

Critique des Equations de l'effet de serre radiatif

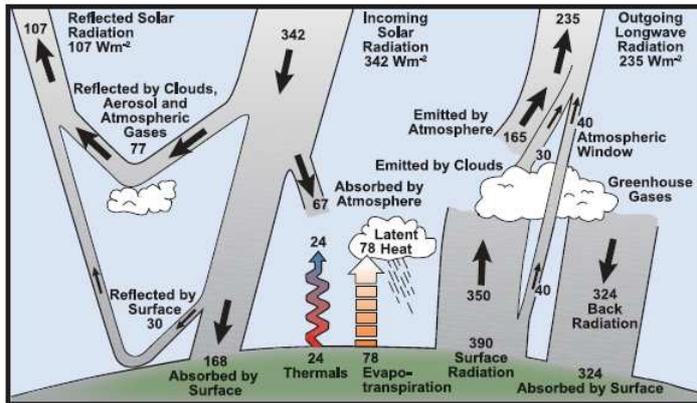
Par Pierre Beslu

1 Avertissement

«L'effet de serre radiatif » est le modèle présenté par le GIEC pour expliquer le réchauffement climatique consécutif à l'accumulation de Gaz à Effet de Serre (GES) et principalement de CO₂ dans l'atmosphère. Il est fondé sur le fait que le rayonnement infrarouge (IR) émis par les gaz

froids de la troposphère en direction de la surface terrestre contribue au chauffage de celle-ci comme le montrent les figures jointes, extraites du chapitre 1 du rapport WG1 du GIEC de 2007 (AR4)[1].

Bien entendu, l'air d'une serre horticole est plus chaud que l'air extérieur mais ce n'est pas ce processus d'émission de rayonnement d'infrarouge qui en est responsable et c'est la raison pour laquelle j'affuble le modèle du

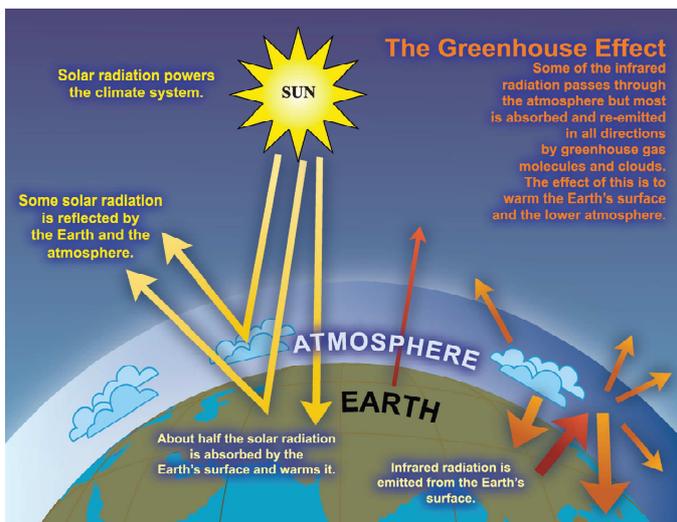


FAQ 1.1, Figure 1. Estimate of the Earth's annual and global mean energy balance. Over the long term, the amount of incoming solar radiation absorbed by the Earth and atmosphere is balanced by the Earth and atmosphere releasing the same amount of outgoing longwave radiation. About half of the incoming solar radiation is absorbed by the Earth's surface. This energy is transferred to the atmosphere by warming the air in contact with the surface (thermals), by evapo-transpiration and by longwave radiation that is absorbed by clouds and greenhouse gases. The atmosphere in turn radiates longwave energy back to Earth as well as out to space. Source: Nefti and Tenberth (1997).

GIEC de l'adjectif **radiatif**.

Malgré ce défaut de baptême, pour beaucoup, cet effet de serre radiatif (EDS) est incontournable et l'argument ultime utilisé en sa faveur consiste à dire que sans l'effet de serre, les logiciels traitant du climat sont incapables, d'expliquer le réchauffement observé

depuis le début de l'ère industrielle¹. Si nous admettons cet argument, bien qu'il soit d'un point de vue logique notoirement insuffisant, dans ces logiciels se trouverait donc la clef.



Mais, les choses se compliquent car ceux qui défendent cette position, ajoutent aussitôt, « Il ne faut pas utiliser les modèles présentés habituellement comme supportant la théorie car ce ne sont que des petits modèles simples et grossiers qui conduisent, au niveau des applications, à des imperfections ; ils

sont destinés au grand public et n'ont qu'un intérêt didactique. » Nous passerons sur le fait

¹ Ce réchauffement n'a pourtant rien d'exceptionnel et le professeur Courtilot a montré que même dans l'hémisphère nord où il est le plus sensible, le rythme du réchauffement est très proche du rythme de refroidissement observé dans la période du petit âge glaciaire qui a précédé. **Qu'attendait-on après une période de glaciation sinon un réchauffement !!!**

que les modèles en question se trouvent néanmoins exposés dans les rapports du GIEC [1] (voir les 2 figures de ce chapitre) au niveau du résumé **pour les décideurs** !! On s'autorise donc à raconter à peu près n'importe quoi au grand public et aux décideurs mais en revanche, il leur est demandé de faire totalement confiance aux équations qui sont utilisées dans les gros logiciels de calcul dit « GCMs² ou General Circulation Models » qui tournent sur de puissants ordinateurs pendant des mois pour donner un résultat. Cela mérite donc d'aller y regarder de plus près mais auparavant quelques rappels sont nécessaires.

2 Rappels

Dans le schéma simpliste de l'effet de serre atmosphérique correspondant au *petit* «*modèle de la vitre* », on commence par calculer la température d'équilibre de référence T_S d'une surface dont une face est isolée thermiquement et l'autre soumise au seul rayonnement solaire.

Entre la surface et la vitre, il y a le vide ce qui revient, remarquons-le, à considérer plus qu'une terre sans GES, une terre **sans atmosphère** !

L'application numérique donne alors pour T_S une valeur de -18°C ; valeur présentée donc à tort comme la température moyenne que devrait posséder la surface d'une terre exempte de Gaz à effet de Serre³.

On compare ensuite cette valeur à la Température Moyenne Globale Annuelle (TMAG) déterminée par les divers instituts qui est de 14.5 à 15°C . Une telle comparaison constitue déjà une erreur en confondant température moyenne et **température effective** T_{eff} . C'est cette dernière valeur qui est à comparer avec T_S ⁴. L'existence de l'atmosphère et des océans en homogénéisant les températures terrestres, réduit la différence entre températures moyennes (TMAG) et températures effectives (TEAG), ce qui permet d'atténuer grandement l'effet de cette confusion et finalement de la masquer. Néanmoins si les instituts faisaient cette évaluation de TEAG (ce qui pose ni plus ni moins de difficultés que celle de TMAG) à partir des relevés de températures locales ou satellitaires, on noterait que TEAG différencierait⁵ de TMAG d'au moins 2 à 3 degrés. D'ailleurs la température que l'on déduit des valeurs du flux de surface (390 W/m^2) publiée dans [1] (voir aussi la première figure) est de $15,9^\circ\text{C}$ et réactualisée par Trenberth en 2009 de 17°C . Néanmoins, dans la suite pour rester en phase avec ce qui est écrit dans les rapports du GIEC, je garderai, sauf spécifications contraires, comme référence de température de surface, la valeur de 15°C .

Ensuite l'application complète du modèle « simple » d'EDS radiatif (greenhouse effect de l'IPCC/GIEC), dans une atmosphère transparente au rayonnement solaire incident et qu'on fait se comporter comme un corps gris isotherme dans les ondes longues, conduit [2] :

- à une température de surface de 303 K ou 30°C au lieu d'environ 15°C .
- à un écart important entre la température de l'air au contact (-18°C) du sol et la température de celui-ci (30°C).

² Ces codes GCM sont très souvent des codes de Météorologie aux équations chaotiques auxquels on a ajouté les modèles supposés régir l'effet de serre radiatif.

³ Une terre sans atmosphère présenterait une température globale effective d'environ $0,6^\circ\text{C}$ (et non -18°C) car l'absence de vapeur d'eau entraîne l'absence de nuage, d'océan, de glacier et un albédo de la terre beaucoup plus faible. Quant à une atmosphère sans Gaz absorbant les IR (sans Gaz à effet de serre pour le GIEC), la situation réelle et donc les calculs sont plus compliqués mais la température de surface sera là aussi supérieure à -18°C .

⁴ La température moyenne qui se calcule sans mystère à partir des mêmes équations conduit à une valeur de -129°C ! C'est cette dernière valeur qui serait dans leur démarche, en toute rigueur, à comparer avec les $14.5-15^\circ\text{C}$! Il est clair, alors l'effet de serre radiatif ne peut plus être invoqué pour expliquer une différence qui est maintenant de 144°C (au lieu des 33°C soit de -18 à $+15$). Voir pour tout cela les démonstrations de Gerlich et Tschuschner.

⁵ Les températures extrêmes relevées sur Terre s'étalent sur une plage qui reste conséquente ($> 100^\circ\text{C}$) et la moyenne d'une loi en T^4 ne peut pas être égale dans ces conditions à la moyenne d'une loi en T .

