

Bilan radiatif de la Terre

Vendredi 1^{er} avril 2022

Niveau : L2

Prérequis :

- Thermodynamique (L1) ;
- Loi de Wien ;
- introduction à la physique quantique (constante de Planck) ;
- spectroscopie infrarouge.

Différents types de milieux

Milieu transparent : milieu qui n'interagit pas avec le rayonnement considéré.

Milieu semi-transparent : milieu qui interagit dans son volume avec le rayonnement.

Milieu opaque : milieu qui interagit à sa surface avec le rayonnement.

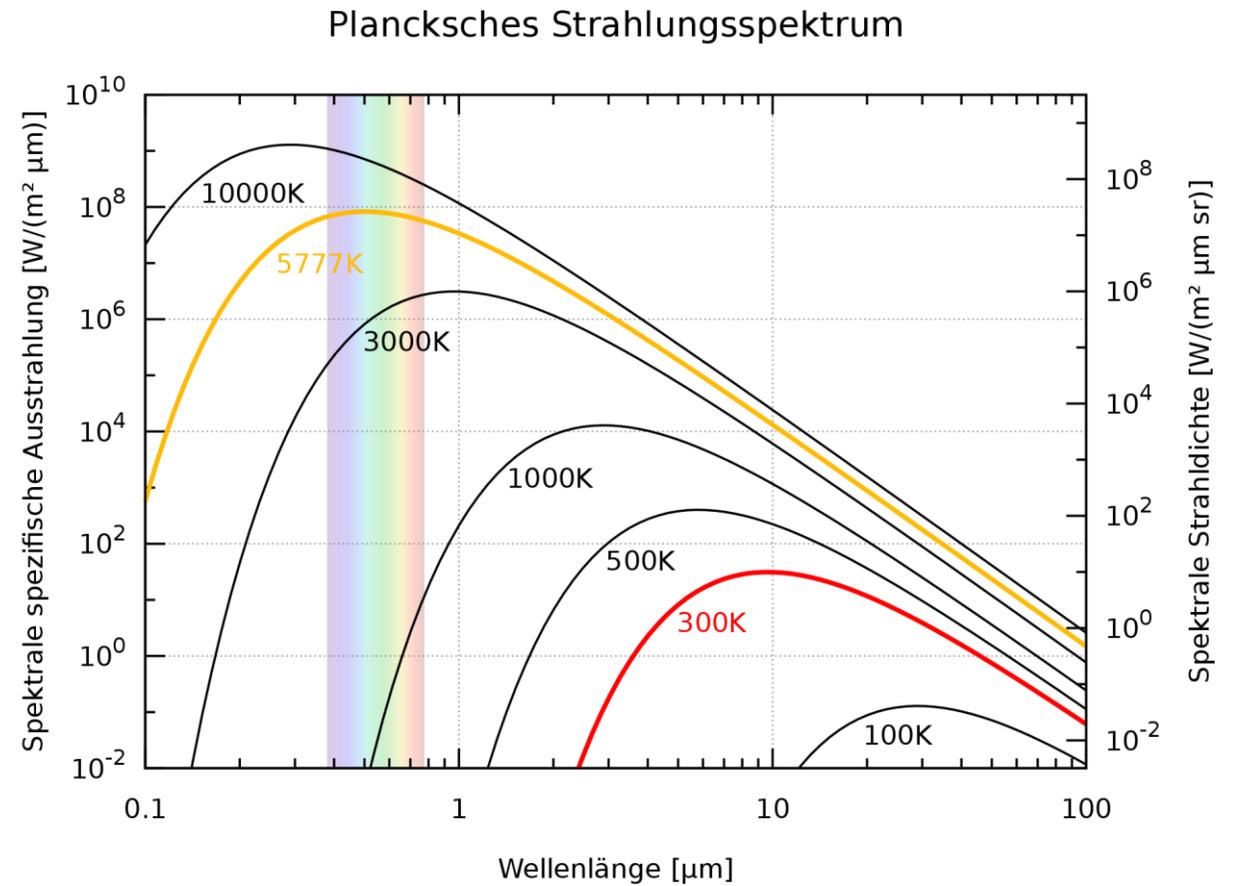
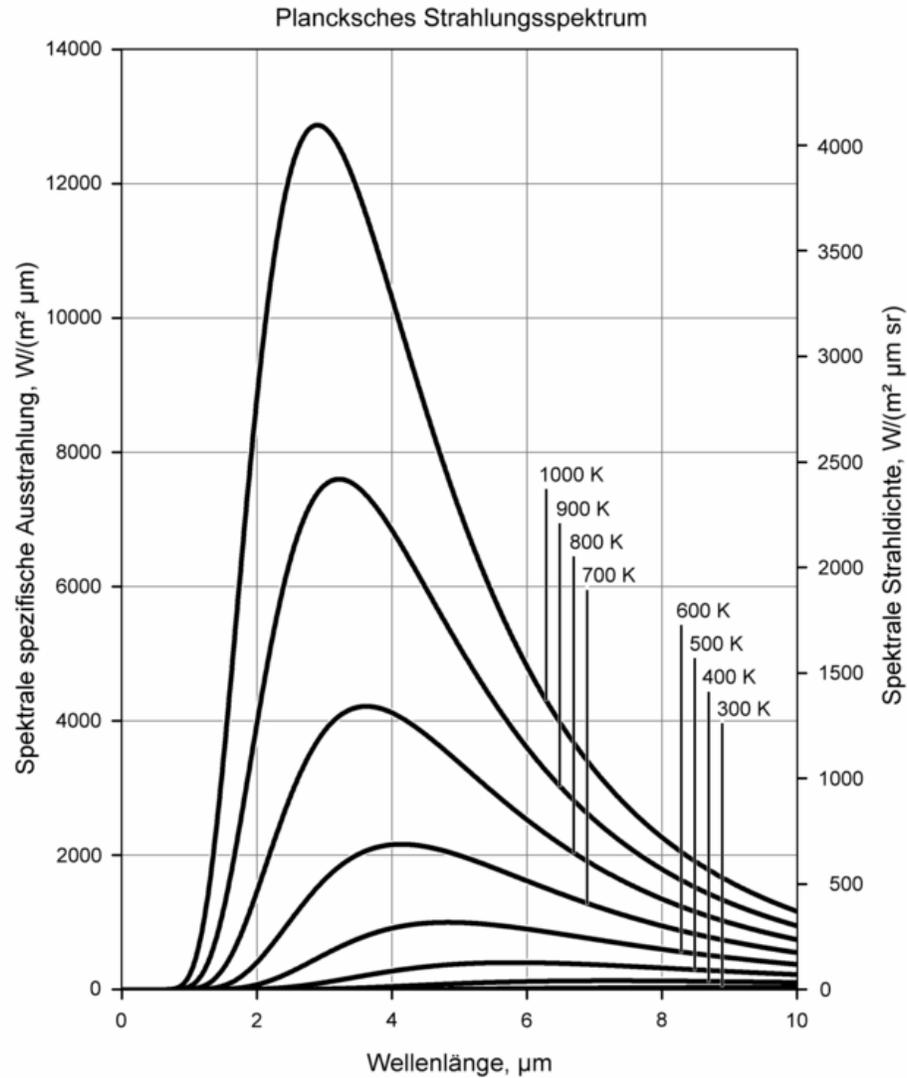
Corps gris : corps opaque qui absorbe un rayonnement indépendamment de sa direction d'incidence.

