

4 Nov. 2014. **Changement Climatique: certitudes et incertitudes.**

R. Zaharia. Vice Président du Club des Argonautes...

Formation initiale en optique instrumentale...

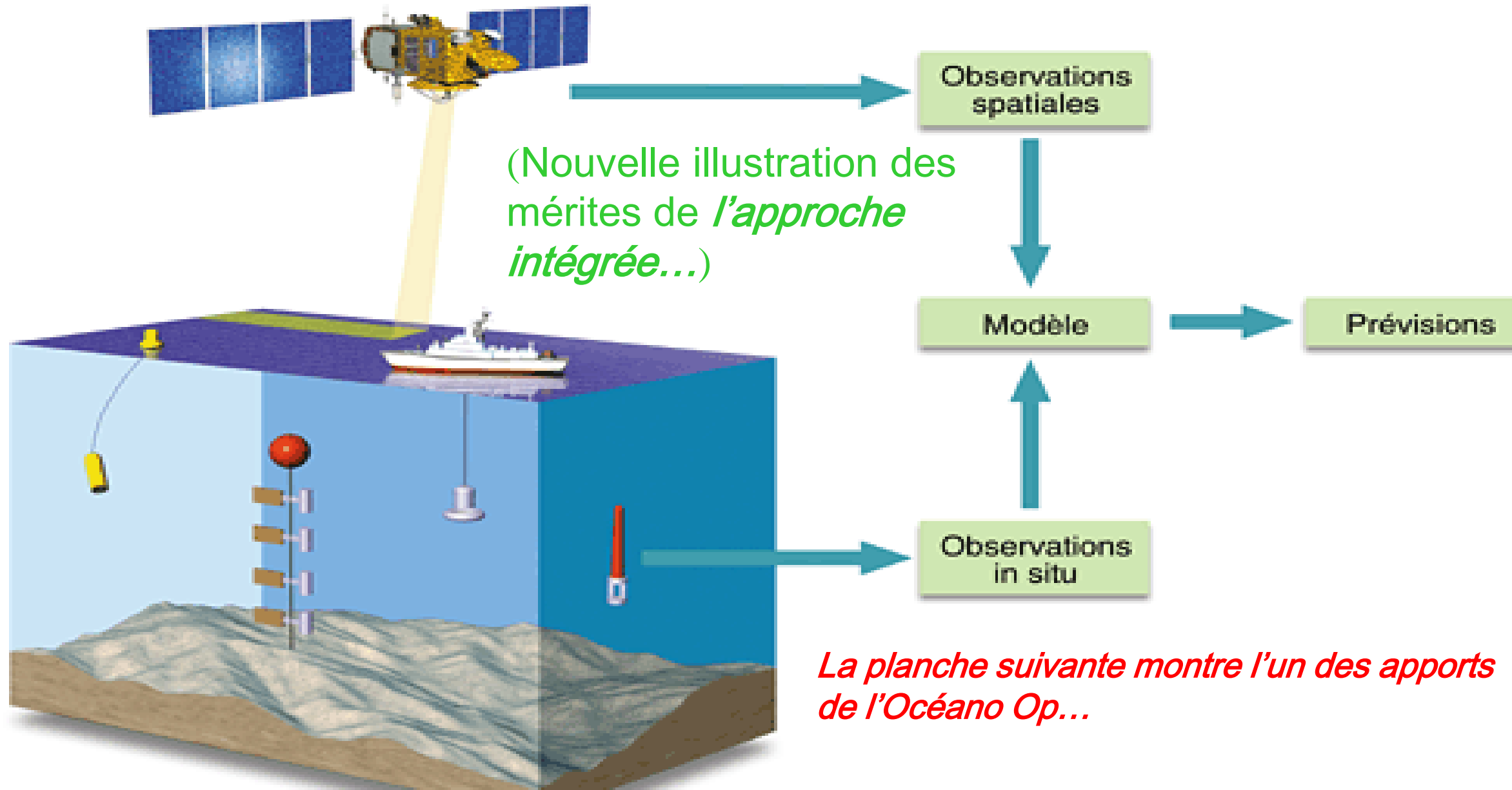
En 1960, aucune École n'enseignait le métier que j'ai fait pendant 25 ans !

Un métier où les engins que l'on produit valent entre 10 et 30 fois leur poids d'or:

les **satellites d'observation et de mesure au profit des Sciences de l'Univers, y compris l'étude de la 3<sup>ième</sup> planète solaire: la notre !**

