

"L'homme est-il responsable du réchauffement climatique ?" ¹

Quelques réflexions complémentaires, par l'auteur, André Legendre.

Cet ouvrage, qui prend en compte le réchauffement global constaté au cours du 20^{ème} siècle, pose la question de savoir si le CO_2 , "gaz à effet de serre", joue un rôle dans ce réchauffement.

Il répond en relativisant le réchauffement constaté et en concluant que le rôle du CO_2 dans ce réchauffement et dans tout réchauffement à venir doit être minimisé.

Ceci est difficilement accepté par ceux qui attribuent, au contraire, un rôle climatique prépondérant au CO_2 et rendent l'homme responsable d'une catastrophe à venir.

Curieusement, bien que cet ouvrage ait été édité il y a plus d'un an, les critiques se sont faites, récemment, plus nombreuses et ont conduit l'auteur à approfondir sa réflexion sur plusieurs points.

C'est de ce complément de réflexion que je souhaite faire part dans ce qui suit.

1- A quelle augmentation de température doit-on s'attendre pour un doublement du CO_2 atmosphérique ?

M. J.L. Dufresne ² écrit dans un diaporama :

Réponse simplifiée à un forçage radiatif de ΔQ

loi de Stefan-Boltzmann : énergie émise $E = \sigma T^4$

Si on linéarise la loi de Stefan-Boltzmann (ce qui est acceptable vu que $\Delta T/T \approx 1/300 \ll 1$), on obtient $\Delta E = 4 \sigma T^3 \Delta T$ qui s'écrit aussi $\Delta T = \Delta E / (4 \sigma T^3)$

En réponse à un « forçage radiatif » ΔQ , un nouvel équilibre est atteint lorsque le flux infra-rouge émis a changé de $\Delta E = \Delta Q$

Pour un forçage radiatif $\Delta Q = 3.7 \text{ W.m}^{-2}$ (doublement de CO_2), on obtient:

¹ L'homme est-il responsable du réchauffement climatique ? EDPsciences, collection "bulles de science", 2009.

² Directeur de Recherches au CNRS, Laboratoire de Météorologie Dynamique, Institut Pierre Simon Laplace.

● Si on prend pour T la température de surface $T=288K$

$$\Delta T = \Delta E / (4 \sigma T^3) = 3.7 / 5.42 \approx 0.68 K$$

C'est ce que trouve M. Legendre. Mais tout le rayonnement émis par la surface n'atteint pas l'espace, une partie de ce rayonnement a été absorbée par l'atmosphère (plus froide que la surface) qui à son tour émet du rayonnement.

De façon très simplifiée, ce que voit l'espace c'est un rayonnement émis par un corps noir dont la température équivalente est $T_e = 255K$ (cf. page précédente).

● Si on prend pour T cette température d'équilibre radiatif $T=255K$

$$\Delta T = \Delta E / (4 \sigma T^3) = 3.7 / 3.76 \approx 1 K$$

On se rapproche de la valeur de 1.2 que l'on obtient en faisant le calcul exact, avec des modèles radiatifs complets (profil réel de température et de concentration des gaz, pas de linéarisation...) et que M. Legendre affirme comme fausse.

M. Dufresne a raison de rappeler qu'un doublement de la concentration du CO_2 atmosphérique conduirait à un forçage de $3,7 W/m^2$. Ce forçage, précise-t-il en me citant, induirait une augmentation de la température de surface de $0,68 ^\circ C$.

En revanche, M. Dufresne a tort de nous entraîner au sommet de l'atmosphère pour justifier une valeur de $1,2 ^\circ C$ pour l'augmentation de température résultant d'un doublement du CO_2 . Car, pour un doublement du CO_2 , la valeur de $1,2 ^\circ C$ est clairement précisée comme étant celle de la surface terrestre dans le chapitre 2 du livre blanc "ESCRIME" ... dont il est l'un des rédacteurs³.

C'est d'ailleurs cette température de surface qui nous intéresse. C'est celle que l'humanité doit redouter ou espérer d'un doublement du CO_2 atmosphérique.