Pour expliquer l'écart important entre températures calculées et observées, il est fait appel au simplisme du formalisme utilisé. Quant au décalage entre température du sol et de l'air qui est présenté comme « paradoxal », on en rend responsable sans autre forme de procès l'effet de serre (EDS).

Or dans leur article, MM Dufresne et Treiner déjà cités [2] ont démontré que *« ce modèle n'est pas pertinent pour estimer la sensibilité de l'effet de serre à une variation de la concentration d'un gaz dont l'absorption est saturée. »* Pour le remplacer, ils proposent un nouveau modèle basé sur la notion de l'altitude d'émission ne faisant plus du tout appel à la « rétrodiffusion⁶ » (*backscattering*) des IR émis par la troposphère qui fonde l'EDS radiatif. Ils prennent, en revanche, en compte l'existence du gradient vertical de température atmosphérique (*lapse rate*). Malgré ce changement fondamental, ils continuent pourtant à appeler leur modèle « Effet de Serre ». J'avoue que cet entêtement a été pour moi au début un mystère jusqu'à ce que je comprenne que pour beaucoup de gens dans le domaine du climat, il y avait une séparation totale entre ce que l'on décrit et les équations qu'on utilise dans les calculs des modèles dits « GCMs ». De fait, cette prise de conscience que *« l'effet de serre est plus subtil qu'on ne le croit »* euphémisme utilisé pour dire que ce qu'on nous a raconté jusqu'ici ne correspond pas à la réalité, n'entraîne aucun changement dans les équations utilisées ni dans les conditions aux limites, ni dans les données d'entrée des GCMs. Il n'y a donc, de leur point de vue, aucune raison de changer un nom qui déjà n'était pas adapté ! Et j'en ai eu la confirmation de la plume même de J. Treiner qui m'a écrit : *« Il faut aussi que vous compreniez que les "petits modèles" que l'on utilise pour faire comprendre les choses (y compris celui, "plus subtile que d'habitude", de notre papier) ne sont pas ceux que les climatologues utilisent pour leurs publications : ils font des calculs en trois dimensions, en traitant les transferts radiatifs avec toutes leurs caractéristiques - en particulier de longueur d'onde - et l'effet de serre est un output de leurs modèles, alors qu'il est mis à la main dans les "petits modèles". Faire croire que le GIEC, via notre article, a changé de conception sur l'effet de serre, c'est tout simplement grotesque. »* Cela pose une grave question quasi philosophique : comment a-t-on fait pour établir les équations si elles ne correspondent pas à la description des phénomènes ? Admettons cependant que pour des raisons didactiques et parce qu'ils s'adressent au commun des mortels, les auteurs de ces calculs complexes tiennent absolument à ne présenter que des modèles simplistes n'ayant qu'un rapport (très) partiel avec la réalité.

Si nous ne voulons pas alors être dans la situation des pèlerins de Delphes, à la merci des prêtres d'Apollon, pour interpréter ce que dit la Pythie, il nous faut regarder de près les équations utilisées pour décrire l'EDS dans les modèles GCMs.

Comme plusieurs papiers et cours présentent, dans la littérature française et anglo-saxonne, les équations de transferts radiatifs ainsi que les hypothèses et les conditions aux limites en principe utilisées dans ces GCMs, il sera possible de montrer

- 1) que l'ensemble est malgré tout incorrect et conduit à des aberrations,
- 2) que même avec les corrections qui s'imposent, si on conserve le **postulat** d'échanges de chaleur **purement** radiatifs, il est impossible de reproduire les observations.

⁶ Je me permet d'employer ces termes (rétrodiffusion, réémis..) car ils sont utilisés dans les rapports du GIEC même mais il ne s'agit pas de réflexion de l'infrarouge par les gaz dit GES parce que ces gaz à l'état de trace absorbe un photon, collisionne une autre molécule, puis après de nombreuses collisions, la molécule d'un autre gaz rayonnera à sa température propre.

Or toutes les approches du GIEC reposent, d'après leur dire sur cette formulation et ce postulat qui, on le verra, doivent donc être abandonnés au profit d'une approche thermodynamique.

3 Les équations classiques de l'EDS radiatif

De fait ces équations sont les équations classiques de transfert radiatif utilisées en astrophysique pour l'étude des atmosphères stellaires et ici appliquées, sans autre forme de procès, à l'atmosphère terrestre. Bien entendu, le problème est un problème à 3 dimensions que seul un ordinateur puissant peut résoudre numériquement. Il est en particulier impossible de s'en passer si on veut prévoir un résultat local à un moment donné. Mais il est tout à fait possible pour la compréhension, pour avoir les tendances et approcher des valeurs moyennes globales, d'utiliser certaines simplifications ou plus exactement des situations particulières ou des cas limites (comme de considérer les valeurs moyennes dans le temps et dans l'espace pour lesquelles on est très proche de l'équilibre et de ramener le problème à deux ou une dimension) pour aboutir à des solutions analytiques reflétant correctement les mécanismes physiques pris en compte ce qui permet de valider ou d'infirmer le ou les modèles utilisés. C'est ce qui est fait couramment avec les gros modèles quel que soit le domaine traité.

Le postulat de départ adopté dans ces GCMs est que les échanges de chaleur qui régissent l'équilibre global dans la troposphère, sont purement radiatifs. De plus, en référence aux travaux concernant les étoiles, notre atmosphère est considérée semi-infinie, son origine étant son sommet (Top Of Atmosphere-TOA).

Dans ces conditions pour relier, la quantité de gaz absorbeur d'Infrarouge (GES) aux flux d'énergie, le paramètre le plus approprié est la profondeur optique qui peut être obtenue à partir de la loi de Planck. Malheureusement, celle-ci traite un rayonnement monochromatique or le spectre émis par la Terre s'étend sur plusieurs ordres de grandeur. Pour pallier à cette complication, on a recours, à une profondeur optique **simulée**. Une telle profondeur optique est calculée en intégrant sur tout le spectre, raie par raie, et sur un hémisphère couche par couche, la transmittance monochromatique directionnelle. On utilise pour cela des codes de calculs comme GEISA (LMD) ou HITRAN aux USA ou encore HARTCODE [2], [3].

L'absorption par un élément de colonne d'air est alors donnée par : $dI = -\kappa I dz$ où κ est le coefficient d'absorption par unité de masse et de longueur.

$$D'où, entre le bas (O) et le haut (A) de la colonne $I = I_0$ avec $t = e^{-\int_0^A \kappa p dz} = e^{-\tau}$$$

t étant la transmittance et τ l'épaisseur optique et $d\tau = \kappa p dz$. On a donc $I = I_0 e^{-\tau}$

La profondeur optique est définie généralement par $\chi = \chi_s - \tau$ (1) avec par définition $\chi_s = \tau_\infty$, $\tau_\infty = \infty$ lorsqu'on considère l'atmosphère comme totalement absorbante et donc semi infinie (ce que pourtant elle n'est pas) sinon on remplace τ_∞ par τ_A .

Finalement, avec l'approximation ci-dessus, il n'y a plus de dépendance de la longueur d'onde et on peut utiliser dans les équations la profondeur optique moyenne verticale et le flux radiatif net Φ . On a

$$\frac{dB(\tau)}{d\tau} = \frac{3\Phi}{4\pi} \quad (2) \quad \text{dont la solution est : } B(\tau) = \frac{3}{4\pi}\Phi\tau + B_0 \quad (2a).$$

D'autre part la loi d'émission d'une couche d'atmosphère est assimilée à un corps noir et on lui applique la relation $\mathbf{B(T)}=\pi^{-1}\sigma\mathbf{T}^4$ (3)

Si par ailleurs F^\uparrow et F^\downarrow sont les flux montants et descendants, on a $\Phi = F^\uparrow - F^\downarrow = \int_0^\infty \int_{4\pi} I_\nu(\theta)\cos(\theta)d\omega d\nu$ Φ est le flux d'Eddington

En régime stationnaire, purement radiatif, le flux radiatif net, le flux IR sortant donc, est égal au flux visible entrant $\Phi=S_0(1-A)/4$.

$$F^\uparrow = \int_{\text{hémisphère inf}} I(\theta)\cos\theta d\omega \quad \text{et} \quad F^\downarrow = \int_{\text{hémisphère sup}} I(\theta)\cos\theta d\omega$$

On écrit ensuite les équations donnant les flux montants et descendants en utilisant τ comme coordonnée et en appliquant la loi de Kirchhoff :

$$\frac{dF^\uparrow}{d\tau} = F^\uparrow + \pi B(T, \nu) \quad \text{et} \quad \frac{dF^\downarrow}{d\tau} = F^\downarrow - \pi B(T, \nu) \quad \text{qui donne}$$

$$F^\uparrow = \sigma T_s^4 e^{-\tau} + \int_0^\tau \sigma T^4(\tau') e^{-\tau+\tau'} d\tau' \quad (4) \quad F^\downarrow = \int_0^{\tau_\infty} \sigma T^4(\tau') e^{-\tau'+\tau} d\tau' \quad (5)$$

Avec $Z=0$ et $\tau=0$ on a donc $\chi=\chi_s$ et pour le sommet de l'atmosphère considéré donc comme semi infini et opaque soit $Z=\infty$ avec $\tau=\tau_\infty$ on a $\chi=0$.