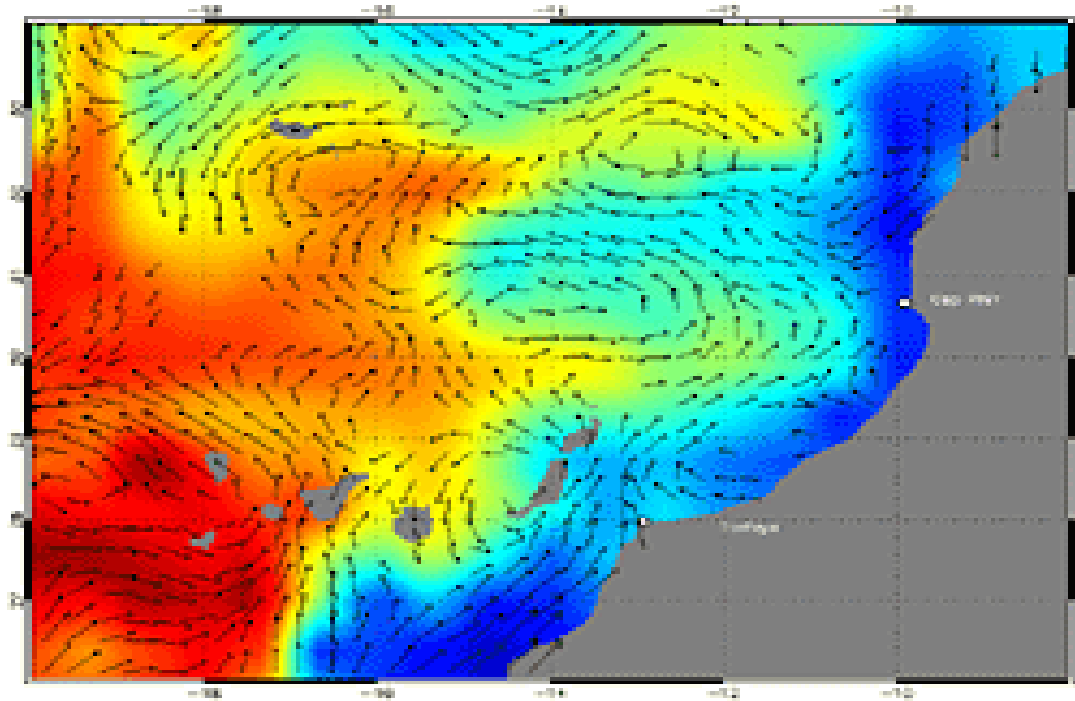


# Océanographie Opérationnelle: au tournant du siècle, l'émergence d'une nouvelle activité: la *météo de l'océan* !



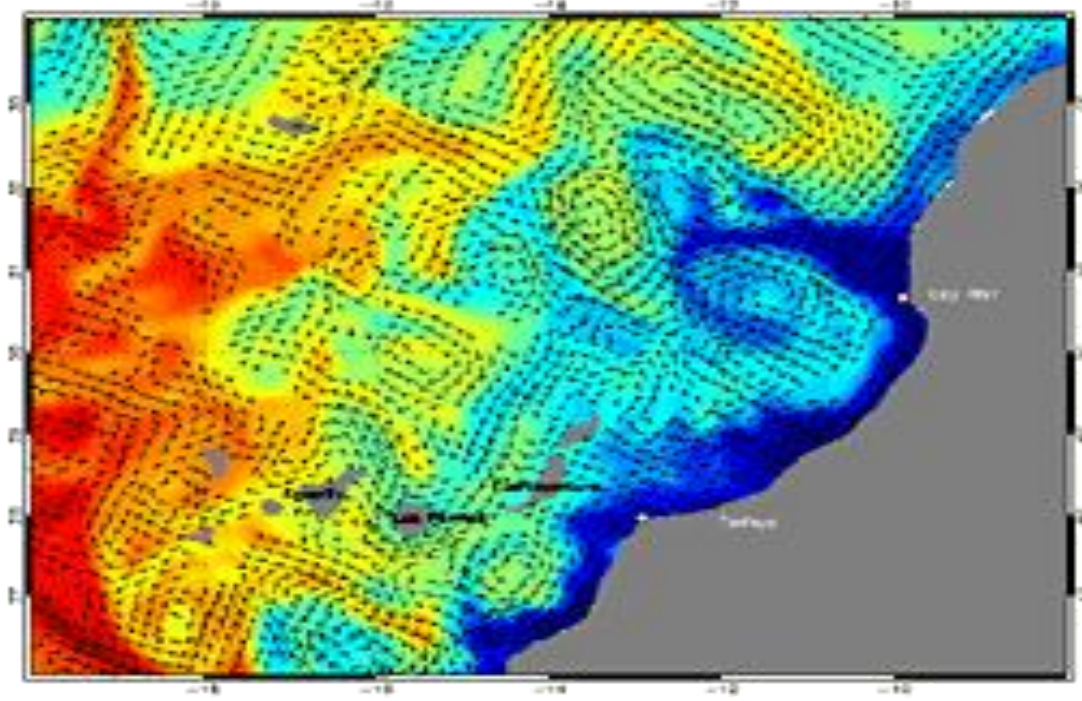
# Les upwellings Africains

initialised salinity : 6 on 11-12-2002 near 8m



1/3° (PSY1)

initialised salinity : 6 on 11-12-2002 near 3m



1/15° (PSY2)

4 Nov. 2014. **Changement Climatique: certitudes et incertitudes.**

**Des progrès certes fantastiques.... Mais qui restent insuffisants...**

- tant vis-à-vis de la complexité des processus chaotiques et non linéaires qu'il est nécessaire d'identifier puis de représenter + **ou** - correctement dans les modèles numériques de climat,

