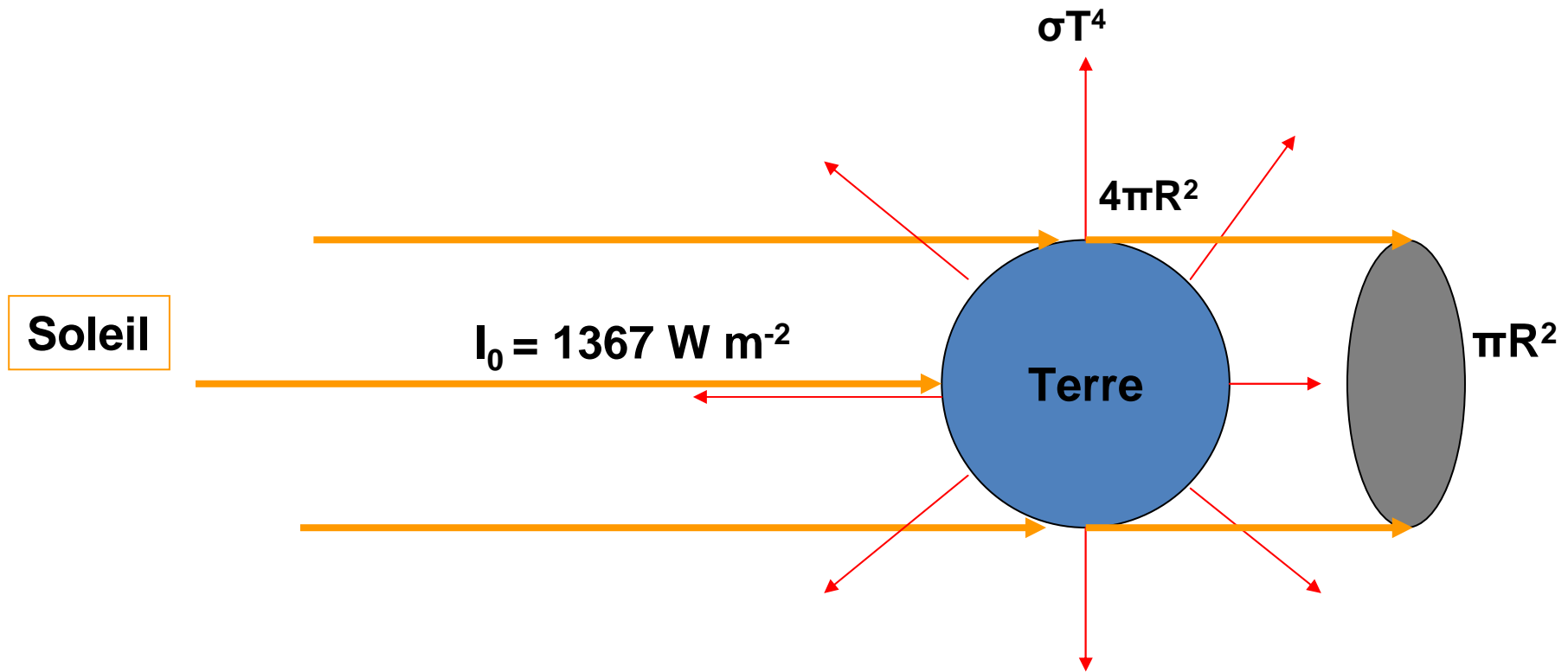


# Changement climatique: que faire?

- 1. L'effet de serre naturel et lié à l'homme
- 2. Les gaz à effet de serre
- 3. Les variations de température
- 4. Le GIEC et ses recommandations
- 5. De Kyoto (déc. 1999) à Cancun (déc. 2010)
- 6. Que faire? Limiter les émissions ou s'adapter au réchauffement?



La Terre reçoit  $I_0$  sur la surface  $\pi R^2$ , dont une fraction  $a$  est réfléchi

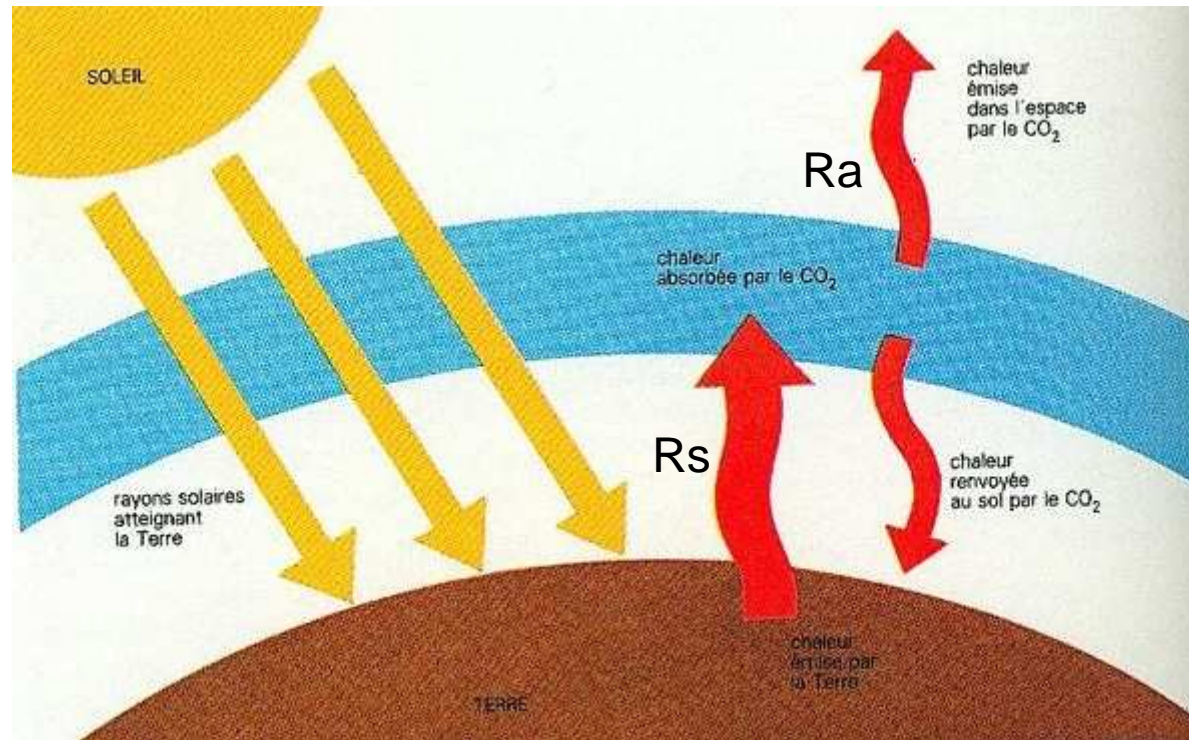
Rayonnement solaire absorbé:  $\pi R^2 * I_0 * (1-a)$

Elle émet dans l'infrarouge  $\sigma T^4$  sur la surface  $4\pi R^2$

A l'équilibre, rayonnement émis = rayonnement absorbé, soit:

$$\sigma T^4 = I_0 * (1-a) / 4 = 1367 * (1-0.31) / 4 = 236 \text{ W m}^{-2}$$

Soit  $T = 254 \text{ K}$  ou  $-19 \text{ }^\circ\text{C}$ , c'est sa température vue de l'espace