D'un point de vue pratique on se limite à la troposphère car la stratosphère peut être en première approximation, ignorée puisque la majorité des GES (et la quasi-totalité du plus efficace d'entre eux, la vapeur d'eau) est contenue dans la troposphère et puisque les échanges thermiques avec la troposphère (sauf pendant les plus violents orages tropicaux) sont faibles ou nuls. De plus au niveau de la tropopause le flux d'Infrarouge entrant (hormis celui provenant du soleil !) est négligeable.

On a alors pour la tropopause ($10000 > z < 12000$ m), $\tau_\infty \approx 1,868$ – cette dernière valeur[3] est en assez bon accord avec la courbe bleue de la figure 17 issue de l'article de Dufresne et Treiner [2] qui ne prend en compte que la vapeur d'eau et le gaz carbonique.

Posons par ailleurs pour une atmosphère en régime stationnaire où n'interviennent que des échanges radiatif : $\Psi = F^\uparrow + F^\downarrow$ et $\Phi = F^\uparrow - F^\downarrow$ alors $d\Psi/d\chi = \Phi$ et $d\Phi/d\chi = \Psi - 2\pi B$. Comme en régime stationnaire, on a $d\Phi/d\chi = 0$

il en découle que $\Psi = 2\pi B$. $d\Psi/d\chi = \Phi$ entraîne $\Psi = \Phi\chi + Cte$

Et, en utilisant la solution classique (équation 2a) en géométrie plane, on génère la fonction source de transfert radiatif d'un milieu semi-infini $B = \Phi\chi/2\pi + Cte = \Phi\chi/2\pi + B_0$

La condition aux limites utilisée est celle qui existe au sommet de la troposphère puisqu'il est considéré qu'il n'y a pas à cette limite de flux de rayonnement Infrarouge (IR) descendant ; on connaît donc, à cette limite, le flux de rayonnement sortant. Cela permet de déduire l'expression classique et assez simple qui donne l'émissivité du corps noir (assimilée ici à l'atmosphère, source du rayonnement IR). Soit pratiquement au sommet de la troposphère, grâce à l'absence de flux d'infrarouge descendant, on peut écrire $F^\downarrow = 0$ et aussi $\chi = 0$

Cette condition permet la détermination de la constante B_0 puisqu'on a alors : $\Psi = \Phi$ d'où

$$B_0 = Cte = \Phi / 2\pi \quad \text{et on en déduit} \quad B = \frac{\Phi}{2\pi} (\chi + 1) \quad (6)$$

En astrophysique cette expression est la solution de Schwarzschild utilisant l'approximation d'Eddington. Avec de telles références, on comprend, que les personnes qui utilisent cette solution ne la remettent pas en cause et ils auraient raison s'ils l'appliquaient à ...une étoile ! Mais la Terre n'est pas équivalente au soleil comme on le sait⁷ et cela ne peut pas ne pas avoir de conséquence. Mais continuons.

Puisque $\Psi + \Phi = 2F^\uparrow$ $F^\uparrow = \frac{\Phi}{2} (\chi + 2)$ et de même $F^\downarrow = \frac{\Phi}{2} \chi$, on a donc

$\Psi = 2\pi B = F^\uparrow + F^\downarrow$ avec la loi du corps noir $B(T) = \pi^{-1} \sigma T^4$, il vient pour la température T_A de

$$\text{l'atmosphère à l'altitude correspondant à } \chi : T_A = \left(\frac{\Phi}{2\sigma} (\chi + 1) \right)^{1/4} \quad (7)$$

Et pour la température du sol $T_s = \left(\frac{\Phi}{2\sigma} (\chi_s + 2) \right)^{1/4}$ (8) tandis que pour la

température de l'air au contact du sol $T_{AS} = \left(\frac{\Phi}{2\sigma} (\chi_s + 1) \right)^{1/4}$ (9)

Ces équations, enseignées et présentées comme régissant l'EDS radiatif, sont des aubaines car elles font apparaître une dépendance directe des températures à la surface de notre planète vis-à-vis de la profondeur optique χ et cette propriété⁸ est utilisée comme preuve de la dépendance des températures à la surface de notre planète par rapport à la composition de l'atmosphère et elle permet de chiffrer l'influence de l'ajout de gaz carbonique dans l'atmosphère !

Mais que valent ces équations pour notre atmosphère terrestre ?

En prenant, données les plus courantes, pour le flux reçu du soleil et le flux sortant émis par le système terre : $OLR = S_0(1-A)/4 = 239,4 \text{ w/cm}^2$ et pour la profondeur optique de notre atmosphère $\chi_s = 1,868$, l'application numérique conduit alors à

$$T_s = 300 \text{ °K} = 27,7 \text{ °C} \quad \text{et} \quad T_{AS} = 279 \text{ °K} = 6 \text{ °C}$$

La différence avec les températures de surface reste toujours importante. Remarquons que les relevés de températures qu'ils proviennent de stations terrestres ou de satellites sont des températures mesurées dans l'air près de la surface, les 15 °C comme sont donc à

⁷ Elle est, entre autre, chauffée par le haut alors que les atmosphères des étoiles sont chauffées radiativement par le bas.

⁸ une augmentation de la composition en GES va augmenter $\chi_s(\tau_\infty)$ et donc les températures.

normalement comparer avec T_A soit à 6 °C. Le modèle d'EDS radiatif est donc incapable seul d'expliquer la température de l'atmosphère .

Mais surtout, la discontinuité entre la température au sol et la température de l'atmosphère au contact du sol n'a pas disparu. Et l'écart n'est pas mince puisqu'il est de 21,7°C. Or l'équilibre thermique doit régner à cet interface et ces deux températures doivent être égales.

Il y a donc là plus qu'une erreur, une incohérence qu'on appelle, quand elle est signalée, pudiquement paradoxale ! Il est donc clair qu'on ne devrait pas avec ces constatations se contenter de parler d'imprécisions et reprendre depuis le début. Mais faisons comme les auteurs des GCMs continus.

A l'autre extrémité, l'équation (7) permet également de calculer la température de peau c'est-à-dire la température en haut de l'atmosphère (TOA), soit pour nous pratiquement celle de la tropopause puisque en cet endroit la profondeur optique peut être considérée comme nulle ($\chi=0$) et n'intervient donc pas.

(7) se réduit alors à $T_{\text{peau}} = \left(\frac{\Phi}{2\sigma} \right)^{1/4} = 215 \text{ °K} = -58\text{°C}$ ce qui est proche de la température

de la tropopause dans le cas de l'atmosphère normalisée ou l'atmosphère ISA, standard international de référence soit -56,5 °C à 11000 m. Compte tenu des incertitudes sur les valeurs exactes (altitude de la tropopause, moyenne des températures relevées) l'accord, pour cette surface singulière, peut être jugé comme satisfaisant.

Par ailleurs le flux de rayonnement IR sortant OLR (Outgoing Long wave Radiation) au sommet de l'atmosphère est donné par :

$$OLR = \sigma T_s^4 e^{-\tau_\infty} + \int_0^{\tau_\infty} \sigma T^4 e^{-\tau_\infty + \tau'} d\tau' \quad (10)$$

Et deux conséquences se déduisent de cette équation :

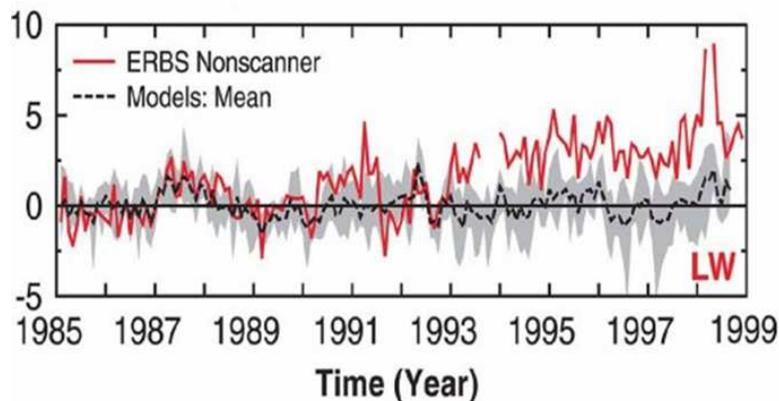
- 1) Dans l'hypothèse du tout radiatif, l'effet de serre serait, selon la définition donnée par plusieurs auteurs et largement acceptée (par le LMD entre autre), la différence entre flux rayonné par la surface et flux rayonné vers le cosmos soit :

$$G = \sigma T_s^4 - OLR \quad \text{et} \quad G = \sigma T_s^4 (1 - e^{-\tau_\infty}) - \int_0^{\tau_\infty} \sigma T^4 e^{-\tau_\infty + \tau'} d\tau'$$

$$OLR < \sigma T_s^4 \quad \text{Soit} \quad G < 0$$

Cette inégalité est attribuée au « renvoi » du flux manquant vers la terre via la rétrodiffusion des IR et leur absorption par la surface de la terre et des mers. Cela permet d'affirmer : « l'effet de serre radiatif bloque donc le rayonnement sortant » et avec les contre-réactions atmosphériques, établit un véritable couvercle vis à vis du flux infrarouge qui devrait normalement s'échapper dans l'espace