- que vis-à-vis des attentes de

la société sur **les réponses que la science peut, ou non, lui apporter !**

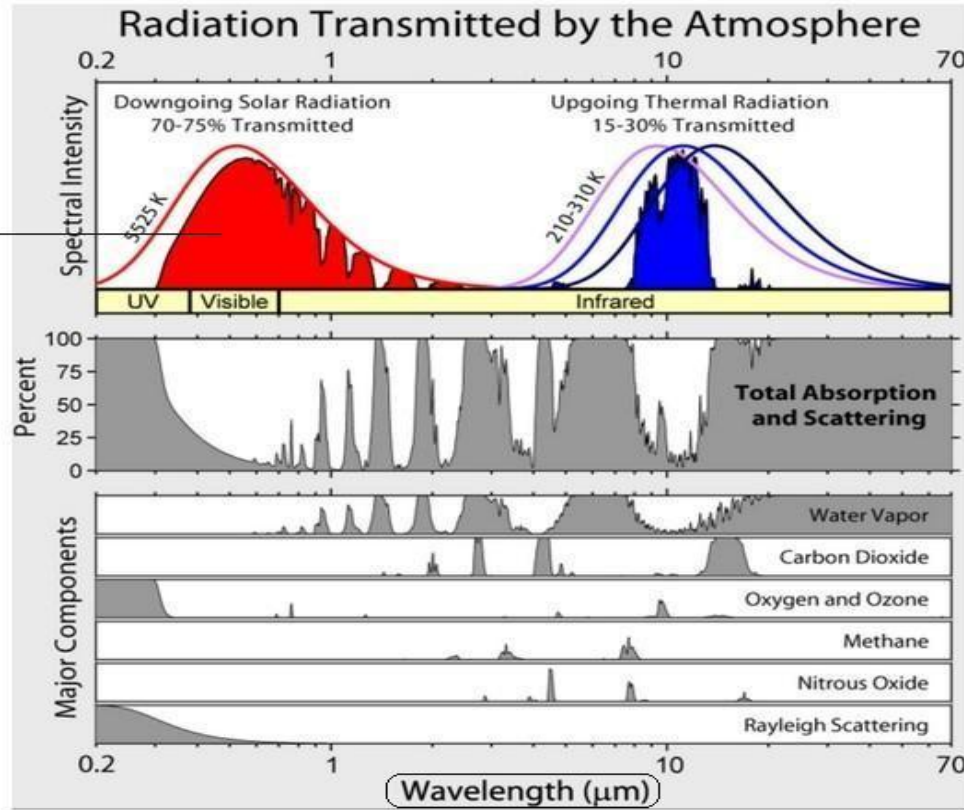


# Les certitudes...

- Le (mal nommé) *effet de serre* existe ! (+33° / **TSMG<sup>1,2</sup>**)
- Car...les molécules symétriques à 2 atomes, (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>), sont transparentes dans le visible ET dans l'IR...
- tandis que les **Gaz à Effet de Serre** (GES) ont au moins 3 atomes, (ou sont dissymétriques comme C=O). Leurs molécules vibrent à des fréquences comprises entre 17 & 75 THz: elles laissent passer le visible, (fréquences > 400 THz), mais **absorbent l'IR Thermique<sup>2</sup>**(entre 4 & 17,5 micron de longueur d'onde).
- **Note 1 TSMG**: *Température de surface en Moyenne Globale* (*Sans GES, elle serait -18°C*).
- **Note 2** En **MG**, l'émissivité IR est ~1: dans l'IR, *la surface* rayonne comme un corps noir, de sorte que la loi de Stefan ( $E = \sigma \cdot T^{**4}$ ) est applicable:
- si la T°(en °KELVIN), diminue de 1%, l'énergie émise diminue de 4%. A 15°C, elle est de ~390 W/m<sup>2</sup>, tandis qu'à -18°C, elle diminue de ~150 W /m<sup>2</sup>, soit ~240 W/m<sup>2</sup>.

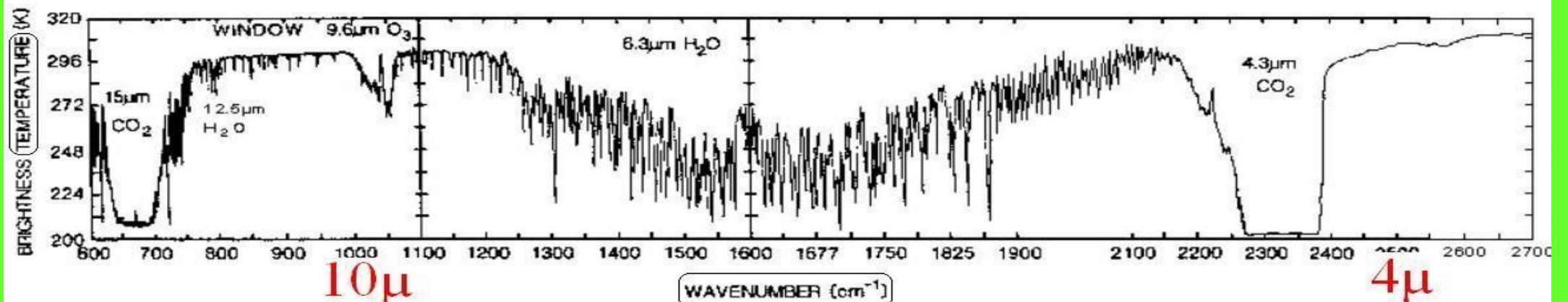
# La complexité du rayonnement tellurique !

~120 PW...