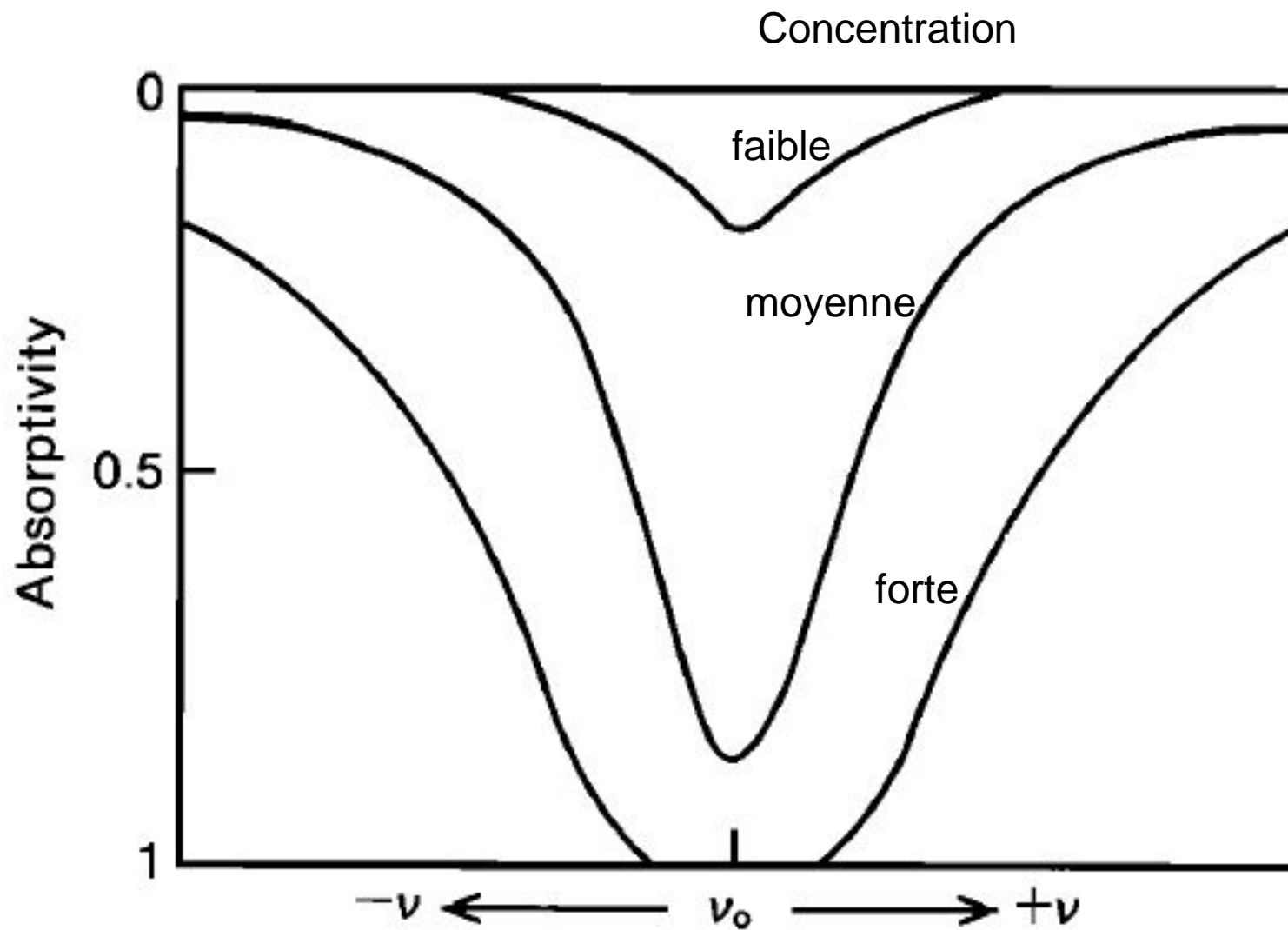
Principe de l'effet de serre :

Le rayonnement IR émis par la surface est absorbé par l'atmosphère et renvoyé vers la surface (ce qui la réchauffe) et vers l'espace).

$$R_s - R_a = 150 \text{ W m}^{-2} \text{ (effet de serre naturel)}$$

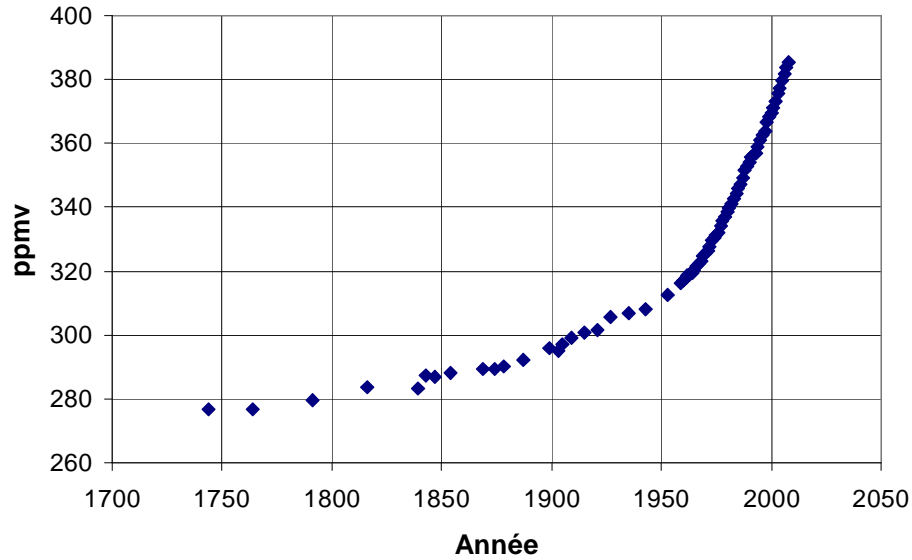
# Gaz à effet de serre

- Molécules avec au moins 3 atomes pour absorber dans l'infrarouge (4-50  $\mu\text{m}$ )
- $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ , méthane  $\text{CH}_4$ , oxyde nitreux  $\text{N}_2\text{O}$ , ozone  $\text{O}_3$ , halocarbones
- Tous sont des gaz présents en très faible concentration (<1%)
- Les gaz principaux de l'air ( $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) n'absorbent pas dans l'infrarouge

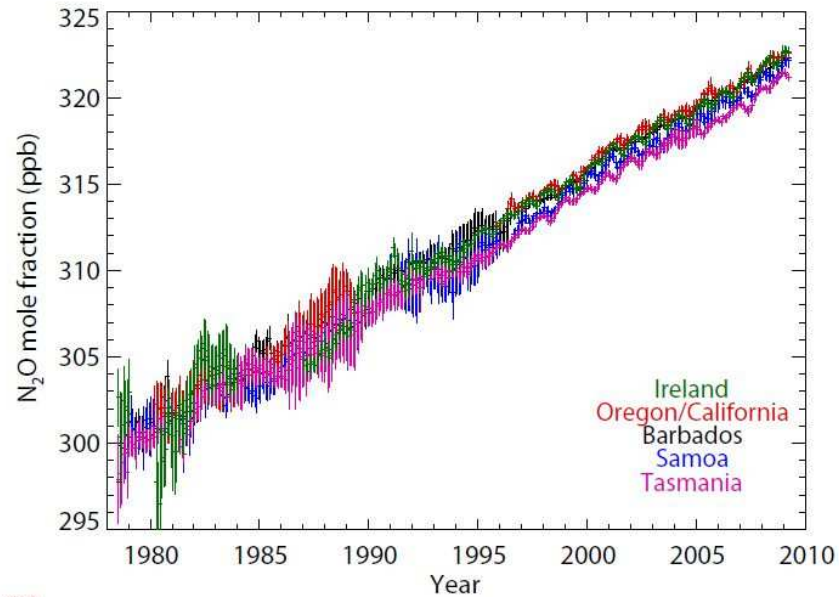
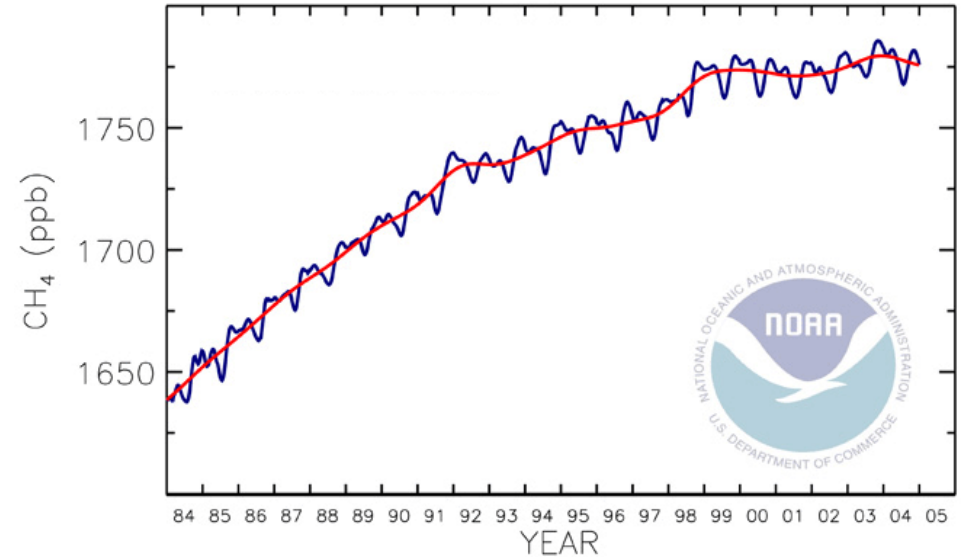