Ceci imposerait, bien sûr, que la terre ne pouvant se refroidir, se réchaufferait. Mais c'est contraire aux observations satellitaires. Les résultats des mesures effectuées par le satellite ERBS du flux Infrarouge rayonné par la terre en direction de l'espace montre, comme on peut le constater sur la figure jointe, que la chaleur de la terre s'évacue normalement dans



l'espace. Cela est flagrant, en particulier au moment du réchauffement dû au Super El Niño de 1998 que l'on perçoit très bien sur la courbe rouge. La courbe en pointillés, entourée de sa zone grise (la marge d'erreur) représente, à la même échelle, les prévisions des modèles climatiques du GIEC. La courbe rouge (les

observations donc) et la courbe en pointillés noirs sont confondues de 1985 à 1990 car les modèles ont été ajustés sur cette période. Au-delà de 1990, la courbe rouge s'écarte nettement de la zone grise et au moment du pic « el Nino » en 1998 le rapport entre les mesures réelles et les modèles atteint la valeur de 7 ! Il n'existe donc pas (ou en tous les cas, pas au niveau prévu par les modèles) d'effet « couverture », et le flux s'échappant dans l'espace, contribue donc au refroidissement de la planète. Les observations de ERBS montrent clairement que l'effet de couverture lié à la rétrodiffusion des IR des modèles n'existe pas !

2) Avec la définition de l'EDS donné par G, pour une atmosphère qui serait isotherme et à la même température que le sol ($T_s = T_A$) on aurait même :

$$OLR = \sigma T_s^4 e^{-\tau_\infty} + \int_0^{\tau_\infty} \sigma T_s^4 e^{-\tau_\infty + \tau'} d\tau' = \sigma T_s^4 e^{-\tau_\infty} + \sigma T_s^4 e^{-\tau_\infty} \int_0^{\tau_\infty} e^{+\tau'} d\tau'$$

$$= \sigma T_s^4 e^{-\tau_\infty} + \sigma T_s^4 e^{-\tau_\infty} [e^\tau]_0^{\tau_\infty} = \sigma T_s^4 e^{-\tau_\infty} + \sigma T_s^4 e^{-\tau_\infty} (e^{+\tau_\infty} - 1) = \sigma T_s^4$$

L'émission IR vers l'espace est la même que celle qui aurait lieu en l'absence d'absorption dans l'atmosphère et l'effet de serre donné (voir plus haut) par $G = \sigma T_s^4 - OLR$ est donc ici nul. Il n'y a pas d'effet de serre pour une atmosphère isotherme à la même température que le sol. On est en présence d'une incohérence : l'effet de serre n'existe pas si l'atmosphère est isotherme et cela même si sa température est plus élevée que notre atmosphère actuelle, mais il existe si la température de l'atmosphère diminue en fonction de l'altitude toutes choses étant égales par ailleurs !!

En conclusion de ce qui précède, il est clair que les équations « fondamentales » utilisées par les modèles classiques présentés dans les rapports du GIEC **ne nous ont pas fait faire de progrès** ni dans la précision ni dans la validité ni dans la confiance à apporter à l'ensemble de la démarche. Et ce n'est pas leur introduction dans un énorme code de calcul 3D qui traite les équations en général chaotiques de la météorologie qui changera quelque chose à ces conclusions. Devant toutes ces incohérences pudiquement baptisées paradoxes et devant ces écarts par rapport aux observations, il est normal, a minima, de reconsidérer la justesse et l'exactitude du modèle, des hypothèses prises et des conditions limites adoptées. C'est ce que nous allons faire maintenant.

4 Les équations générales de transfert

Remarquons d'abord que l'atmosphère est limitée dans l'espace et est donc un milieu fini et semi-transparent (tout au moins avec la définition adoptée pour la profondeur optique) en contradiction totale avec l'approche classique qui pose que ce milieu est semi infini et opaque. Il est clair également qu'à l'interface surface terrestre ou océanique et air, les deux milieux étant en contact physique permanent, l'équilibre thermodynamique est réalisé et les températures égales : $t_S = t_A$.

L'équation (2) utilisée pour le modèle classique est toujours applicable ainsi que la condition au sommet de l'atmosphère (troposphère) qui impose un flux entrant nul $F^\downarrow = 0$ pour $\chi = 0$. En revanche, la condition à la limite inférieure est maintenant parfaitement définie et donnée par t_S , t_A et τ_a .

On a donc pour la solution complète de l'équation (2) maintenant deux solutions aux limites, ce qui pose problème si B_s est considéré comme un paramètre totalement arbitraire. Pour s'affranchir de cette difficulté, il faut imposer, comme nous le verrons, une contrainte à B_s .

Au passage, étonnons-nous que dans le cas classique représenté par l'équation (6), B soit indépendant de B_s ou que le flux de rayonnement IR à une altitude z soit indépendant du flux IR émis par la surface de la terre.

Ferenc Miskolczi, dans son article « Greenhouse effect in semi-transparent planetary Atmospheres »[3] a résolu les nouvelles équations qui résultent des conditions réelles existant aux limites de l'atmosphère. Il est à noter qu'elles ne sont pas remises en cause : l'exposé du problème dont je me suis inspiré pour ce qui précède, correspond à tous les exposés et cours sur ce sujet et certes, R.Dorland and P. Forster dans leur article « Rebuttal of Miskolczi's alternative greenhouse theory »[4] contestent un certain aspect de sa théorie mais pas son système d'équations ni les solutions qu'il propose pour une atmosphère bornée⁹. Par ailleurs, Miklós Zágoni, important physicien hongrois, a analysé en profondeur, l'article de Miskolczi et non seulement confirme sa rectitude mais y trouve une déduction qui pour lui est un résultat¹⁰ remarquable qui constitue une confortation du formalisme.

$$\text{Dans [3], Ferenc Miskolczi pose } f(\tau_a) = \frac{2}{(1 + \tau_a + e^{-\tau_a})} \quad (11)$$

où τ_a est l'épaisseur optique de l'atmosphère soit l'équivalent de τ_∞ du cas semi-infini, et aboutit finalement à l'équation (12) qui comme on le voit est un peu plus compliquée que l'équation (6).

$$B(\tau) = \frac{1}{\pi(1 - e^{-\tau_a})} \left[\frac{\Phi}{2} \left(\frac{2}{f} - \chi(1 - e^{-\tau_a}) \right) - \pi B_s e^{-\tau_a} \right] \quad (12)$$

Miskolczi [2] qualifie cette équation de « générale », car non seulement elle respecte les conditions aux limites de la solution d'une atmosphère limitée et semi-transparente mais elle inclut aussi asymptotiquement la solution dite « classique » utilisée dans les modèles

⁹ « It should be emphasized that we do not criticize radiative transfer models since they are based on fundamental well understood physics and have been applied in many fields of science.. »

¹⁰ Il s'agit de l'épaisseur optique de l'atmosphère déduit analytiquement des équations et qui colle à 0,1% près à la valeur déterminée par l'intégration laborieuse raie par raie, couche par couche à l'aide d'un code très sophistiqué, ici Hartcode.

(GCMs) correspondant à une atmosphère semi-infinie ; pour $\tau_a = \tau_\infty = \infty$, on retrouve, en effet l'équation (6) utilisée comme support de l'EDS radiatif.

Une autre caractéristique essentielle est que flux et températures de l'atmosphère, et en particulier ceux correspondant à son sommet (\approx la tropopause) donnés par B_0 , dépendent du flux $\pi B_s(T) = \sigma T_s^4$ et donc de la température au sol.

B_s , et c'est très important, peut intégrer des apports d'énergie extérieure et donc ne pas dépendre que des échanges radiatifs ; en revanche, il doit absolument respecter l'équilibre du bilan d'énergie total du système. Il s'agit là de la contrainte évoquée plus haut.

Pour respecter cette exigence, B_s étant présent dans le deuxième membre de l'équation (12) des itérations sont nécessaires.

4.1 Utilisation de l'équation générale en mode purement radiatif

Dans un premier temps cependant, rangeons nous derrière le GIEC, c'est-à-dire admettons leur postulat principal et considérons comme dans l'approche classique que les échanges sont **purement radiatifs** mais appliquons la formule générale (12) au système terre-atmosphère au lieu d'appliquer l'équation particulière qu'est l'équation classique de transfert radiatif..

Adoptons aussi pour le flux dû aux IR émis par la terre, la valeur de 390 W/m^2 donnée dans le rapport AR4 du GIEC [1] ; le surplus (150 w/m^2) par rapport à ce qui vient du rayonnement solaire (240 w/m^2) étant attribué à la rétrodiffusion des IR, c'est-à-dire à l'effet de serre.