Corps diffus : corps opaque qui absorbe un rayonnement indépendamment de la longueur d'onde.

La loi de Planck

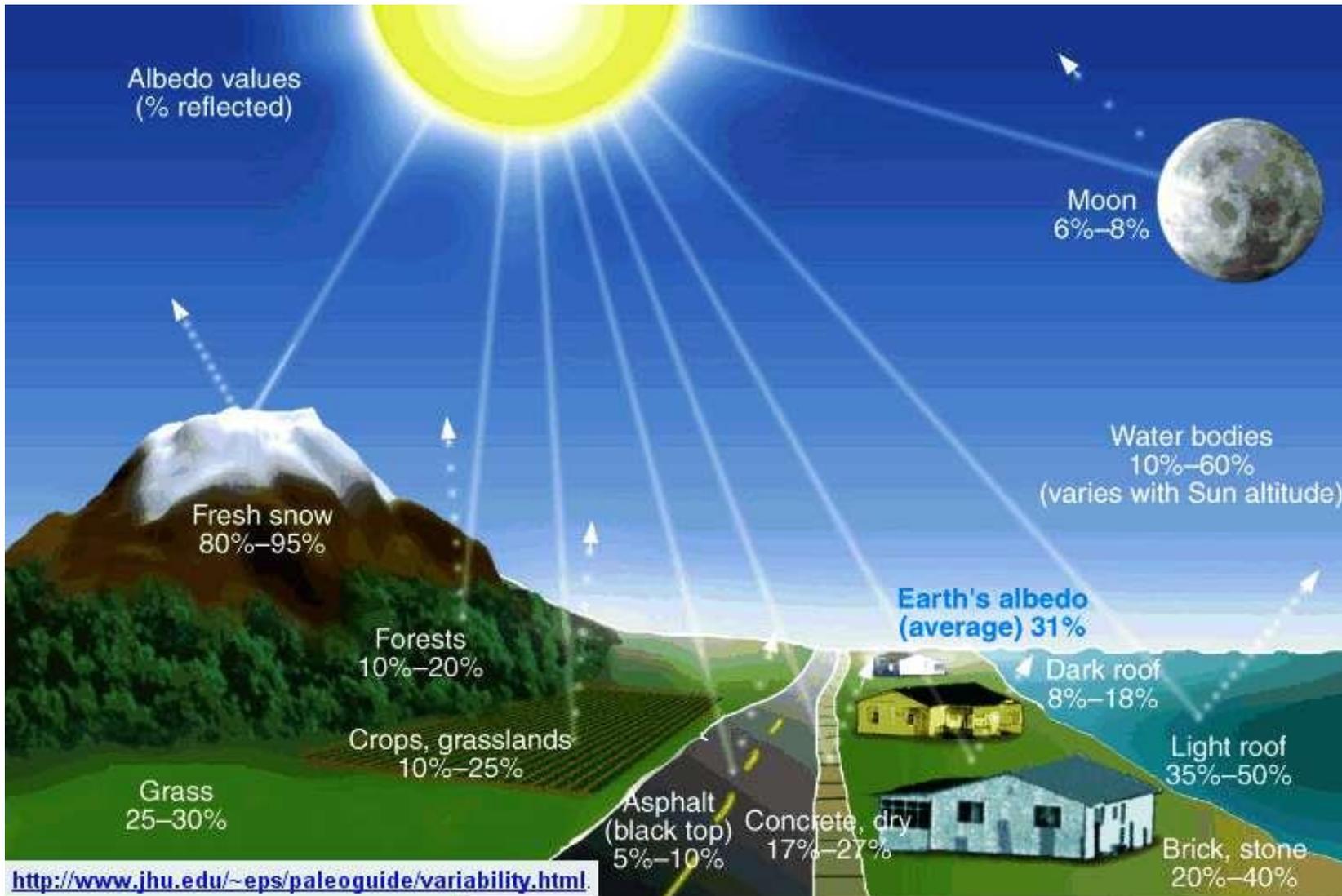
Luminance d'un corps noir :