Spectre d'absorption d'un gaz à effet de serre,  
en fonction de la fréquence

Concentration en CO<sub>2</sub>



Global Average Methane Concentration

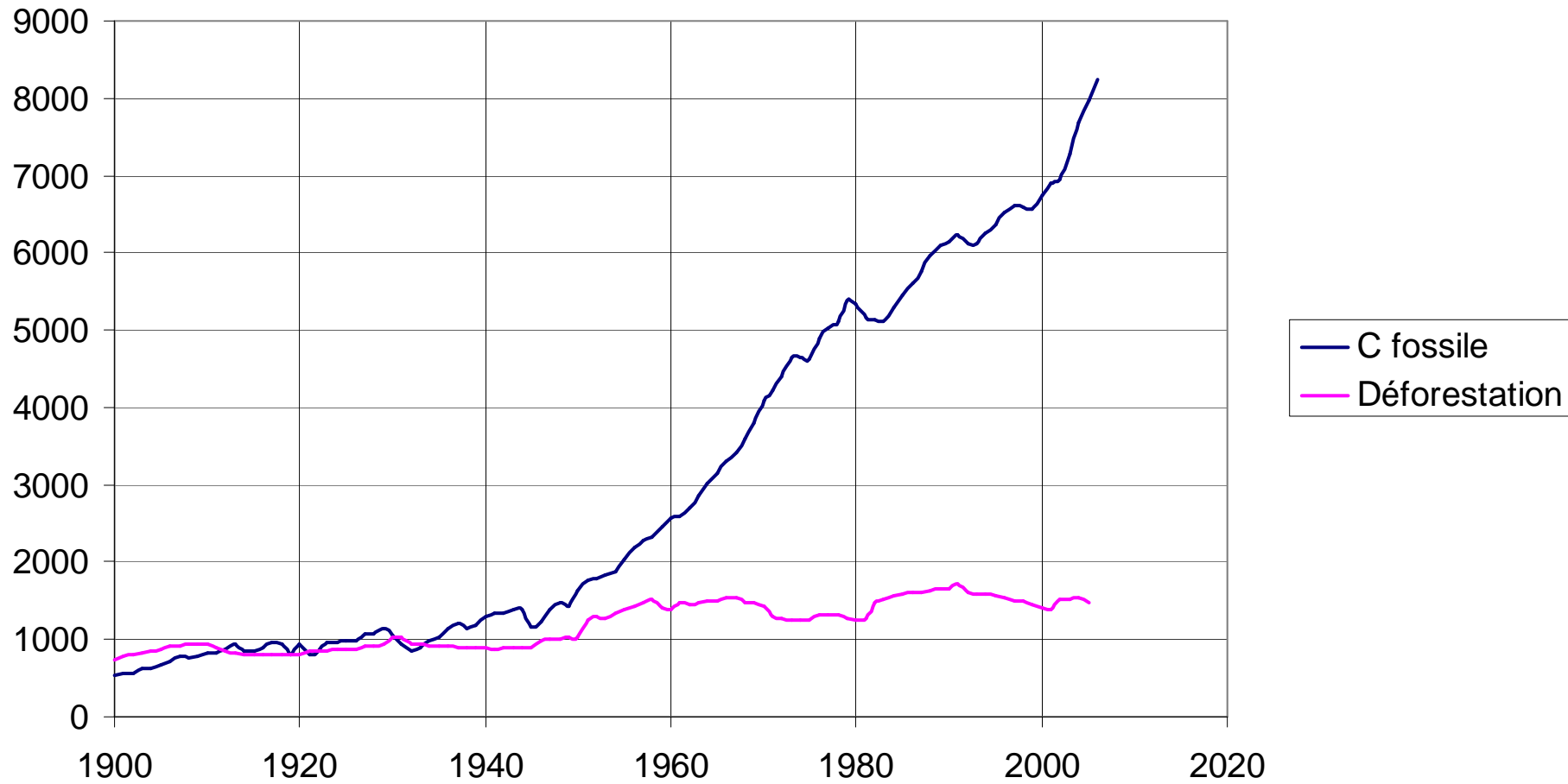


Données récentes:  
Seul le méthane donne des signes de  
stabilisation, oxydé en CO<sub>2</sub> par les  
radicaux OH de l'atmosphère

# Pourquoi les GES augmentent-ils?

- $\text{CO}_2$ : rejets par combustion de carbone fossile et déforestation
- $\text{CH}_4$ : rejets par ruminants d'élevage (bovins, ovins) et par les rizières
- $\text{N}_2\text{O}$ : volatilisation des engrais azotés