La température de surface alors obtenue à partir de l'équation (12) est de $9.5 \text{ }^\circ\text{C}$ soit inférieure à la valeur de TMAG donnée généralement par les divers instituts ($14.5\text{-}15^\circ\text{C}$). Mais surtout le bilan énergétique est déséquilibré (15 W/m^2), indiquant clairement la nécessité de modifier les données d'entrée de façon à rétablir l'équilibre du bilan énergétique ; il suffit pour cela de modifier le flux B_s dans l'équation (12). Avec ce type d'équation il est très facile d'itérer (à l'aide d'un logiciel du type EXCEL par exemple) et de converger vers un résultat cohérent et quelques itérations suffisent, quelle que soit la valeur de B_s de départ, pour respecter le bilan d'énergie.

Le calcul donne alors une température de surface de 10.3° . Elle est cette fois-ci, la même pour la surface de la Terre et l'atmosphère en contact avec celle-ci. En revanche sa valeur est de 4°C inférieure à TMAG. Le flux B_s correspondant est de 366.3 W/m^2 au lieu de 390 ou 396 (valeur donnée par Trenberth en 2009) soit 24 à 30 W/m^2 de moins ! La température en haut de la troposphère déterminée avec cette valeur de B_s est, elle, plus chaude de $6 \text{ }^\circ\text{C}$ que celle donnée par l'ISA à 11 km d'altitude.

S'il n'y a plus d'incohérence, on est donc toujours loin (et pour T_A en dessous mais aussi pour T_s puisque $T_s = T_A$) des valeurs attendues.

Malgré ces divergences et en restant dans cette hypothèse dite classique d'un effet de serre purement radiatif, déterminons, à partir de l'équation (12), quelle est l'augmentation de température qui résulterait directement aujourd'hui d'un doublement de concentration de CO_2 de l'atmosphère, soit à un passage de 400 à 800 ppm qui selon Dufresne et Treiner

représente une augmentation de l'absorption proche de 4,5 pour mille : elle serait de presque 0,6 °C, soit à peu près la moitié de la sensibilité généralement admise. Si on adopte l'augmentation d'absorption déterminée par F. Mickolzi dans [3], qui est probablement plus proche de la réalité, car, dans leur exemple, les auteurs de la référence [2], me semble-t-il, n'ont tenu compte, pour des raisons didactiques, que de l'absorption de l'eau et du CO₂, l'augmentation de température n'est plus alors que de 0,46 °C.

En respectant le postulat principal du GIEC, c'est-à-dire en ne considérant que les échanges radiatifs et bien qu'utilisant la loi générale basée sur une atmosphère aux dimensions finies (correspondant à la réalité) pour calculer l'augmentation de température provoquée par le doublement de concentration de gaz carbonique, la sensibilité climatique qui en résulte est au moins **deux fois plus faible** que celle proclamée par le GIEC. Leurs « prédictions » apocalyptiques en prennent déjà là un sacré coup !

De plus, le fait que même avec les nouvelles équations pourtant générales, il n'y ait toujours pas d'accord entre calculs et observations entraîne que ne considérer que des échanges radiatifs se révèle **insuffisant** pour rendre compte de la température de la biosphère.

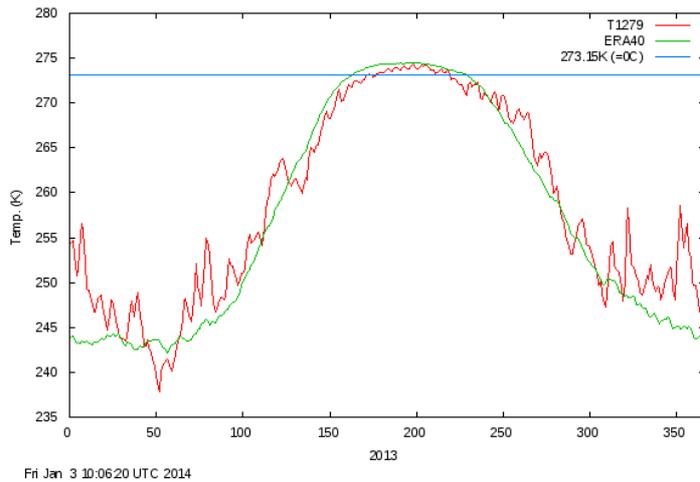
4.2 Introduction de la thermodynamique dans le système

Il est surprenant que des physiciens puissent penser que les échanges de chaleur entre la surface de la terre puisse ne sont régis que par les échanges radiatifs. Tout thermicien, en effet, sait qu'un fluide ou un gaz est beaucoup plus efficace pour chauffer ou refroidir que les rayonnements. Cette évidence est confirmée, s'il en est besoin, pour l'atmosphère par B. Legras du LMD comme par MM Dufresne et Treiner [2] : « *Le profil de température dans la troposphère n'est pas déterminé par les échanges radiatifs. Il est fixé par le brassage, par les perturbations météorologiques et la convection nuageuse* », « *le point essentiel est qu'il (le gradient vertical de température dans l'atmosphère) est indépendant des échanges radiatifs et indépendant de la concentration en CO₂* ».

L'équation (12) ne peut donc être utilisée sur toute la hauteur de la troposphère qu'en prenant en compte, par un moyen ou un autre, la thermodynamique.

Bien entendu dans πB_s , on a l'apport de chaleur correspondant au rayonnement visible émis par le soleil et non réfléchi (environ 240 w.m⁻²) mais il faut déterminer l'origine des 150/160 w.m⁻² supplémentaires. Le GIEC et la théorie classique, on l'a vu, l'attribue à la rétrodiffusion et donc à l'EDS. Or il suffit de regarder les diagrammes de Trenberth (figure du §1) pour voir d'abord que, si on excepte la fenêtre atmosphérique, les flux montant (surface radiation) et descendant (back radiation) s'annule presque et ensuite que les IR ne sont pas seuls à échanger de la chaleur entre la terre et l'atmosphère : le flux géothermique contribue à augmenter B_s mais sa contribution est négligeable (de l'ordre de 0,03%). En revanche l'effet de phénomènes océaniques comme el Niño ou de son inverse la Niña, provoque des variations conséquentes de ce flux. Un autre exemple très illustratif de l'indépendance d'une partie du flux émis par la terre par rapport au émissions de rayonnement est fourni par la température des régions de l'Arctique, situées au Nord du 80^{ème} parallèle. Elle est donnée ici pour 2013 par le « Center for Ocean and Ice » de l'Institut de Météorologie Danois (DMI). La courbe verte (ERA40) représente la moyenne des températures relevées entre 1958 et 2002.

On voit (courbe rouge) pendant l'hiver arctique 2013 des pics de températures qui



correspondent à des événements météorologiques normaux (orientations de vents et de courants) qui n'ont rien à voir avec l'éclairement inexistant pendant la nuit polaire ou avec les variations d'effet de serre radiatif. Pendant l'été on voit que, qu'elles que soient les années, la température est quasi constante et très proche de la température de la glace fondante et donc est régie par celle-ci et non par les échanges radiatifs.

D'une manière plus générale la température du sol dépend donc non seulement de l'éclairement solaire mais aussi, on l'a déjà dit, des phénomènes d'advection, convection, évaporation, précipitation etc. Le flux πB_s ne peut donc dépendre que des émissions de rayonnements IR. En particulier, le profil de température dans la troposphère **n'est pas déterminé par les échanges radiatifs mais par la thermodynamique** ; la température diminue quand on s'élève et que l'air se raréfie et augmente quand on descend et que la pression monte ; Et le gradient thermique correspondant Γ se déduit du premier principe de la thermodynamique : un volume de gaz de masse m de température T située à une altitude h possèdera une énergie totale U composée à la fois d'énergie gravitationnelle et thermique. Si nous sommes en Equilibre Thermodynamique Local (ETL), ce qui est le cas de la troposphère, cette quantité d'énergie sera constante et on aura donc :

$$U = mC_p T + mgh \quad \text{et} \quad dU = mC_p dT + mg dh = 0 \quad \text{d'où} \quad dT/dh = -g/C_p = \Gamma$$

L'air sec ayant une capacité thermique massique $C_p = 1006 \text{ J/(kg.K)}$ et l'accélération de la pesanteur terrestre soit la constante gravitationnelle $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, il en résulte que le gradient thermique adiabatique en air sec est égal à $\Gamma = -9.74 \text{ }^\circ\text{K/km}$. En air humide $\Gamma = -g/(C_p + C_h)$ soit pour une atmosphère standard -6.5°C/km et -5°C/km pour une atmosphère saturée.

La prise en compte de ces phénomènes peut se faire dans l'équation (12) au travers de la détermination de la valeur à la limite $B(0) = B_0$ et en utilisant, grâce à sa relative simplicité d'expression, ce gradient thermique Γ responsable de cette variation de la température avec l'altitude qui règne depuis la surface terrestre jusqu'en haut de la troposphère.

Calculons comme précédemment pour une atmosphère semi-infinie, la température au niveau de la tropopause. Il suffit pour cela de prendre $\chi = 0$ dans l'équation (12). Cette fois, B_0 dépend aussi de la fonction source de transfert radiatif B_s . Adoptons, dans un premier temps pour πB_s ce qui correspond à l'émission d'une surface à la température moyenne de la surface terrestre soit 385 à 396 W/m^2 selon les auteurs. La température de la tropopause obtenue est alors voisine de $-52 \text{ }^\circ\text{C}$. Notons que la température calculée¹¹ de cette surface reste toujours comprise entre -50 et $-60 \text{ }^\circ\text{C}$. Le modèle impose donc cette température à une altitude donnée d'environ 11000 m . Or elle est en relation avec la température à la surface de la Terre via le gradient Γ .