$$L_{\Omega,\lambda}^o(\lambda, T) = \frac{2 h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{h c}{\lambda k_B T}} - 1}$$



Notion d'albédo

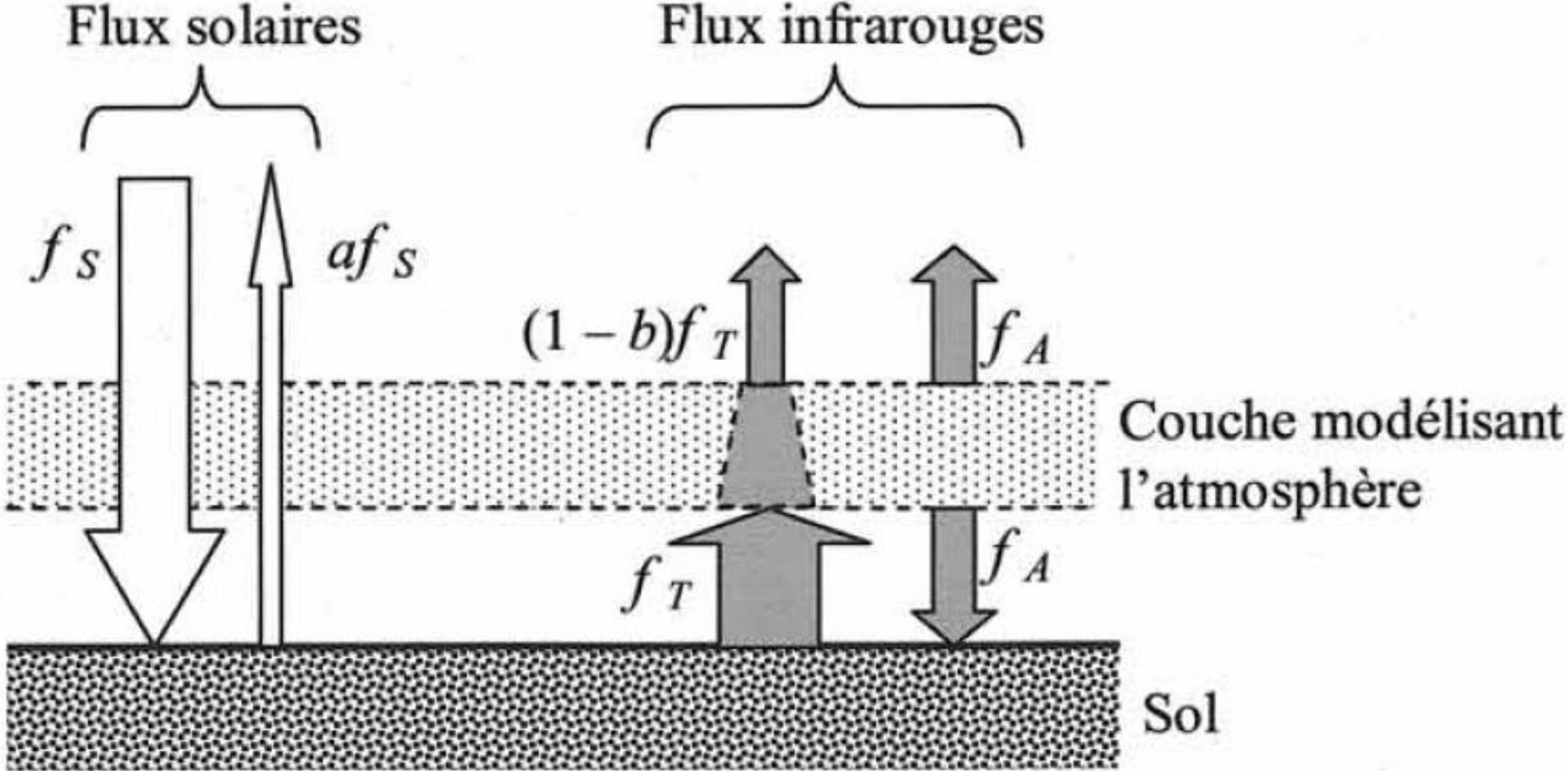
Rapport du flux d'énergie lumineuse réfléchi sur le flux d'énergie lumineuse incidente.