## Emissions de CO<sub>2</sub> en millions de tonnes de carbone



Total près de 10 Gt C soit 37 Gt CO<sub>2</sub> en 2004, plus 12 autres gaz = 49



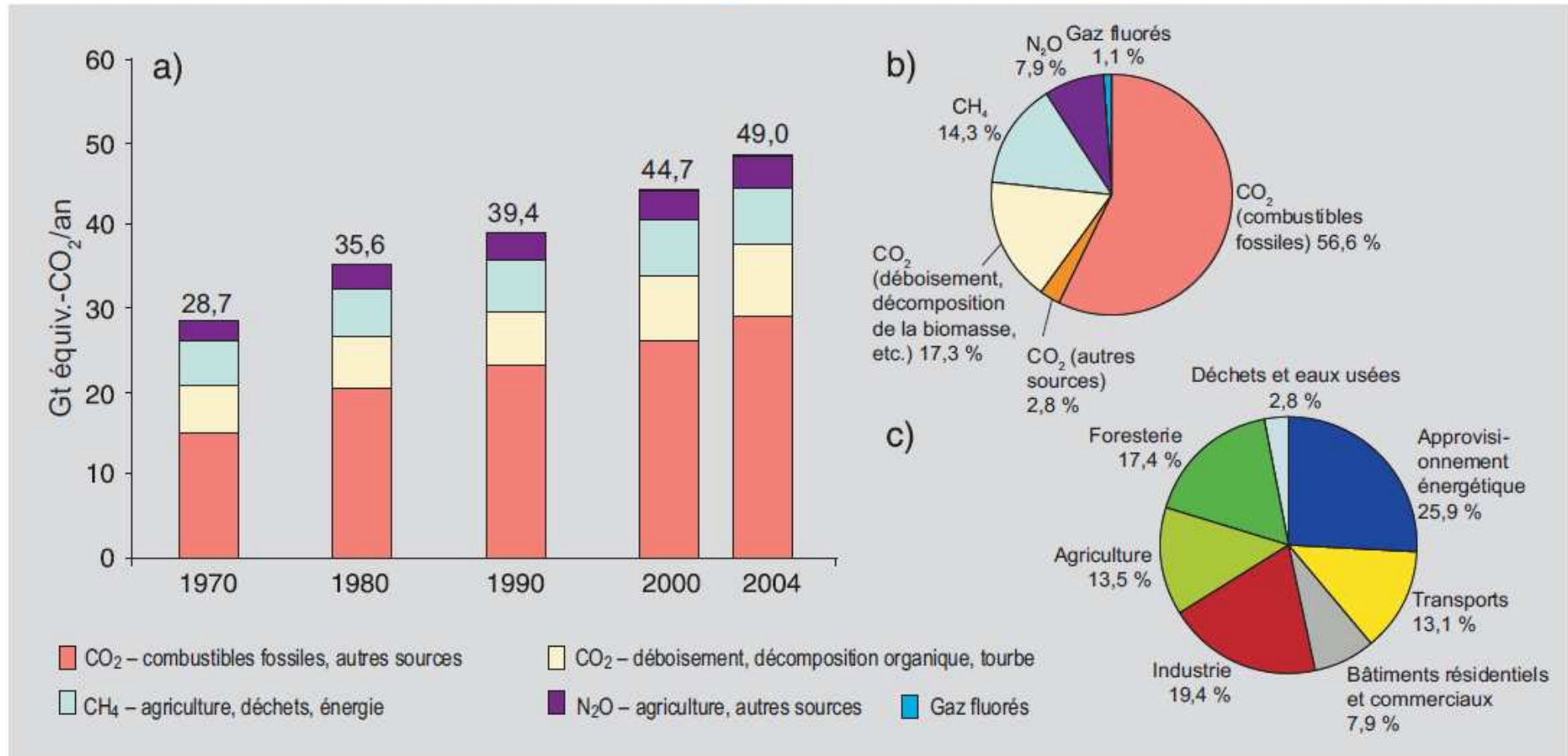
# Bilan de carbone global en Gt C

- Emissions 10 environ (8,5 C fossile, 1,5 déforestation)
- Accumulation dans l'atmosphère 4,5
- Puits océanique 2 à 2,5
- Puits terrestre 3 à 3,5
- Problème: les émissions augmentent rapidement, les puits saturent et risquent de diminuer
- → Comment limiter les émissions?

# Le GIEC ou IPCC

- Créé en 1988 par l'OMM et le PNUE
- 3 groupes de travail et une équipe pour les inventaires nationaux de GES
- 1. Aspects scientifiques du système climatique et de l'évolution du climat
- 2. Vulnérabilité des systèmes socio-économiques et naturels aux changements climatiques, conséquences négatives et positives de ces changements et possibilités de s'y adapter
- 3. Solutions envisageables pour limiter les émissions de gaz à effet de serre ou atténuer de toute autre manière les changements climatiques
- Rapports en 1990, 1995, 2001 et 2007 ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch))

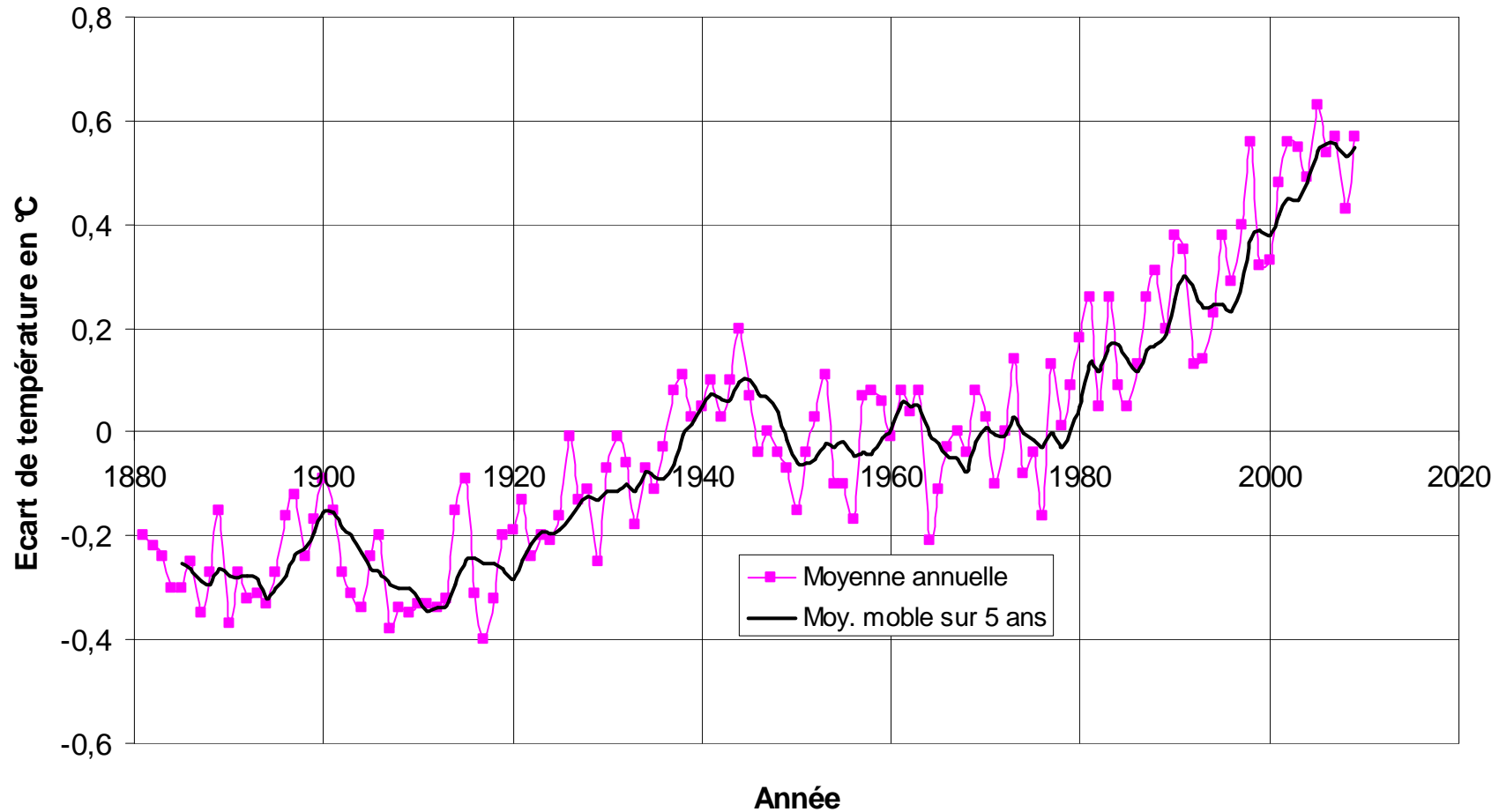
## Émissions mondiales de gaz à effet de serre anthropiques



Source : GIEC 2007  $\text{CO}_2/\text{C} = 44/12 = 3,7$

La température a-t-elle varié? Oui!