L'application numérique avec une profondeur optique de $1,868$, une altitude de la tropopause

¹¹ Les remarques des notes 4 et 5 s'appliquent également à cette température moyenne qui devrait être effective.

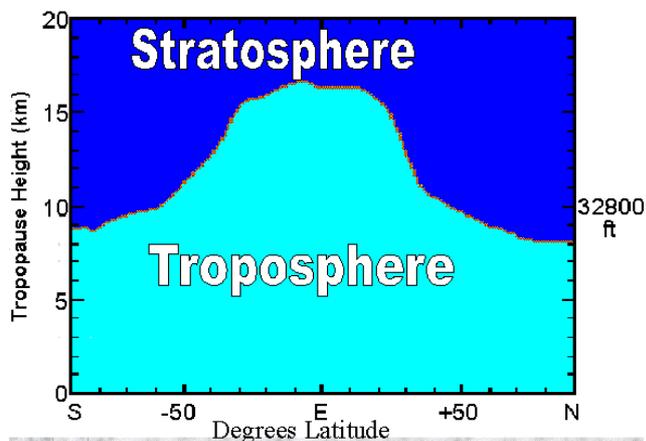
de 11 km et un gradient moyen Γ de $6,5^\circ\text{C}/\text{km}$ et un flux de surface B_s de $390 \text{ W}/\text{m}^2$ comme indiqué dans [1] conduit à un bilan énergétique qui est encore déséquilibré ($15 \text{ W}/\text{m}^2$), ce qui indique la nécessité, là également, d'itérer jusqu'à ce que B_s respecte le bilan énergétique. Quelques itérations permettent de converger vers un flux de $407,2 \text{ W}/\text{m}^2$ et une température de surface de 18°C . Le flux émis par le sol reste supérieur de $17 \text{ W}/\text{m}^2$ par rapport à la valeur donnée dans le rapport AR4 du GIEC (mais plus que de $11 \text{ W}/\text{m}^2$ par rapport à la valeur publiée par Trenberth et al., en 2009). Cette température diffère de 3°C de la TMAG déterminée par l'Hadley Center, ou par le Goddard Institute de la NASA ; écarts importants certes, mais, comme on l'a déjà signalé, ces organismes déterminent la (une) température globale moyenne. Or ce qui découle des équations (6) (atmosphère semi-infinie) ou (12), est une température effective. Cette dernière a une valeur supérieure à la température moyenne¹². Donc rien d'étonnant à cette différence qui était au contraire prévisible. Elle ne diffère d'ailleurs que de 1°C de la température déductible du flux de surface donné par Trenberth en 2009.

Les écarts observés au niveau des flux et des températures de surfaces prèchent donc cette fois en faveur de l'introduction de la thermodynamique dans le système.

4.2.1 Changement d'altitude de la tropopause

Pour évaluer l'effet de changement de flux de surface et de température consécutif à un ajout de gaz absorbant dans l'atmosphère, l'utilisation du (l'asservissement sur le) gradient thermique impose de tenir compte du changement d'altitude d'émission des IR et en particulier du changement d'épaisseur de l'atmosphère (alors que dans le cas purement radiatif, le changement de l'absorptivité était seul considéré).

Ce changement d'altitude va d'abord être causé par l'ajout d'une quantité de molécules qui en général sera très faible par rapport à celles déjà présentes. A titre d'exemple le doublement de la concentration actuelle de gaz carbonique provoquerait une élévation de la tropopause de 4,4 m au maximum. Mais il faut tenir compte aussi de l'augmentation



consécutives à la variation de température de l'air. Elle est donnée par la loi des gaz parfaits $pV=nRT$ ou $pV=rT$ ($dV=r dT/p$ d'où on déduit facilement dz). On a une image saisissante de cet effet de la température avec la variation de hauteur de la tropopause entre les tropiques et les pôles (voir figure). La hauteur généralement considérée de 11 km n'est qu'une moyenne permettant de ramener le problème à une seule dimension.

En tenant compte de ce changement d'altitude lié au changement de température (un processus d'itération est là aussi nécessaire), le doublement de concentration du CO_2 atmosphérique, résultant d'un passage de 400 à 800 ppm, provoquerait une augmentation de $0,11$ ou $0,09^\circ\text{C}$ selon que l'on adopte l'absorptivité calculée par [2] ou par [3]. Cette augmentation est donc la somme de celle due au changement d'absorptivité et celle due au changement d'altitude de la tropopause.

Mais remarquons que les prévisions catastrophiques que le GIEC attribue à l'augmentation de la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère, même en utilisant une sensibilité

¹² Tout le monde peut s'amuser à déterminer la température effective (avec une loi en T^4) d'une surface divisée en 5, 6, 10 zones ou plus avec des températures à peu près dispersées comme celle de la terre et correspondant à une température moyenne de 15°C et il s'apercevra que la température effective de cette surface sera supérieure d'au moins 2 à 3°C à la température moyenne.

climatique que l'on sait maintenant exagérée (1,2 °C), ne tiennent que s'il existe une rétroaction positive de la vapeur d'eau pour en accroître l'effet.

Rappel du raisonnement : l'augmentation de la température de surface terrestre (quelle que soit son origine) augmente l'évaporation et la concentration de l'atmosphère en eau. La vapeur d'eau étant un gaz plus efficace du point de vue absorption que le gaz carbonique, cela va augmenter l'effet de serre radiatif qui va augmenter la température de surface et ainsi de suite.

Il est donc nécessaire pour évaluer l'effet d'une augmentation de concentration de CO₂ de tenir compte de la variation de la concentration de vapeur d'eau qu'elle est susceptible de provoquer. Or on peut, à partir de l'équation (12), calculer l'effet que donnerait une augmentation de vapeur d'eau dans l'atmosphère. On va même considérer le cas limite d'une troposphère complètement saturée. D'après F. Miskolczi, la saturation complète est atteinte pour une augmentation de l'absorption d'environ 12% soit une concentration moyenne dans l'air de 6.2 pour mille ou de presque 60 kg.m⁻² au lieu de 25 kg.m⁻². Il va en résulter une hausse de la tropopause d'environ 39 m. L'équation (12) avec cette hypothèse conduit à une température au niveau de la tropopause de -51,8 °C au lieu de -53,4, il y a donc léger réchauffement. Mais il faut tenir compte aussi du fait que si l'atmosphère est saturée, le gradient adiabatique est de 5°C/km au lieu de 6.5 en raison de la variation de sa chaleur spécifique. La température de surface auquel conduit alors ce changement est de +3,3 °C et traduit donc un net refroidissement (par rapport à +14,5 °C), soit un écart mais dans le sens opposé à ce que prévoient les fameux modèles GCMs. Le système agit donc comme un **climatiseur**.

Par conséquent, contrairement à ce que laisse entendre la référence [2], même en prenant en compte le changement d'altitude et la rétroaction exercée par la vapeur d'eau, **l'augmentation de la concentration de CO₂ ne peut pas être invoquée pour expliquer le réchauffement climatique**

5 Discussion

Dans un premier temps, revenons sur les incohérences et les écarts résultants de l'utilisation des équations classiques du transfert radiatif utilisé en astrophysique et étendues imprudemment à l'atmosphère. Ceux-ci ne sont guère surprenants si on considère que l'atmosphère est un milieu semi-infini avec une limite supérieure car, dans ces conditions il n'y a pas, par définition, de limite inférieure! Le parti-pris de considérer la surface de la planète (terre et océans) comme limite inférieure (intérieure) est donc pour le moins étrange.

Il apparaît donc bien nécessaire d'utiliser l'équation générale (12), sans approximation, pour traiter le problème. Mais, on l'a vu, cette équation introduit le flux émis par la surface πB_s auquel il faut bien donner une valeur. Celle-ci, dans notre problème global est issue de l'estimation de la température moyenne globale de la terre mais, bien entendu le bilan énergétique doit impérativement être respecté. Alors et malgré l'utilisation de cette équation générale, les résultats obtenus, en ne considérant que le transfert radiatif et en respectant l'application de la contrainte sur le bilan énergétique, montrent que la température de surface calculée est nettement inférieure à la température de surface réelle.

Là encore, il n'y a pas tellement lieu de s'étonner de cette insuffisance (qui existe aussi pour le modèle classique pour la température de l'air) car dans la troposphère les échanges de chaleurs verticaux (et horizontaux) sont bien évidemment régis principalement par la thermodynamique et l'aérodynamique tous bien supérieurs aux échanges nets par rayonnement. En particulier, impossible d'oublier le « travail » de la vapeur d'eau et d'ignorer l'effet de la pression atmosphérique responsable du gradient thermique !