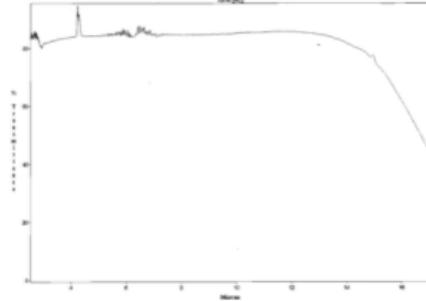
Hypothèses pour le premier modèle

- courbure de la Terre négligée ;
- incidence normale des rayons ;
- atmosphère transparente (seul le sol contribue à l'albédo) ;
- on néglige la conduction thermique dans le sol, la convection atmosphérique, les flux conducto-convectifs à l'interface entre le sol et l'air

Atmosphère partiellement opaque aux infrarouges émis par le sol

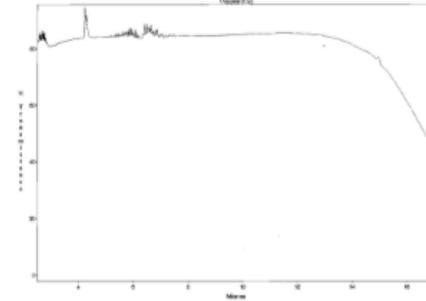


Spectroscopie infrarouge pour quelques gaz



Source - © 2003 Jacques Gentili

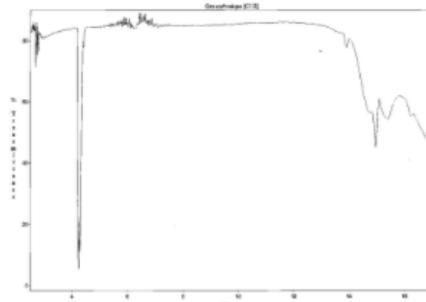
Figure 1. Spectre d'absorption du diazote (N_2) entre 2 et 17 μm
Mesures effectuées au Laboratoire de Sciences de la Matière, ENS Lyon.



Source - © 2003 Jacques Gentili

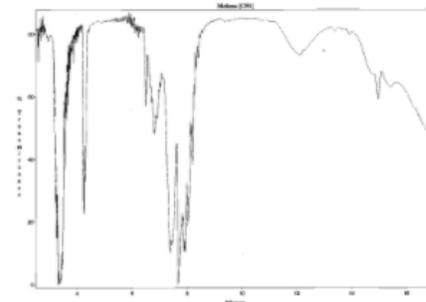
Figure 2. Spectre d'absorption du dioxygène (O_2) entre 2 et 17 μm
Mesures effectuées au Laboratoire de Sciences de la Matière, ENS Lyon.

Les molécules triatomiques et polyatomiques, qu'elles aient une structure linéaire (comme le gaz carbonique CO_2 et l'hémioxyde d'azote N_2O), tétraédrique (comme le méthane CH_4) ou sans symétrie d'ordre supérieur (comme la vapeur d'eau H_2O , l'ozone O_3 ou les CFC) possèdent des bandes d'absorption dans le domaine infrarouge et peuvent donc jouer un rôle dans l'effet de serre.



Source - © 2003 Jacques Gentili

Figure 3. Spectre d'absorption du dioxyde de carbone (CO_2) entre 2 et 17 μm (structure linéaire)
Mesures effectuées au Laboratoire de Sciences de la Matière, ENS Lyon.



Source - © 2003 Jacques Gentili

Figure 4. Spectre d'absorption du méthane (CH_4) entre 2 et 17 μm (structure tétraédrique)
Mesures effectuées au Laboratoire de Sciences de la Matière, ENS Lyon.

Un critère de classification des GES

Le potentiel de réchauffement global (PRG) est le pouvoir réchauffant d'une masse d'un gaz (par exemple 1 kilogramme), rapporté au pouvoir réchauffant de la même masse de dioxyde de carbone pour une durée de 100 ans.

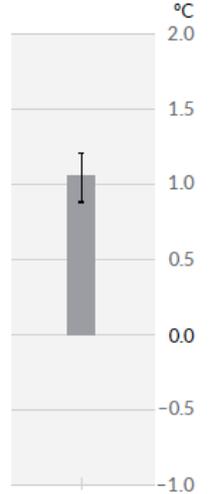
Gaz à effet de serre	Formule	Durée de séjour (ans)	PRG à 100 ans
Vapeur d'eau	H ₂ O	qq jours	ns
Dioxyde de carbone	CO ₂	100 ²	1
Méthane	CH ₄	12	25
Protoxyde d'azote	N ₂ O	114	298
Dichlorodifluorométhane (CFC-12)	CCl ₂ F ₂	100	10 900
Chlorodifluorométhane (HCFC-22)	CHClF ₂	12	1 810
Tétrafluorure de carbone ^{n 6}	CF ₄	50 000	7 390
Hexafluorure de soufre	SF ₆	3 200	22 800