### Température globale

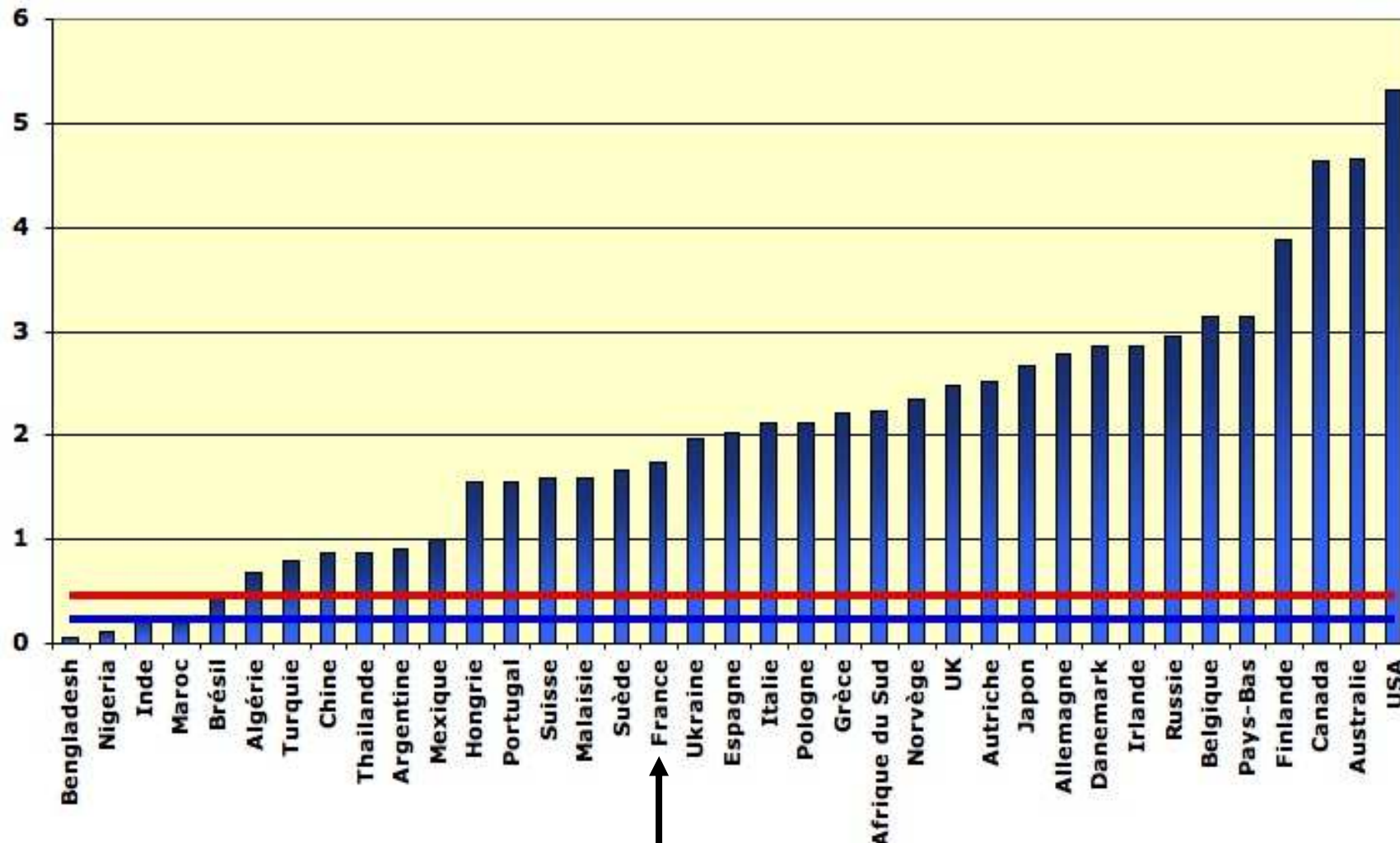


Ecart de température par rapport à la période 1951-1980

Mesures de surface des stations météo plus mesures de bateaux et de satellites

# limiter le réchauffement à 2 °C

- Blanchissement des coraux
- Fonte des glaces (Glaciers, Groenland)
- Circulation océanique ralentie
- Diminution des puits terrestres de carbone
- Economiser ce qui reste de C fossile
- Cela impose une division par 2 des émissions de GES au 21ème siècle (par 4 pour les pays industrialisés)



Emissions par habitant en tC/an en 1998, pour divers pays.  
 La barre rouge indique l'objectif à atteindre le plus tôt possible...

Source [www.manicore.com](http://www.manicore.com) d'après UNFCCC

## Rapport Stern: limiter le réchauffement à 2 °C

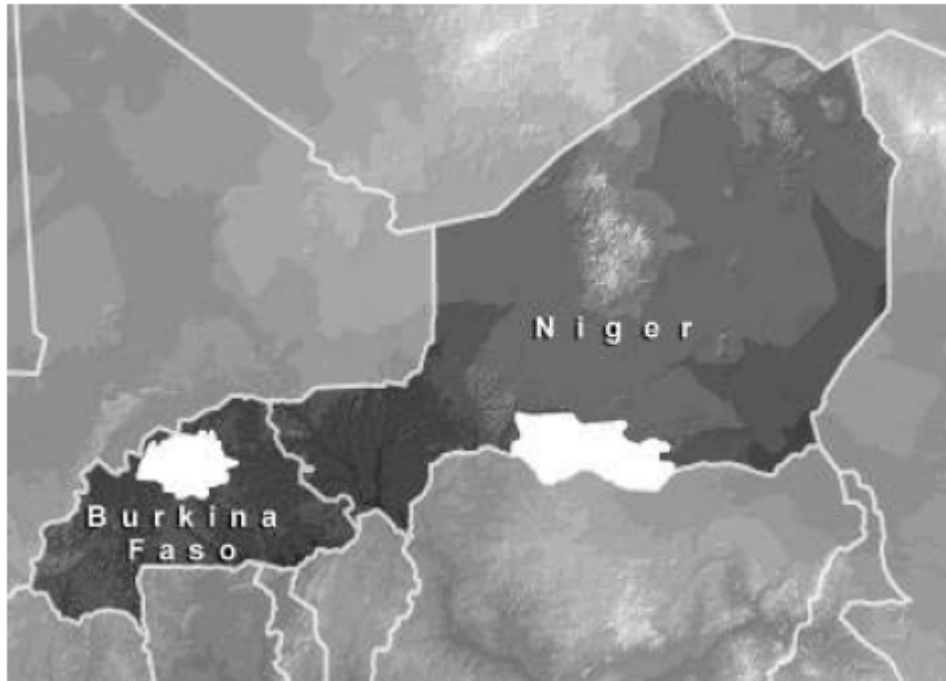
- Stabiliser la concentration entre 450 et 550 ppm d'équivalent CO<sub>2</sub> (en 2008 on avait 385 ppm de CO<sub>2</sub> et 434 ppm d'équiv. CO<sub>2</sub>)
- → Baisser les émissions globales de 25% de 2000 à 2050, et de 80% en 2100
- Coût estimé des dommages: 5 à 20% du PIB
- Coût estimé de la prévention: 1% du PIB
- PIB mondial 54000 G\$ (2007), 1%=540G\$
- PIB France 2560 G\$, 1%=26G\$ (milliards \$)

# Que faire?

- Diminuer la déforestation (tropiques surtout) en compensant financièrement le manque à gagner (C arbres et sols)
- Développer une agriculture productive mais écologique (limitation des engrais, du labour, des pesticides, C sols)
- Développer des énergies renouvelables (ex. solaire thermodynamique, fusion un jour?), remplacer le pétrole pour le transport
- Diminuer l'intensité en carbone des produits manufacturés
- Partager les ressources terrestres: nous n'avons qu'une seule Terre, qui appartient à tous les humains
- Donner priorité à nos besoins essentiels (spirituels autant que matériels)