**Sensibilité Climatique:** pour un doublement du  $\text{CO}_2$ , (soit  $\sim 80$  ans de plus à  $10 \text{ GtC /an}$ , dont 45% resteraient dans l'atmosphère), le forçage radiatif serait de  $\sim 5,6 \text{ W /m}^2$ , (valeur centrale), ramené vers  $\sim 4 \text{ W /m}^2$  par les effets refroidissants, (nuages + aérosols). A l'équilibre, la hausse de la TSMG serait de  $\sim 3^\circ\text{C}$ .

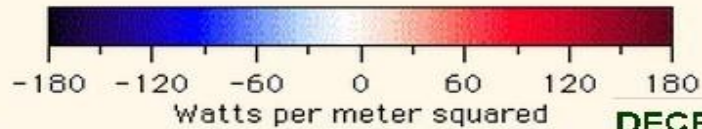
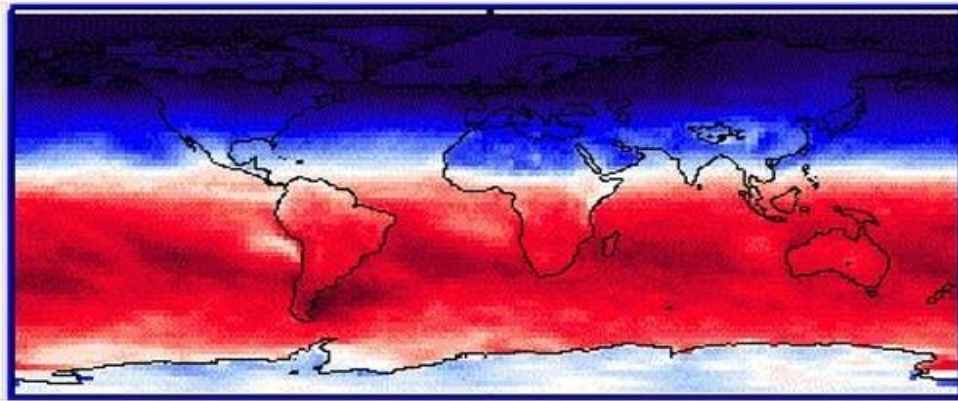
EARTH EMITTED SPECTRA



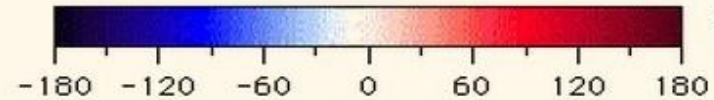
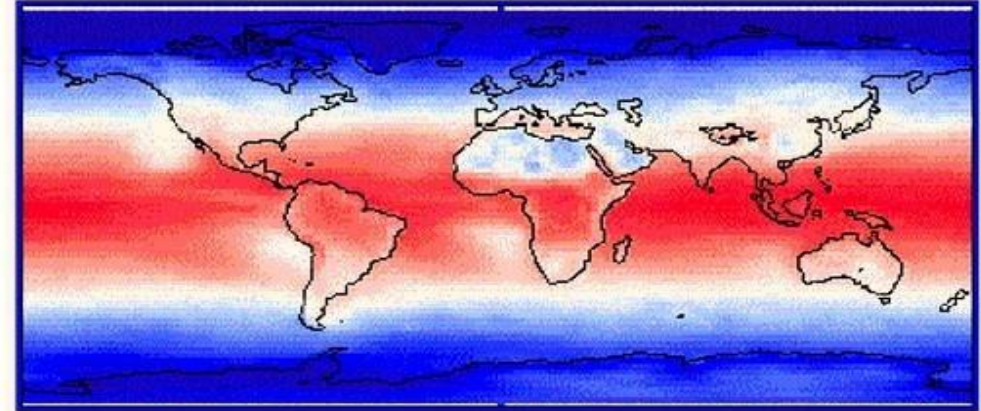
# Climat en équilibre. *Éclairée par le Soleil...*

- la Terre absorbe  $\sim 120$  PW d'énergie solaire. Avec une TSMG de  $\sim 288^\circ\text{K}$ , sa surface [#] ré-émet presque  $\sim 200$  PW d'IR Thermique !
- Un transfert radiatif complexe a lieu entre la surface terrestre & la haute atmosphère. Là où existe un *gradient thermique*, (dit aussi *adiabatique*), de  $6,5^\circ\text{C} / \text{km}$ , (soit  $-33^\circ$  en  $\sim 5$  km).
- Comme on l'a vu (*Note 2, Pl.6*), ce gradient implique une diminution de  $\sim 150 \text{ W} / \text{m}^2$  (soit  $\sim 78$  PW) [#], de sorte que l'énergie IR émise vers l'espace n'est que de  $\sim 120$  PW, comme l'énergie solaire absorbée !
- Avec un bilan radiatif nul, la Terre est en équilibre thermique. Ceci est terminé depuis que le stock atmosphérique de  $\sim 600$  GtC de CO<sub>2</sub> (+autres GES), a cru de  $\sim 40\%$  en 2 siècles.
- La couche "ERL" émettant  $\sim 120$  PW est remontée de  $\sim 40$  m: sa T° ( $\sim 255^\circ\text{K}$ ) a baissé de  $\sim 0,11\%$  et le flux émis au sommet de l'atmosphère de  $\sim 0,44\%$ , soit  $\sim 530$  TW.
- Ce déséquilibre "TOA" ( $\sim 1 \text{ W}/\text{m}^2$ ), implique un forçage radiatif net, (tenant compte de l'effet refroidissant des aérosols et des nuages bas), de  $1,6 \text{ W}/\text{m}^2$ , là où nous vivons. (cf.pl. N°14).
- [#] Surface du globe  $\sim 509$  millions de  $\text{km}^2$ ...  $390 \text{ W} / \text{m}^2 \Leftrightarrow \sim 198$  PetaWatt
- ERL: Effective Radiative Layer... TOA: Top Of the Atmosphere
- (Pour mémoire, la « *puissance primaire de l'humanité* » est proche de...  $0,015$  PW !)