Source : Wikipedia

Quelques données supplémentaires

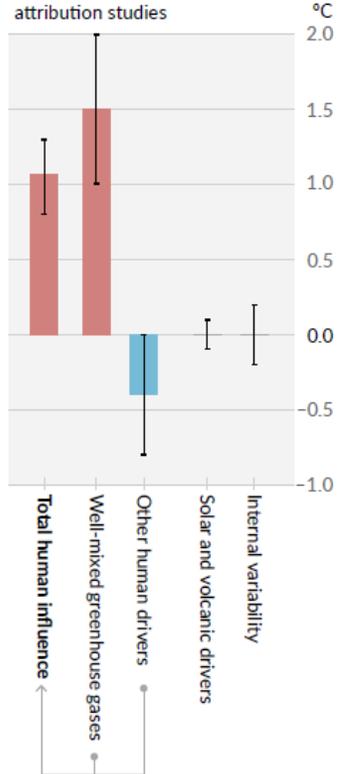
Observed warming

(a) Observed warming 2010–2019 relative to 1850–1900

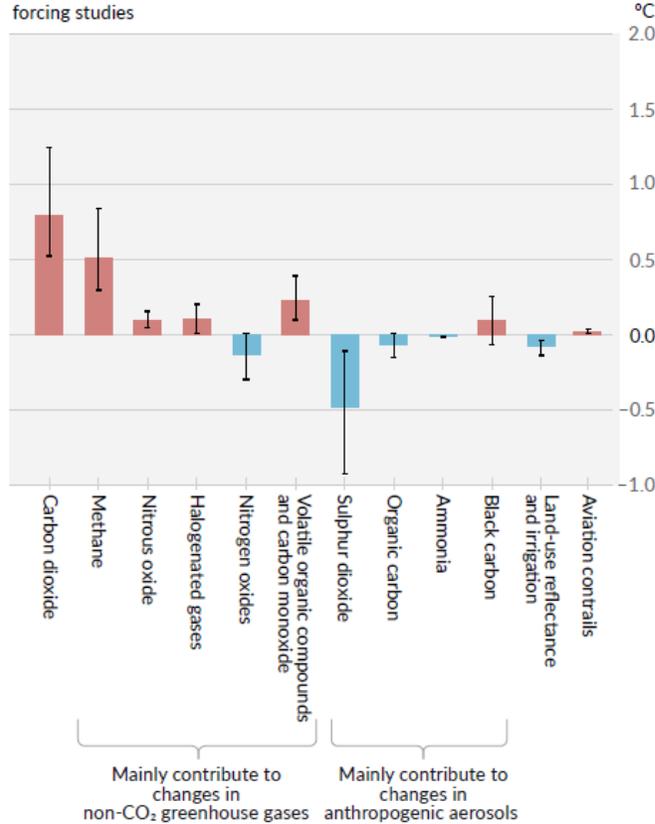


Contributions to warming based on two complementary approaches

(b) Aggregated contributions to 2010–2019 warming relative to 1850–1900, assessed from attribution studies