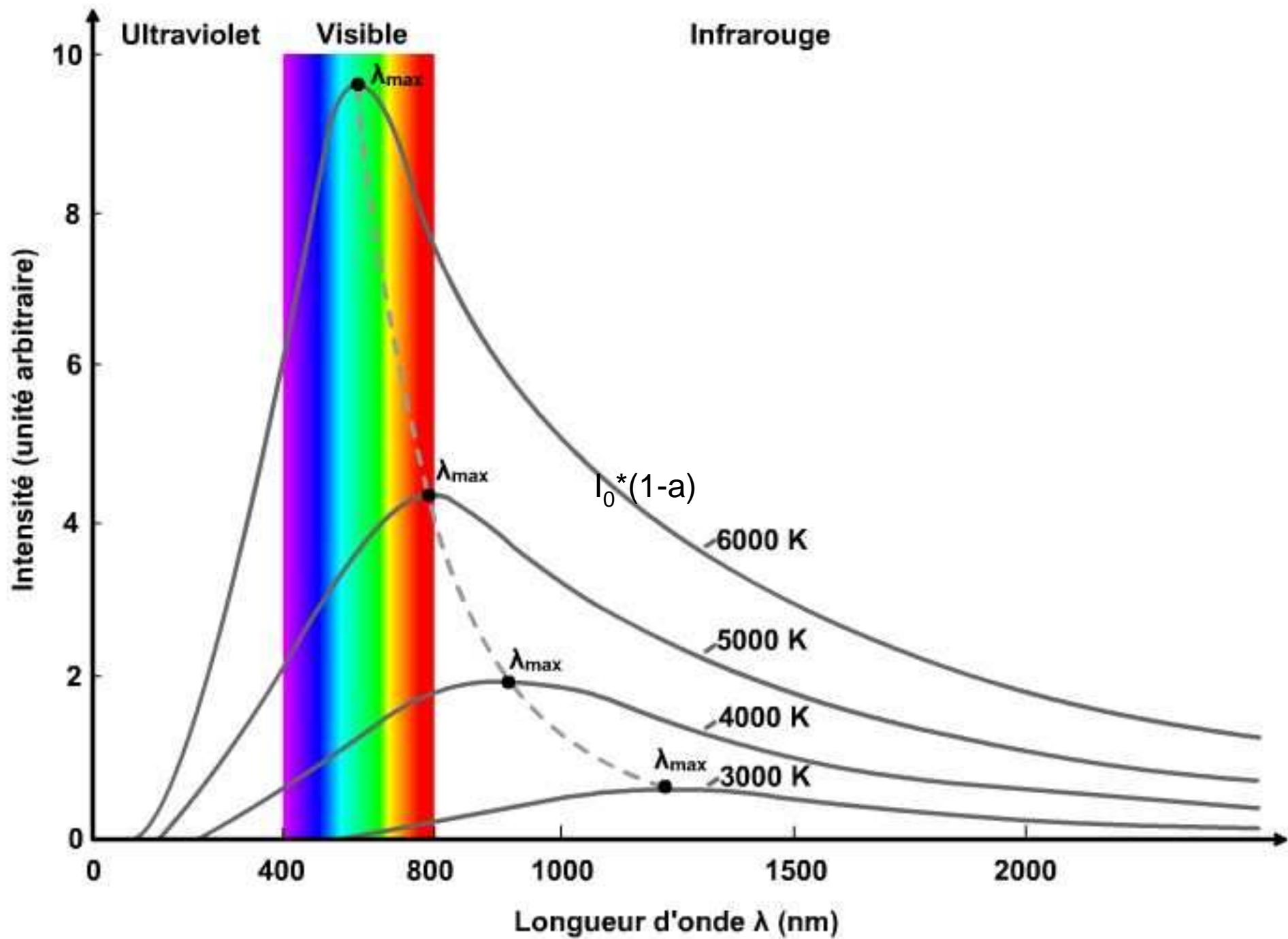


# Reverdir le Sahel

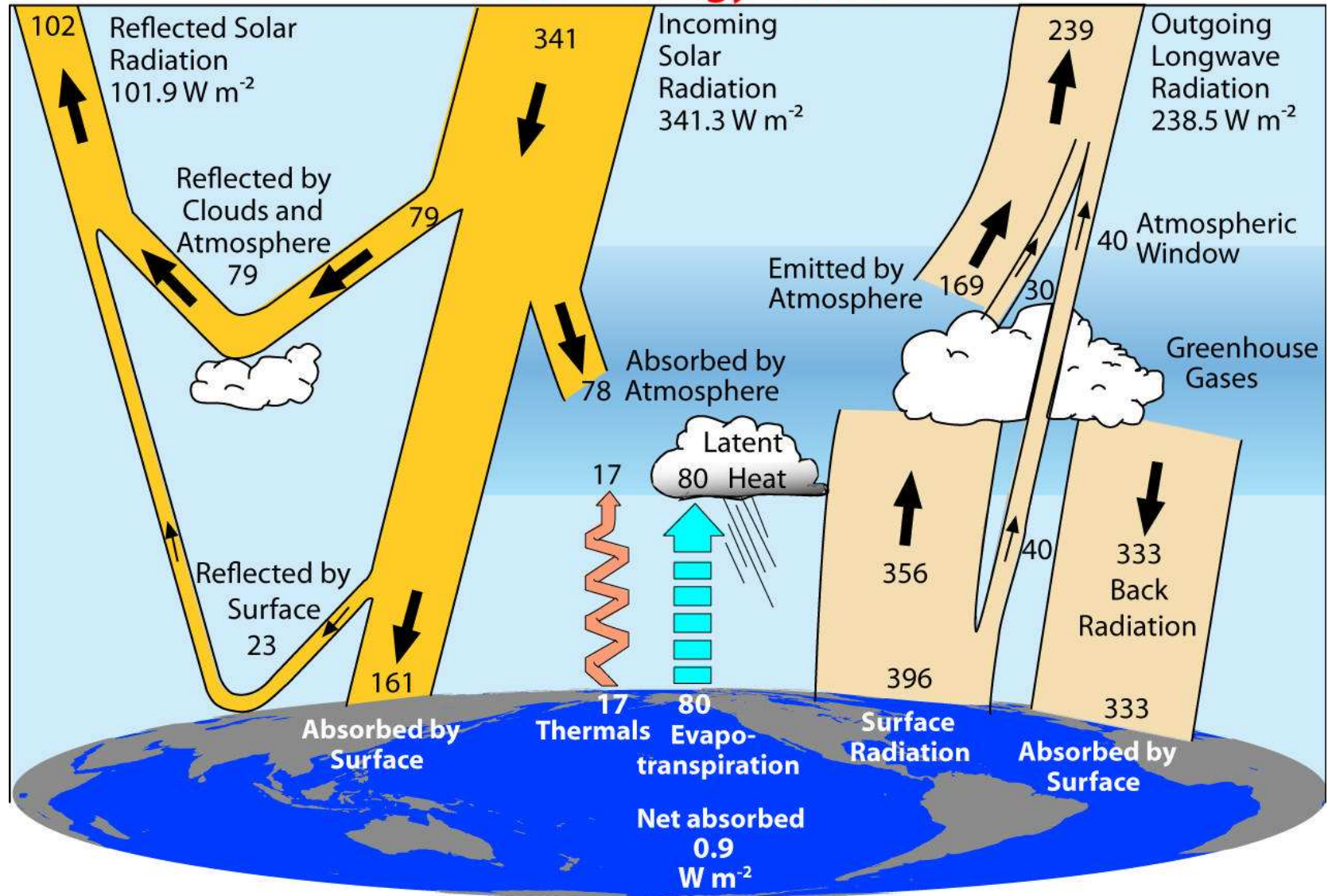


Burkina: 250 000 ha,  
Niger 5 millions d'ha, 200 millions d'arbres

Chris Reij, Gray Tappan, Melinda Smale,  
2009. IFPRI Discussion Paper 00914