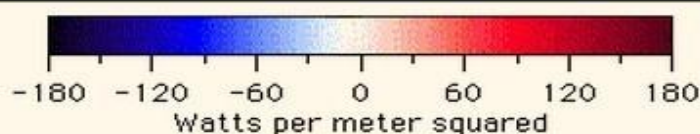
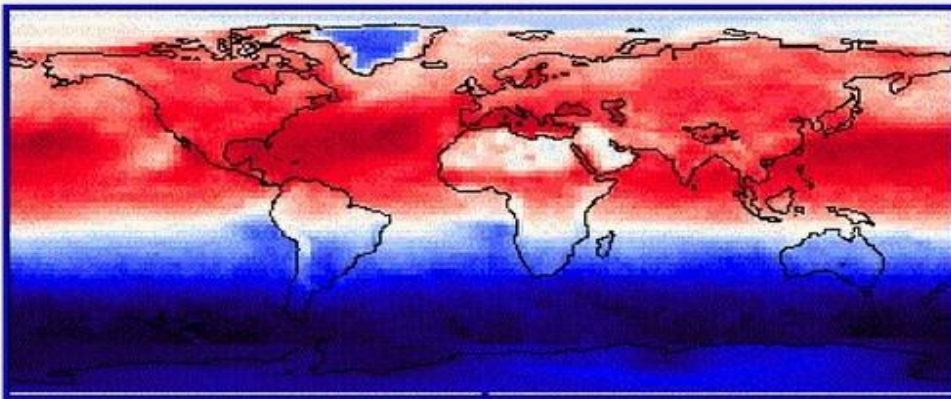
Ce dont on parle, c'est un déséquilibre 2100 du bilan radiatif, de 1 à 4 PW (versus les ~120 captés & ré émis...)