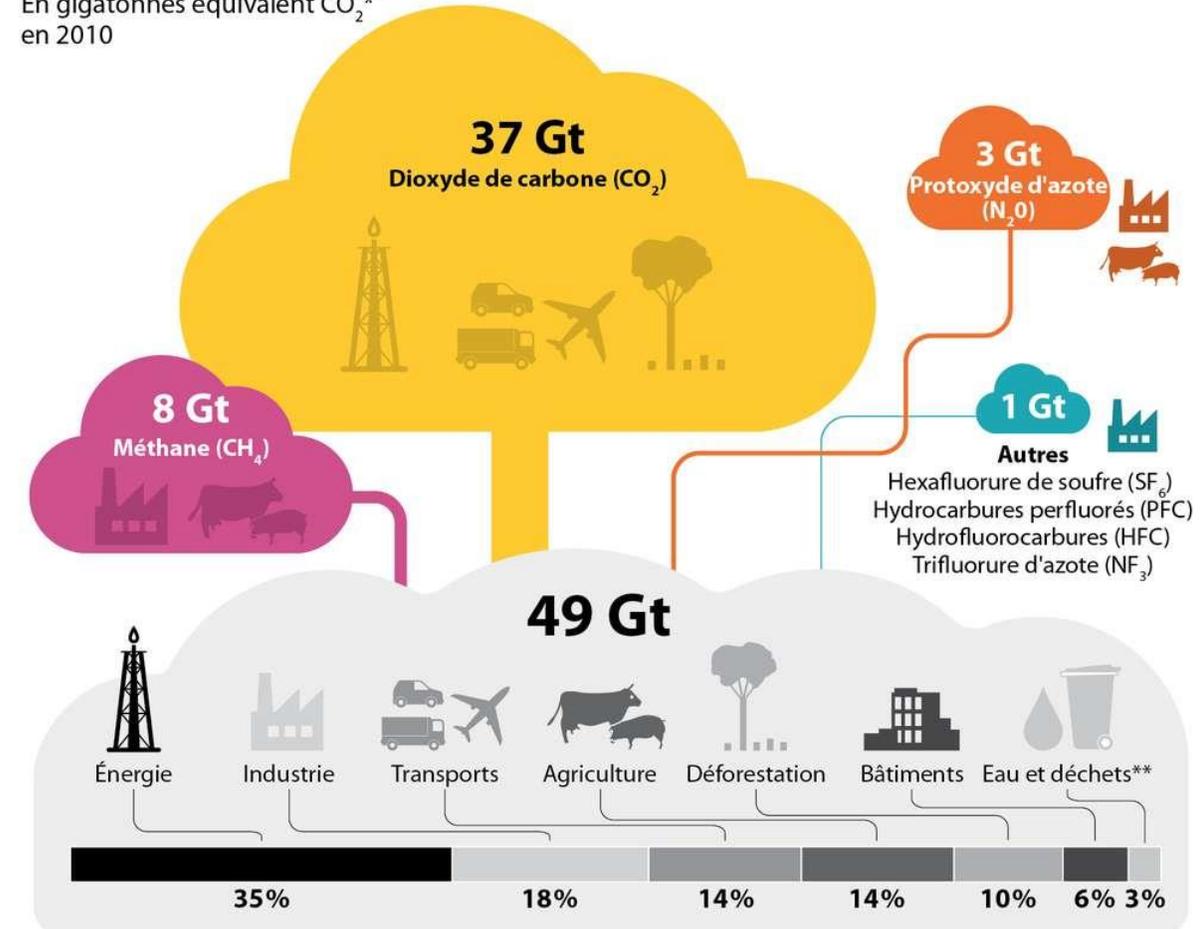


(c) Contributions to 2010–2019 warming relative to 1850–1900, assessed from radiative forcing studies



Les gaz à effet de serre dans le monde

En gigatonnes équivalent CO₂* en 2010

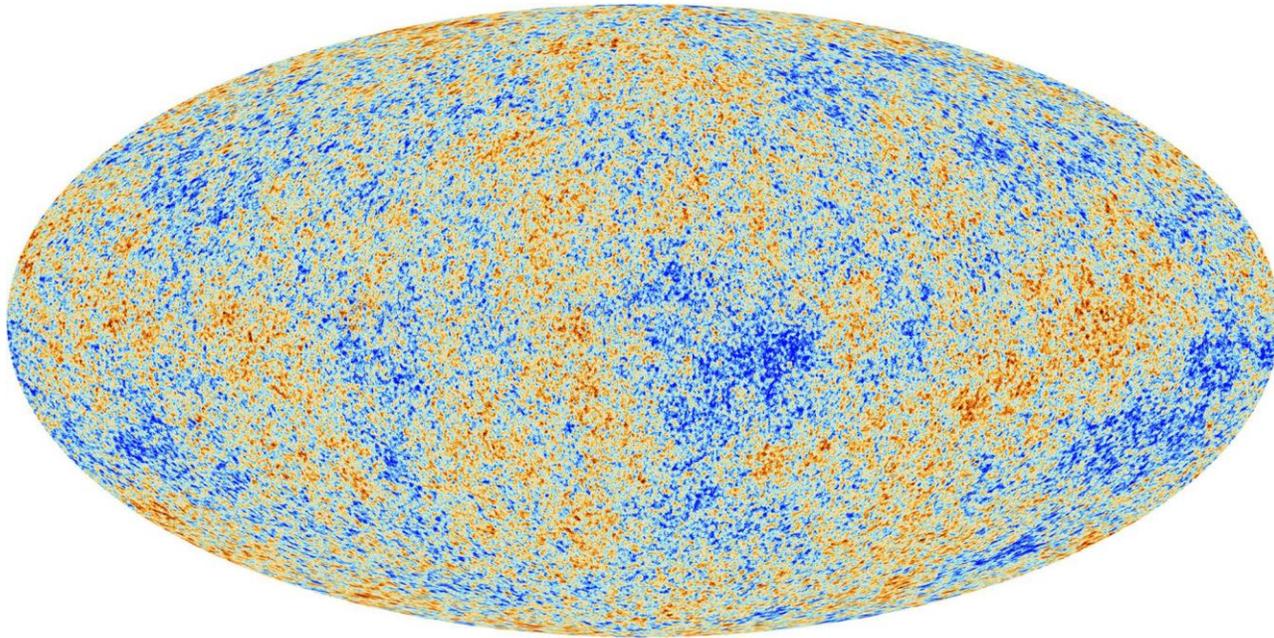


*La valeur en millions de tonnes équivalent CO₂ est calculée en fonction du potentiel de réchauffement global (PRG) de chaque gaz, par rapport à un kilo de CO₂ (1 kg de CH₄ = 28-30 kg de CO₂, 1 kg de N₂O = 265 kg de CO₂, etc.)