Mais alors peut-on se demander ne serait-il pas plus judicieux d'aborder le problème sous l'angle thermodynamique. Sûrement mais la physique des transferts par rayonnements ne doit pas contredire la physique des autres modes de transferts de chaleur. Les différents modèles doivent s'accorder. C'est ce qui est fait dans le § 4.2 en appliquant l'équation (12) au niveau de la limite ($\chi=0$) que constitue la tropopause et en liant la température de la tropopause à celle de la surface via le gradient thermique humide. Ce faisant, c'est finalement, la variation de pression atmosphérique qui impose le profil de température et du flux $B(T)$ en fonction de l'altitude.

Il ressort alors clairement que la différence de 33 °C qui existerait entre la température de surface sans GES dans l'atmosphère et la température observée, ne provient pas de l'effet de serre mais est le résultat conjugué de la teneur de l'atmosphère en vapeur d'eau et de la variation de pression avec l'altitude. C'est finalement la **gravitation, et non pas "l'effet de serre radiatif"**, qui est responsable du fait que la surface de la terre est à une température supérieure à celle de la tropopause !

Ce qui précède montre que l'EDS ne peut expliquer le réchauffement passé et encore moins à venir, qu'il est inopérant et conduit même à proposer que l'effet de serre n'existe pas. Mais, une telle proposition bouleversant la doxa de ces dernières années, il n'est pas convenable de s'en tenir là d'autant que ces conclusions résultent de l'application d'équations. Or les équations se devant de correspondre à la description des phénomènes, une explication doit donc être donnée au fait que cela ne se passe pas comme semble l'indiquer «le bon sens immédiat¹³» et du même coup expliquer et démontrer pourquoi l'EDS radiatif n'a pas de fondement physique.

Cela peut être fait de différentes façons et en voici quelques-unes.

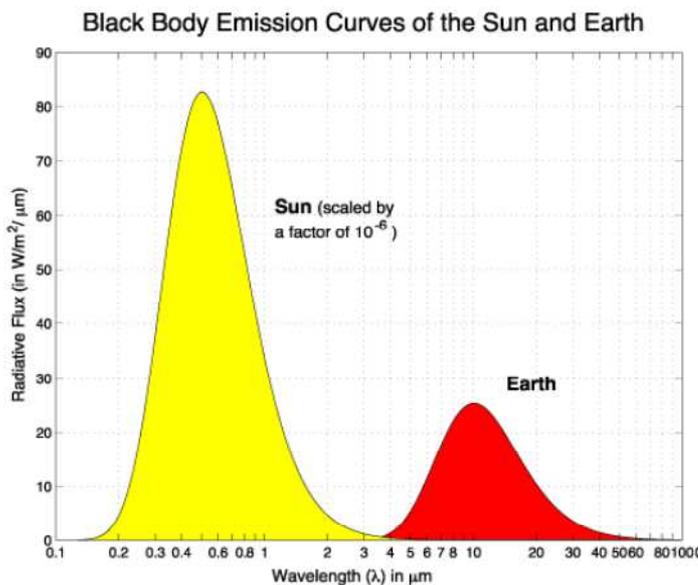
1. Dans toutes les approches classiques, **il y a confusion entre flux radiatif unidirectionnel et transfert de chaleur**. Un transfert de chaleur par voie radiative est, en fait, **donné par la différence entre ce qui est absorbé et ce qui est rayonné**, le bilan net est le seul qui compte ! Et la considération du flux **net** "émis moins absorbé" venant de l'air montre que le bilan net de la surface est négatif. Cela se voit aussi très bien également sur les diagrammes type Trenberth (première figure du chapitre 1 : back radiation- surface radiation=324-350=-26 !!). Les émissions de rayonnement IR provoquent **un refroidissement** de la surface ! Dans toute la troposphère, donc, le **bilan radiatif** est, en moyenne, négatif et il y a, bien entendu, compensation au travers du transport vertical de chaleur par convection depuis le sol et évaporation/condensation de la vapeur d'eau dans la troposphère.
2. Au niveau des couches les plus internes, les IR sont piégés dans une zone obscure que certains disent « aveugle » [2]. Dans ce cas, l'intensité est isotrope et le flux **net** d'IR est nul. Ces couches ne contribuent pas au rayonnement sortant de l'atmosphère. Cela implique que le flux de rayonnement émis dans le cosmos vient des couches supérieures de l'atmosphère, en gros jusqu'à une épaisseur optique de valeur 1. La définition de l'effet de serre donnée au § 3, $G = \sigma T_s^4 - OLR$ ne tient donc pas. Et la limite qu'il faut prendre pour l'émission d'IR vers l'espace n'est en aucun cas la surface de la terre mais est située en altitude. Bien sûr cette surface limite varie avec la latitude et la fréquence du rayonnement mais en moyenne globale elle est située quelque part vers 5000 m d'altitude au-dessus de la zone « aveugle ». C'est à cette (pseudo) surface qu'il est possible d'appliquer la loi de Stephan et c'est donc à cette altitude qu'existe l'équilibre global de rayonnement

¹³ On voit sur les schémas du §1 que les IR sont absorbés par l'atmosphère et que cette atmosphère émet à son tour des IR dont la moitié retourne vers le sol. C'est indubitable et ce rayonnement, se dit-on en première analyse, devrait bien « réchauffer » d'une manière ou d'une autre la surface.

entre le flux onde courte entrant et le flux IR sortant et la température de cette surface est donc de -18°C ce que l'on trouve même admis dans les rapports du GIEC.

- De plus, comme cela a été noté par de nombreuses personnes, ce mécanisme **contrevient à la deuxième loi de la thermodynamique**. Mais ce point est contesté par certains scientifiques ; cette contradiction bien que pour moi évidente nécessite donc d'être étayée. Et une façon de répondre à la question de savoir si les IR émis par la troposphère vers la surface terrestre, la chauffe et finalement respectent ou non la « deuxième loi » peut être déduite du fait que l'interaction des ondes électromagnétiques avec la matière peut prendre des formes diverses en fonction à la fois des caractéristiques du rayonnement et de la matière. On le sait, il ne suffit pas qu'un paquet d'onde soit dirigé vers une surface pour que celle-ci soit obligatoirement chauffée par cet « éclairage » ; en particulier, certaines substances peuvent laisser passer le rayonnement électromagnétique. La matière peut aussi réfléchir ou dévier un rayonnement sans affecter son caractère ondulatoire ni modifier son énergie comme les métaux polis qui sont réfléchissants dans une large gamme de longueur d'onde et ne s'échauffent pas. Il ne faut pas oublier non plus la dualité onde corpuscule du rayonnement.

Regardons alors ce qui se passe pour la terre. Elle est éclairée par le soleil avec un rayonnement correspondant à peu près à l'émission d'un corps noir de température d'environ 5500°C , donc rayonnant principalement dans l'UV et le visible centré sur une longueur d'onde de $0.5\ \mu\text{m}$ (surface jaune de la figure). La terre absorbe les rayonnements à hautes fréquences sans émettre à son tour de rayonnement dans le



même domaine (le rayonnement émis par la terre apparaît en rouge sur la figure et les deux spectres se recouvrent très peu). Il est évident qu'alors ce rayonnement haute fréquence (jaune) est absorbé et dissipé en énergie calorifique incohérente. Plus précisément, en interagissant avec le sol ou l'océan, l'aspect particulaire de la lumière solaire prend le pas sur l'aspect ondulatoire. Ce sont alors les photons qui interagissent avec la matière de telle sorte que l'énergie électromagnétique est transformée en agitation particulaire : la conservation de la quantité de mouvement du

système lors de la collision se traduit par l'augmentation de la vitesse de la particule réceptrice et au niveau macroscopique par une augmentation de la température. Il est donc clair que quand le rayonnement incident possède une fréquence (et une température) plus élevée que l'objet éclairé alors l'énergie électromagnétique est bien transformée en chaleur.

Voyons maintenant ce qui se passe quand la température du rayonnement incident est égale à la température de l'objet éclairé. L'absorption sous forme d'agitation particulaire, si elle existe encore, ne peut plus se traduire par une augmentation de température puisqu'il y a égalité des vitesses. Et pour une température du rayonnement incident inférieure, on devrait s'attendre à un refroidissement si on reste sur un mécanisme particulaire. L'agitation thermique des particules chaudes et rapides ne peuvent être transmises qu'aux particules froides et en aucun cas l'inverse.

On voit sur la figure que pour le cas ($T_{\text{incident}} < T_{\text{objet}}$), on se trouve dans le domaine correspondant à (ou après) la surface rouge dans le système Soleil/Terre pour lequel l'aspect ondulatoire reprend totalement la préséance sur l'aspect particulaire. Il est donc probable que non seulement il n'y ait pas alors « réduction » de l'onde en corpuscule mais que de plus le rayonnement incident subisse simplement une diffusion Rayleigh, de Lorentz-Mie ou de Thomson dans laquelle la direction de propagation de l'onde électromagnétique associée au photon change sans diminution de l'énergie. On a alors une rétrodiffusion où tous les rayonnements absorbés sont (ré-)émis et pour laquelle il est logique de ne pas observer de dissipation d'énergie. Avec ce schéma purement ondulatoire si le rayonnement incident a une température plus faible que l'objet sur lequel il tombe, il n'y aura donc jamais de chauffage de la matière. Et dans le cas où l'émission consécutive à l'interaction du RI venant de l'espace est renforcée par résonance, comme dans l'amplification résonante d'un instrument à corde, on pourra même envisager un refroidissement.