DECEMBRE 1987



1987



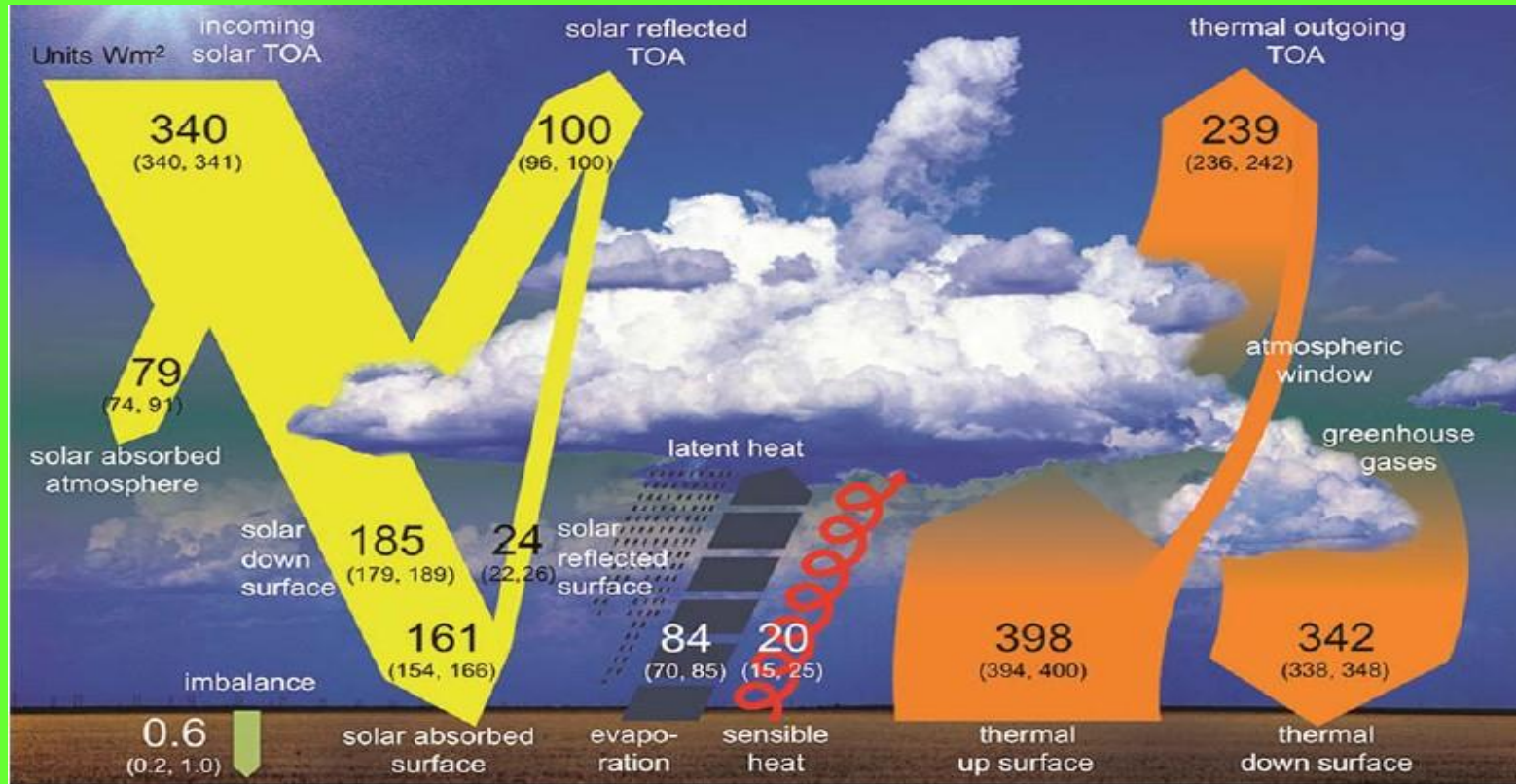
JUILLET 1987

Les zones en rouge reçoivent du Soleil ~70 W / m<sup>2</sup> DE PLUS que ce qu'elles réémettent dans l'IR. (De même, les zones en bleu reçoivent ... ~70 W / m<sup>2</sup> DE MOINS...)

L'équilibre du bilan radiatif (C.N. pour que la TSMG soit stable), se traduit par l'équilibre des zones bleue et rouge.



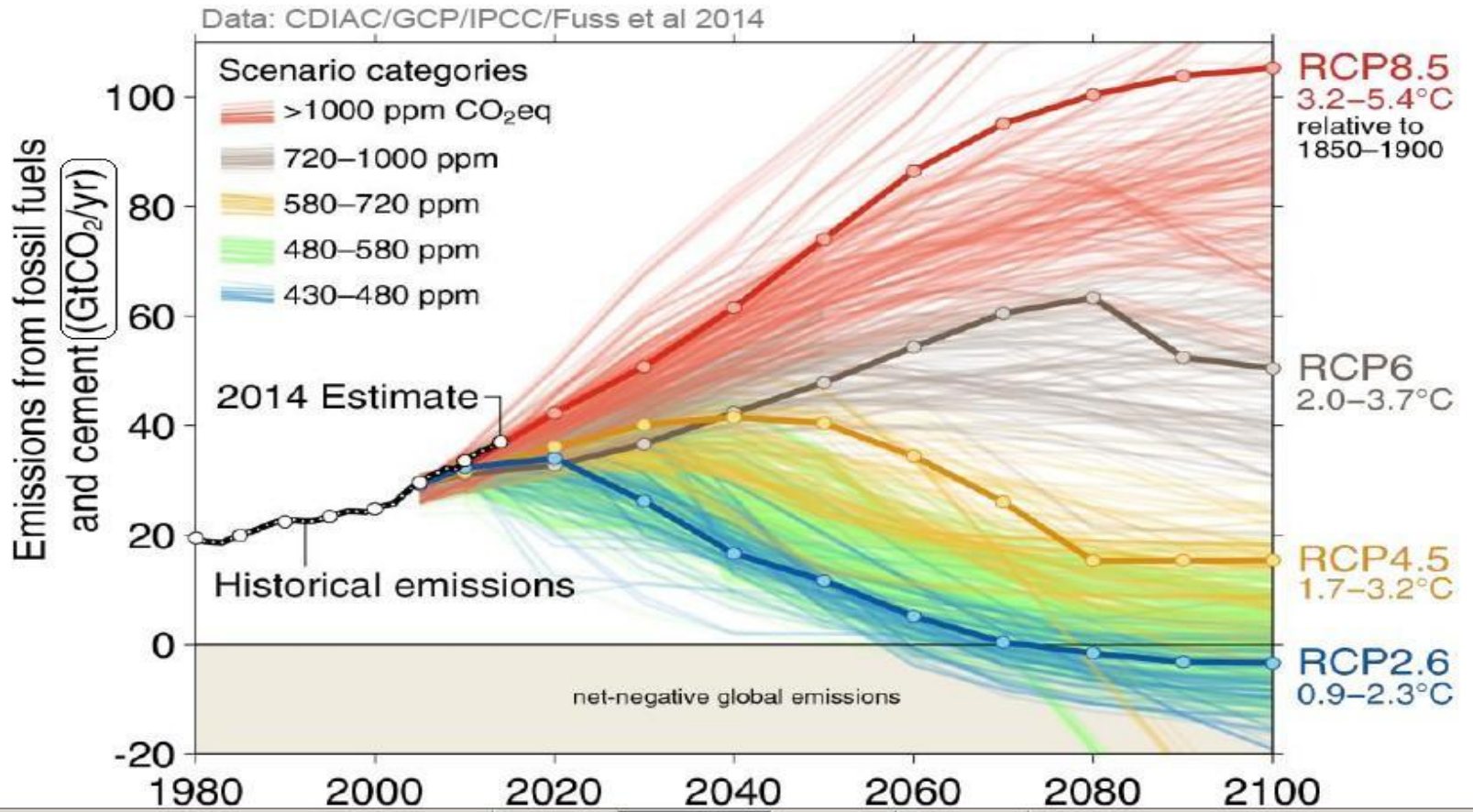
# Les incertitudes: facteurs physiques (*cf. ci-dessous...*) et... facteurs humains !