**Traitement

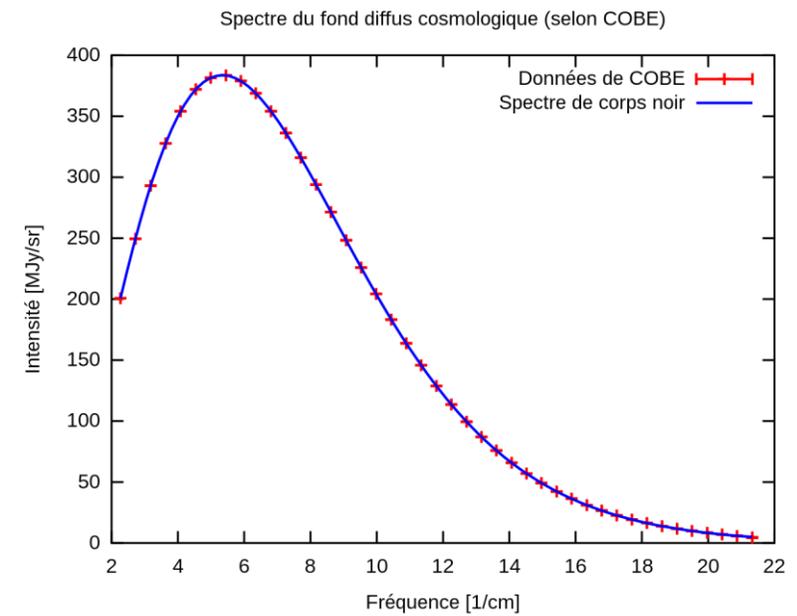
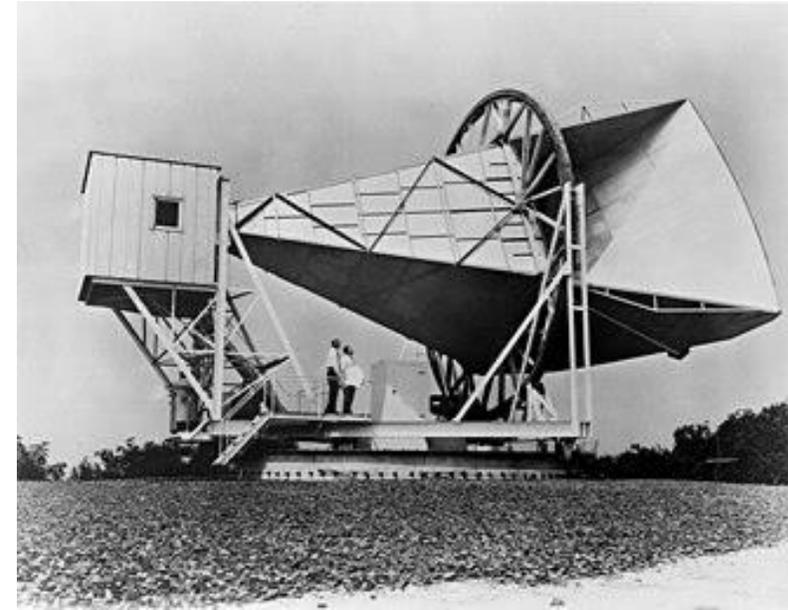
Sources : GIEC, cop21.gouv.fr, ministère de l'Écologie

Le fond diffus cosmologique

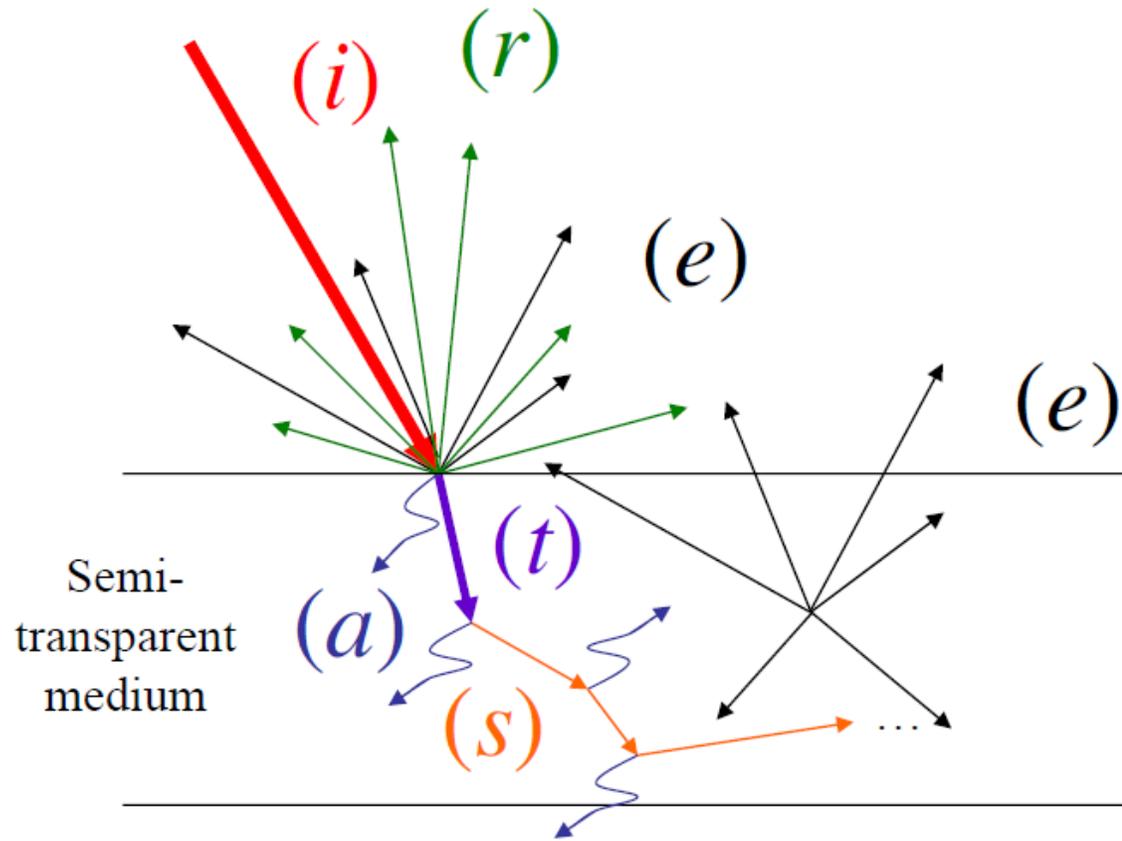


Source : Wikipedia

Découvert en 1964 par Penzias et Wilson



Radiation-matter interactions (semi-transparent medium)