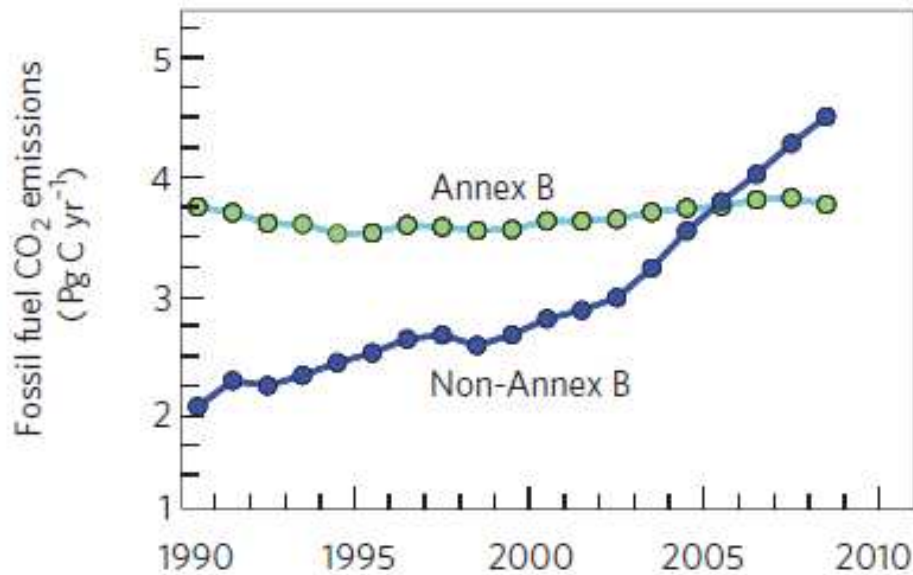
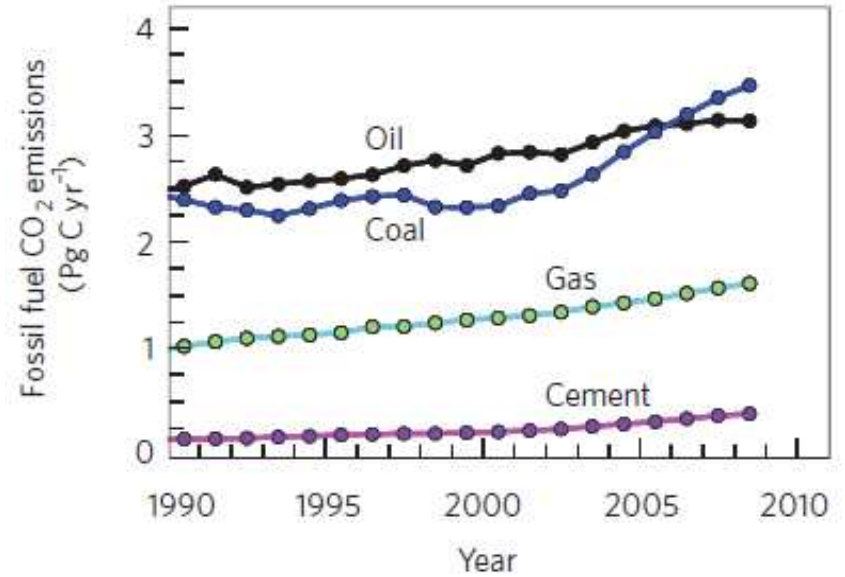
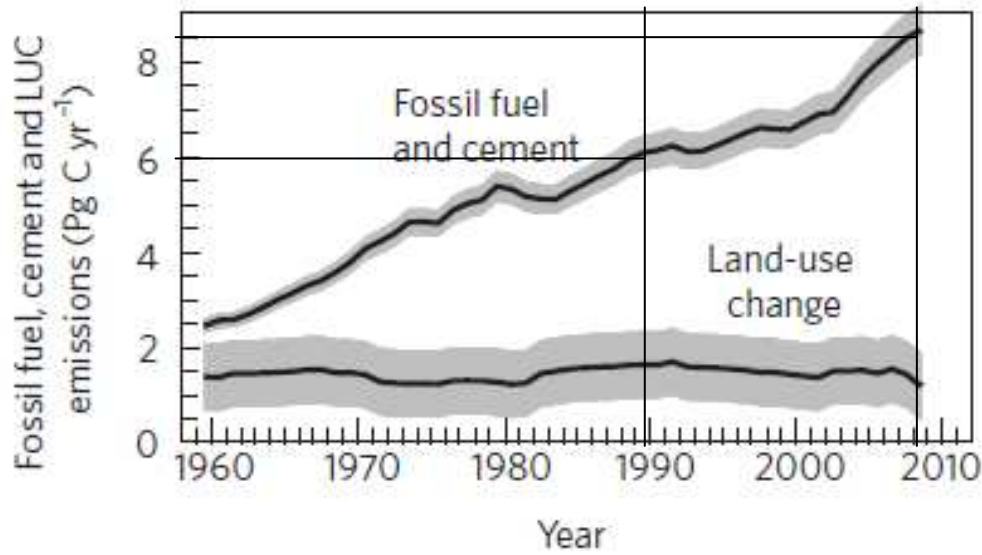


# Global Energy Flows $W m^{-2}$

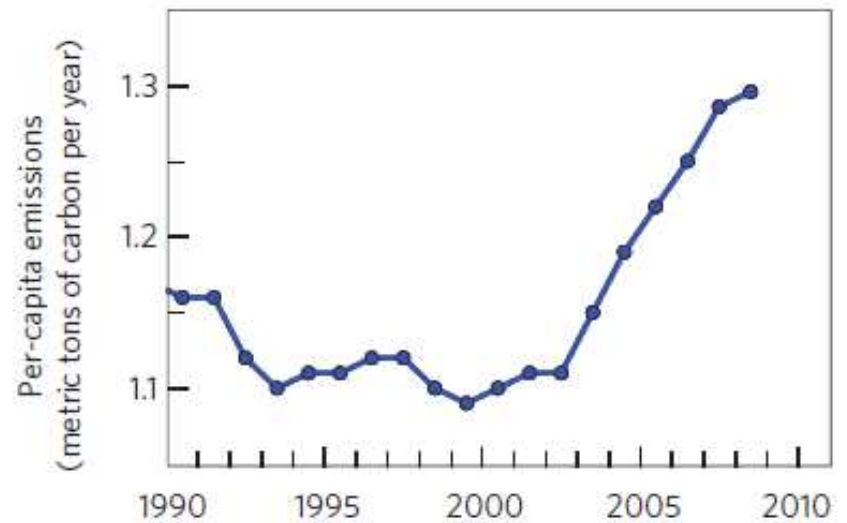


Effet de serre = rayonnement émis par la surface – rayonnement émis vers l'espace