**Figure 2.11:** Global mean energy budget under present day climate conditions. Numbers state magnitudes of the individual energy fluxes in  $\text{W/m}^2$ , adjusted within their uncertainty ranges to close the energy budgets. Numbers in parentheses attached to the energy fluxes cover the range of values in line with observational constraints. Figure adapted from Wild et al. (2013).

# Microphysique...Mécanique des fluides ET...+ ou - grande sagesse de l'humanité ! (Entamer vraiment *l'atténuation* plutôt que se résigner à *l'adaptation* !)

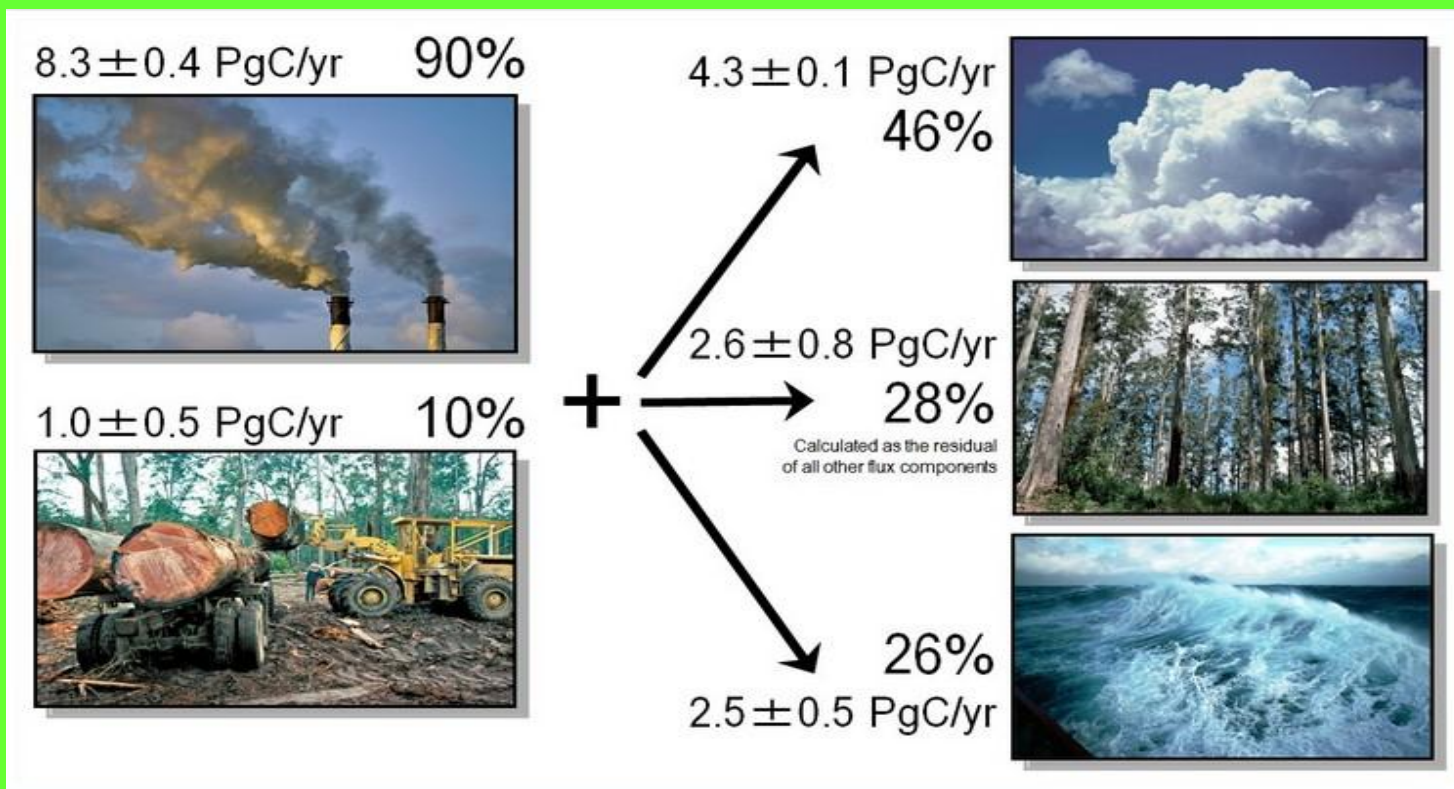
Emissions are on track for 3.2–5.4°C “likely” increase in temperature above pre-industrial  
 Large and sustained mitigation is required to keep below 2°C



Gaffe à la *double comptab.*: GTCO<sub>2</sub> versus GTC page suivante ! (1 GTC = 3,7 GTCO<sub>2</sub>).<sup>10</sup>