Radiation:

Incident (i)

Reflected (r)

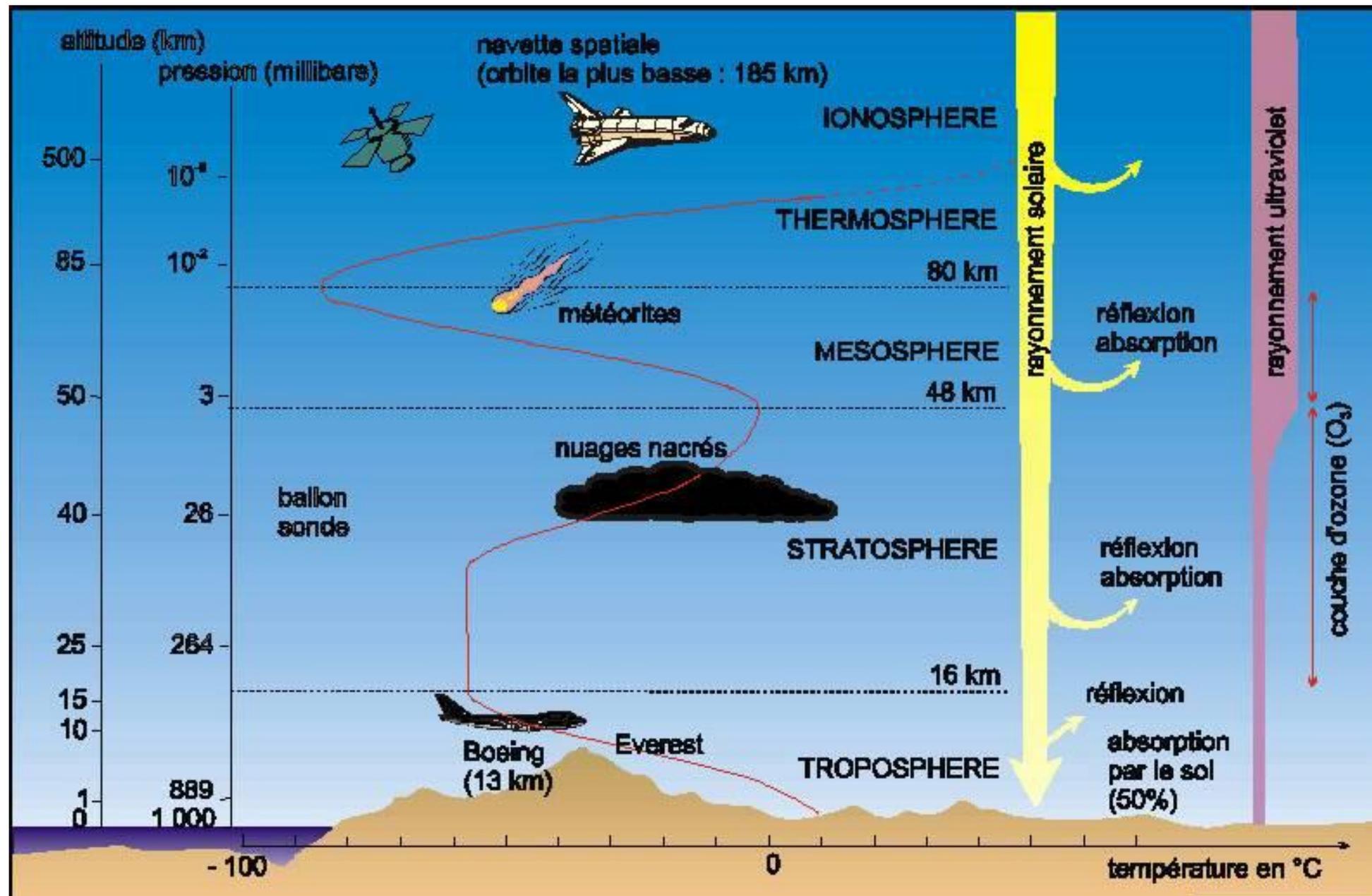
Absorbed (a)

Transmitted (t)

Scattered (s)

Emitted (e)

Interaction in volume between the radiation field and matter



$$PRG(x) = \frac{\int_0^{TH} a_x(t) \cdot [x(t)] dt}{\int_0^{TH} a_r(t) \cdot [r(t)] dt}$$

Dans cette formule,

- TH est l'horizon temporel au cours duquel le calcul est considéré ;
- $a_x(t)$ est l'efficacité radiative, causée par l'augmentation d'une unité du gaz dans l'atmosphère (en $W m^{-2} kg^{-1}$) ;
- $[x(t)]$ est la dégradation en fonction du temps du gaz en question à la suite de son émission instantanée à $t = 0$;
- le dénominateur contient les valeurs correspondantes pour le gaz de référence (r), en l'occurrence le CO_2 ;
- l'efficacité radiative pour un gaz donné, $a_x(t)$ ou $a_r(t)$, dépend de la concentration (scénario) qui généralement varie dans le temps.