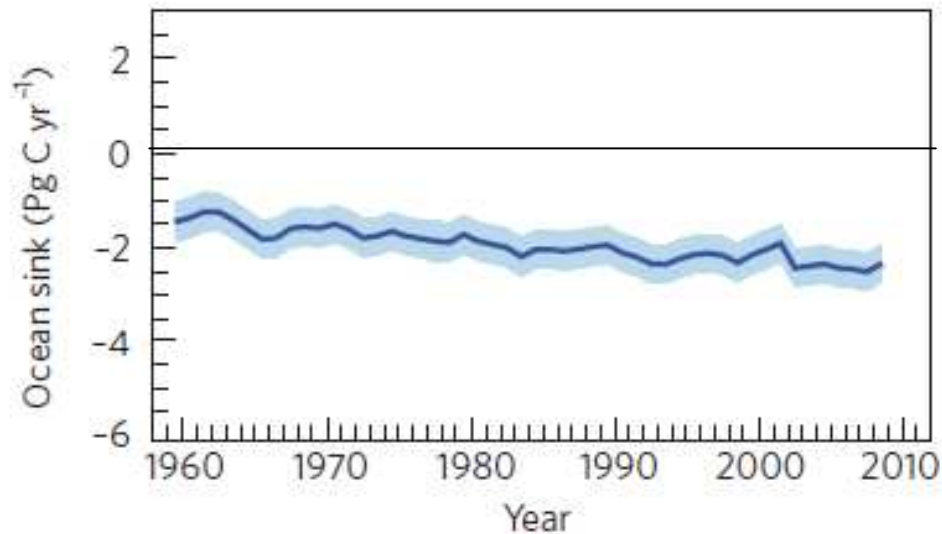
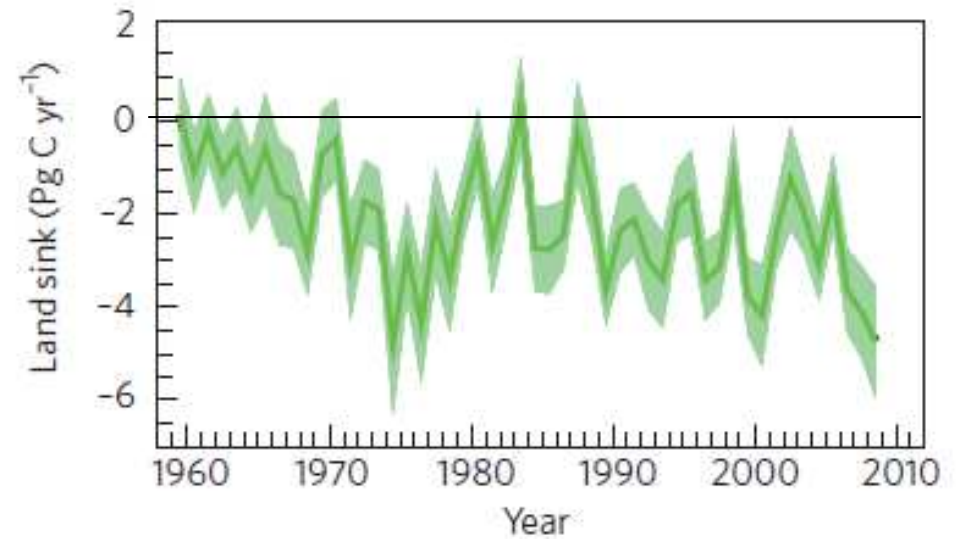
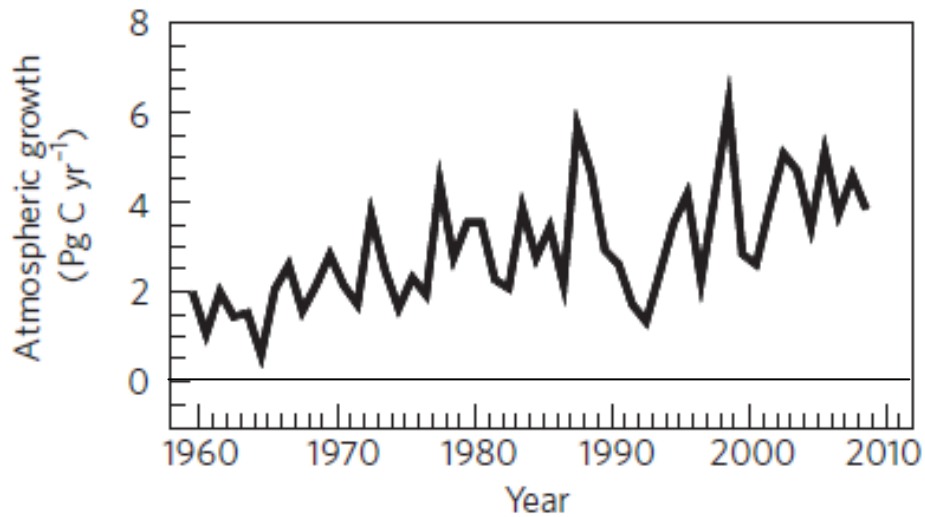
$$\text{Soit } Q = 396 - 239 = 157 \text{ } W m^{-2}$$



Les pays émergents ont dépassé les pays dits « industrialisés »



Ce qui augmente les émissions par habitant à 1,3 t<sub>c</sub>/an

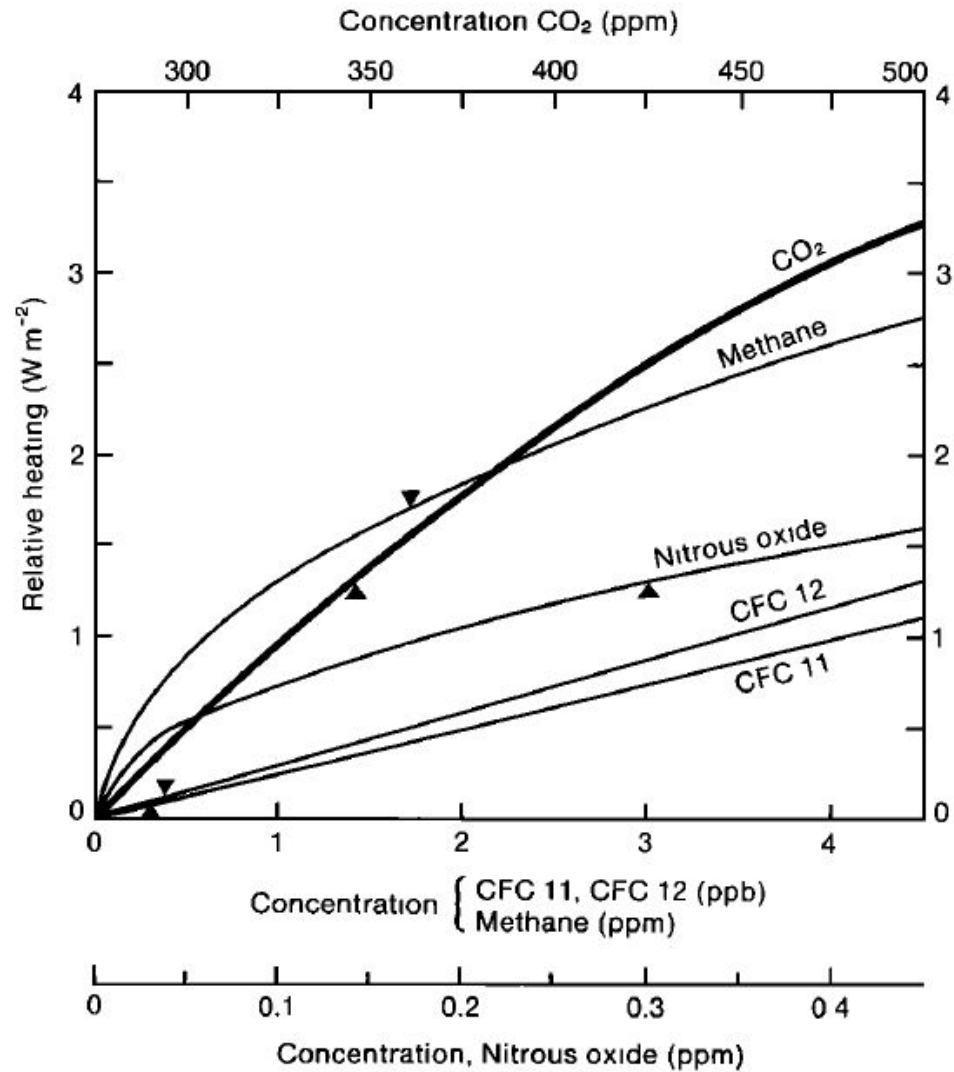


Plus de la moitié des émissions de CO<sub>2</sub> est absorbée par les continents (forêts surtout) et par les océans, ce qui ralentit d'autant l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique. Ces puits sont-ils durables?

Et comment les étudier?

Tours à flux, modèles, satellites

Source : Le Quéré et al., 2009. *Nature Geoscience* 2, 1-6



Chauffage par effet de serre en fonction de la concentration  
 Source: Mitchell JFB, 1989. *Reviews of Geophysics* **27**, 115-139.