# Quelques facteurs physiques d'incertitude.

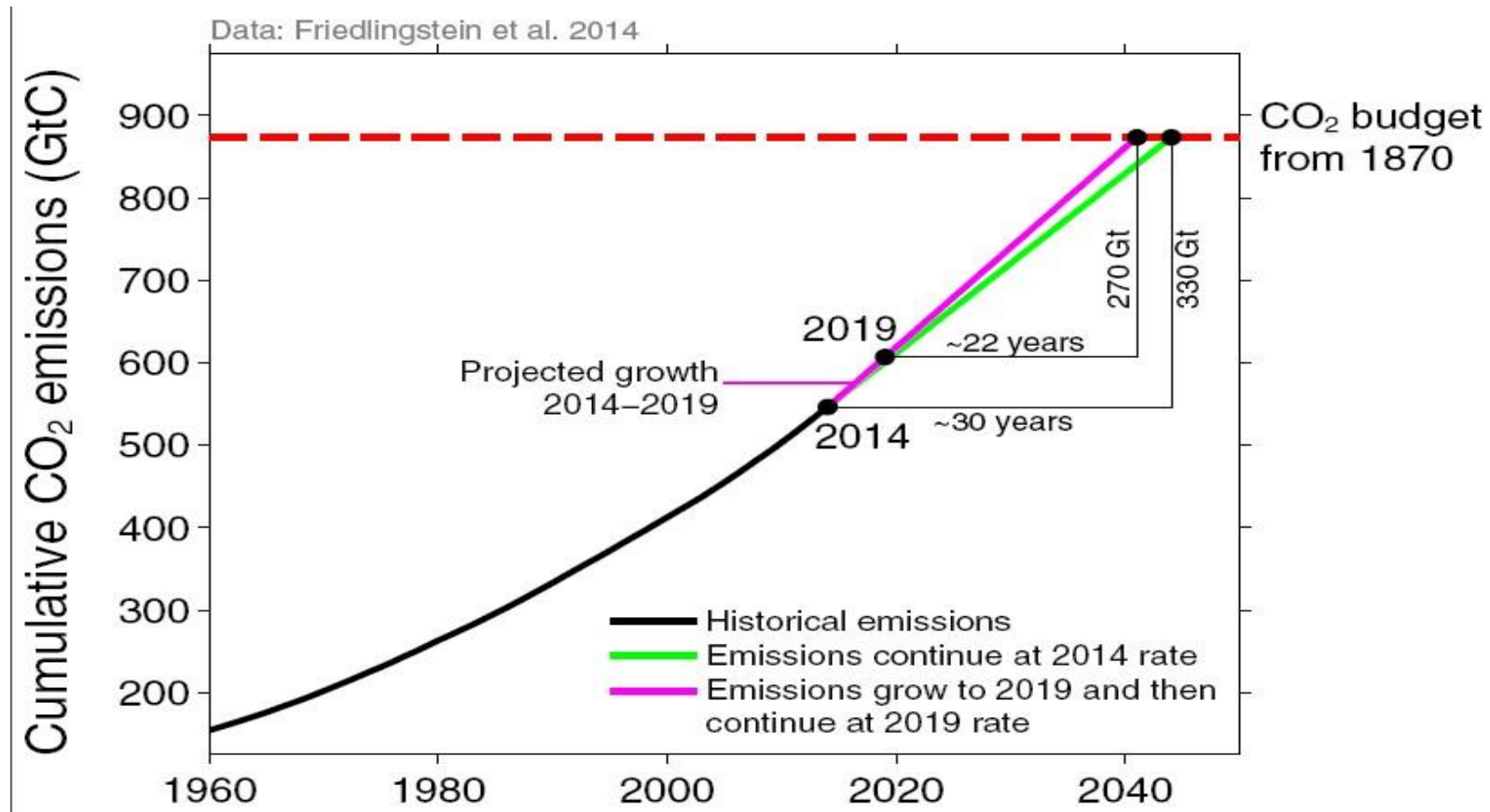
- *Variabilité naturelle du climat,*
- Rôle des nuages... Rôle de l'océan profond: *Obs ECV insuffisantes<sup>1</sup> !* (par exemple, hausse mal connue du vent de surface sur l'océan...)
- Humeur future de nos... *puits bienveillants.* (1 Pg= 10<sup>15</sup> g= 1Gt= 10<sup>9</sup> t)
- **Note 1 ECV** *Essential Climate variable.*



# Quelques obstacles « *non physiques* » aux démarches d'atténuation et d'adaptation (*dans cet ordre !*)

- *Choix "tragique" d'indicateurs propices aux erreurs de perception ! (TSMG)*
- Règles *court terme* de l'IASB (Int'l Accounting Std Board) + Préférence pour le présent (*NOUS, Pas nos enfants !*)
- Domination de la politique de l'offre en l'absence d'un « *compte de résultat* » global (*Externalités...*)
- *Formidables gaspillages des « modes OCDE » de consommation et de production.* (C'est peut être une chance !)
- Hausse des inégalités (hauts revenus progressent + vite que la moyenne),
- Poursuite d'une mondialisation fondée sur le *capitalisme de dérèglementation à dominante financière*, peu enclin à financer des investissements *vitaux, mais moins rentables !*
- Extrait d'une étude Ecofys: « *Une réduction de 58% de la consommation en gaz par les bâtiments d'ici 2030 représenterait l'équivalent de 23% du gaz naturel actuellement consommé par l'UE.* »

# CO2 restant à émettre, pour 450 PPM. (En GtC... Pour mémoire: 300 GtC de CO2, cela « pèse »...1100 GtCO2 !)



# Moteurs naturels et anthropiques du changement climatique

Le dioxyde de carbone est le « big player ».

En moyenne, il a un temps de vie de plusieurs centaines d'années dans l'atmosphère, et affecte donc le climat sur de longues échelles de temps.