Que l'on considère l'aspect ondulatoire ou corpusculaire, on ne peut donc jamais envisager de réchauffement si la température du rayonnement incident est plus basse que la température de l'objet éclairé. C'est aussi ce qu'on peut déduire simplement des lois de conservation de la quantité de mouvement.

4. On peut, en effet, à partir de ces lois, démontrer cette incapacité de l'EDS à chauffer. La quantité de mouvement d'un photon est donnée par $p = h/\lambda = hv/c$ où h est la constante de Planck et c la vitesse de la lumière. On peut aussi lier grâce à la loi de Wien, cette quantité de mouvement à une température $p = hT/\alpha$ avec $\alpha = 2,9 \cdot 10^{-3}$. Par ailleurs, comme nous l'avons déjà vu, un corps maintenu à une température T émet un rayonnement. Si les échanges ne sont que radiatifs, la variation de quantité de mouvement d'une particule ou d'un atome de l'objet en équilibre thermique, sera donné par $dp = m dv - h\nu_T/c + h\nu_i/c$ où ν_T est la fréquence du rayonnement émis à la température T et ν_i la fréquence du rayonnement incident absorbé par l'objet (la particule) considéré(e) ; Si v est la vitesse de la particule et m sa masse, la conservation de la quantité de mouvement conduit à l'équation :

$$dv = (h/(c.m))(\nu_i - \nu_T) = (h/(\alpha.m))(T_i - T_o)$$

Il est évident que si dans cette équation $\nu_i > \nu_T$ ou $T_i > T_o$, la vitesse d'agitation donc la température de l'objet va augmenter. C'est le cas du rayonnement qui nous arrive du soleil.

Mais Si $\nu_i = \nu_T$ ou $T_i = T_o$, il n'y a pas de variation et donc **plus de chauffage**

Et si $\nu_i < \nu_T$ ou $T_i < T_o$, il y aura même refroidissement !!

Dans [5], il est rapporté qu'en partant l'équation de Planck on aboutit à la même conclusion. Le rayonnement, ce qui est rassurant, obéit donc lui aussi à la deuxième loi de la thermodynamique !

Tous ces points condamnent les raisonnements purement radiatifs. Et ce qui n'est pas rien, il n'y a pas (plus) d'opposition entre physique des rayonnements, thermodynamique et physique quantique.

6 Conclusion

Il a été démontré que l'approximation faite dans l'approche « classique » d'une atmosphère semi-infinie et totalement absorbante n'est pas adaptée à l'atmosphère terrestre. L'utilisation de conditions aux limites respectant la réalité conduit à l'équation générale et complète déterminée par [2]. Celle-ci, appliquée en respectant le postulat de départ de la rétroaction des IR que préconisent les modèles « GCM », permet de supprimer les incohérences mais

prévoit une sensibilité climatique environ deux fois moindre que celle proclamée par le GIEC ! De plus, les valeurs de températures attendues sur terre sont alors plus basses que celles mesurées et surtout les variations d'énergie au niveau de la surface ou dans l'atmosphère conduisent quelles que soit leur cause à des réactions inverses¹⁴ à celles observées.

Un modèle basé sur des transferts **purement** radiatifs même correct sur le plan physique et mathématique est donc inadéquat. Il n'y a pas congruence avec la réalité. Un tel modèle ne devrait être appliqué qu'à partir du moment où les échanges ne sont plus que radiatifs, c'est-à-dire au sommet de l'atmosphère¹⁵.

Le modèle général qui aboutit à l'équation (12) ne peut donc être utilisé et devenir congruent qu'en lui ajoutant une prise en compte sérieuse des phénomènes gouvernés par la thermodynamique. Cela est permis en première approximation par l'introduction à partir du flux de chaleur régnant au niveau de la tropopause (πB_0) du gradient de température réel de l'atmosphère. L'application de ce gradient de température¹⁶ en fonction de l'altitude conduit alors, tant au niveau des températures de l'air qu'au niveau de la température de surface, à un accord satisfaisant et quasi-parfait si on ne confond pas température moyenne et température effective. Les incohérences ou paradoxes ont disparu et surtout il y a accord sur le sens des variations observées et prévues suite aux changements de teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère ou de flux de chaleur au niveau terrestre (effet El Niño/la Niña).

L'application numérique fait apparaître aussi qu'il n'y a plus (aux incertitudes près) de place pour l'influence de la rétroaction des IR émis par la troposphère vers la terre, c'est-à-dire **plus de place pour l'effet de Serre radiatif** !

Cette conclusion est parfaitement en accord avec la deuxième loi de la thermodynamique et la loi de conservation de la quantité de mouvement qui démontre que les IR renvoyés par la troposphère (plus froide) ne peuvent pas réchauffer la terre. Et à ceux que cela pourrait étonner, on peut rétorquer plus prosaïquement qu'un rayonnement quel qu'il soit, ne peut pas chauffer sa propre source.

L'EDS radiatif dit «modèle classique» basé sur une approximation et un postulat faux est donc condamné.

Mais même si l'EDS radiatif n'est pas le modèle adéquat, il reste que les gaz absorbeurs des IR contenus dans l'atmosphère qu'on ne doit donc plus appelé Gaz à Effet de Serre, jouent un rôle sur la température du sol. Il faut donc absolument quantifier l'effet d'un changement de leur concentration. Pour le gaz carbonique, on s'aperçoit alors que le doublement de la teneur en CO₂ même en tenant compte de l'augmentation d'altitude de la tropopause qu'elle provoque, se traduit par une augmentation négligeable voisine de +0,1 °C.

Cette sensibilité climatique dix fois plus faible que celle proclamée par le GIEC, est donc incapable d'expliquer le réchauffement actuel et encore moins les 6°C d'augmentation qu'on

¹⁴ par exemple une contre réaction négative lors d'une augmentation de température et de teneur en vapeur d'eau, l'absence d'effet couverture (cf. l'exemple spectaculaire du super el Nino de 1998).

¹⁵ On peut pour cela aussi considérer comme dans [2], une atmosphère équivalente, réduite à deux zones, la première contenant tous les Gaz dit GES, absorbant totalement les IR, la seconde totalement transparente. L'application d'une loi purement radiative est alors simplifiée. L'équilibre entre le flux entrant et sortant est réalisé et la loi de Stephan s'applique à la surface séparant les deux zones à l'altitude dite d'émission. Cela impose la température de cette surface équivalente qui est alors de -18°C. Son altitude étant d'environ 5 Km, chiffre que l'on retrouve dans les rapports du GIEC, le gradient adiabatique humide (6,5 °C/km) conduit à une température de surface de 14,5 °C. Le modèle de [2] conduit, in fine, au même résultat que l'équation générale.

¹⁶ le gradient est donné par g/C_p avec $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ accélération de la pesanteur terrestre et $C_p = 1006 \text{ J/(kg.K)}$, la capacité thermique massique en air sec et pour l'air humide $g/(C_p + C_h)$.

nous promet en 2100. D'autant que cette valeur ne tient pas compte de la rétroaction négative que prédisent les mêmes équations pour l'augmentation (très légère) de la vapeur d'eau dans l'atmosphère que provoquerait cette augmentation de température.

Finalement, on ne peut être que d'accord avec J. E. Postma lorsqu'il écrit, terminant son article sur « l'absence d'un effet mesurable de l'effet de serre » [6] : « *L'effet-de-serre n'est qu'une phrase qui exprime la différence entre la température de rayonnement de l'air vers le cosmos et la température cinétique des molécules de gaz proches de la surface; ça n'implique nullement un mécanisme physique de chauffage ou d'amplification des températures ou de piégeage de chaleur; ce n'est qu'une **comparaison sans intérêt entre des métriques distinctes d'effets différents, la température représentative de l'énergie cinétique de molécules** (spatially-specific kinetic temperature) **et la température effective rayonnée** (effective radiation temperature). Ce concept..n'a donc pas de sens physique.*

L'augmentation du Gaz carbonique dans l'atmosphère, constaté depuis le milieu de XIX^{ème} siècle, qu'elle soit ou non d'origine anthropique, ne peut être rendue responsable du réchauffement actuel et **ne sera pas capable de provoquer le réchauffement catastrophique futur** que nous prédisent les modèles basés sur l'EDS radiatif.

7 Références

[1] IPCC AR4 WG1 (2007)

[2] J.L Dufresne et J. Treiner « *L'effet de serre : plus subtil qu'on ne le croit* » La météorologie N° 72 Février 2011

[3] Ferenc Miskolczi; "Greenhouse effect in semi-transparent planetary atmospheres" *IDŐJÁRÁS Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 111, No. 1, January–March 2007, pp. 1–40*

[4] Rob van Dorland and Piers M. Forster « *Rebuttal of Miskolczi's alternative greenhouse theory* »

[5] Maurice Hadrien, « *CO2 : coupable ou non coupable?* » Editions Mélibée

[6] J. E. Potsma *A discussion on the absence of a measurable greenhouse effect* 22 octobre 2012 cité par Camille Veyres