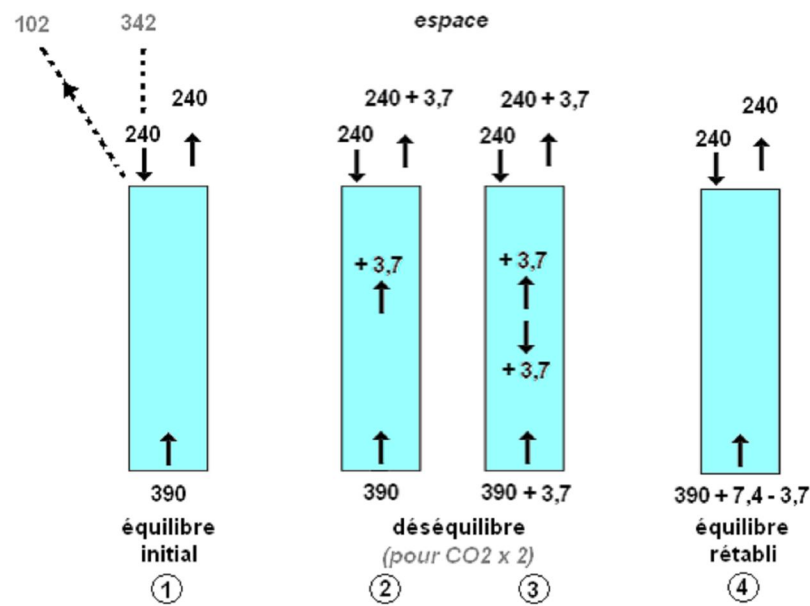
C'est celle dont on nous parle tous les jours dans les journaux télévisés, c'est aussi celle dont nous parle le GIEC, autrement dit c'est celle qui est mesurée à la surface terrestre.

Il n'est donc pas légitime de détourner cette valeur vers le sommet de l'atmosphère même si l'on est gêné par la démonstration donnée dans mon livre que l'augmentation de la température de surface pour un doublement du CO_2 est de $0,68 ^\circ C$ et non de $1,2 ^\circ C$.

³ Le livre blanc "ESCRIME" a été édité en 2007, les rédacteurs du chapitre 2 "sensibilité climatique" sont Sandrine Bony et Jean Louis Dufresne.

Je ne vais pas répéter cette démonstration. Mais je vous invite à considérer quelques instants le schéma suivant.

Ce schéma qui considère une colonne atmosphérique ne prend en compte que l'énergie absorbée et réémise et les nombres indiqués sont des watts par mètre carré. (il rappelle cependant l'énergie totale reçue de notre étoile : 342 W/m² et l'énergie réfléchie ou diffusée : 102 W/m², notamment par les nuages)



Équilibre initial : C'est l'état (1) dans lequel se trouve notre colonne atmosphérique avant doublement du CO₂. Après réflexion et diffusion d'une partie du rayonnement solaire, elle absorbe et transmet vers la surface, 240 W/m². Et, comme on est à l'équilibre, elle émet en retour vers l'espace 240 W/m².

La surface, dont la température est 288 K (15°C) émet 390 W/m² (loi de Stefan-Boltzmann).

La différence entre l'émission de surface (390 W/m²) et celle au sommet de la colonne (240 W/m²) résulte de l'absorption par l'atmosphère.

Déséquilibre : Selon le GIEC (2), un doublement instantané du CO₂, entraînerait un déséquilibre au sommet de l'atmosphère, la température de surface étant, par convention, maintenue inchangée.

La valeur de ce déséquilibre, c'est à dire le forçage conséquent d'un doublement du CO₂ est estimé à 3,7 W par mètre carré. selon les calculs de Myhre et al, qui sont retenus par le GIEC et ne sont pas contestés (pour autant que le CO₂ est considéré seul).

Ce point de vue, répétons-le purement conventionnel, est critiquable pour plusieurs raisons.

- La première est qu'il fait l'hypothèse d'un doublement instantané du CO₂. Or dans le monde réel ce doublement nécessitera une durée de l'ordre du siècle et l'équilibre radiatif de la Terre aura tout le temps de s'ajuster.
- La seconde est que le forçage de 3,7 W/m² vers l'espace ne peut que s'accompagner (colonne 3), même dans l'hypothèse d'un doublement instantané, d'un forçage égal vers la surface, les deux étant **indissociables**. (L'absorption par les molécules absorbantes, telles CO₂, conduit, en effet, à une réémission de l'énergie absorbée dans toutes les directions. Statistiquement, tout revient à ce que la moitié de l'énergie réémise participe au flux infrarouge montant vers l'espace et l'autre moitié au flux infrarouge descendant vers la surface).

Si l'on considère que la température au sommet de l'atmosphère s'en trouvera augmentée, on ne peut que faire le même raisonnement pour la température de surface.

Retour à l'équilibre : Le retour à l'équilibre signifie, qu'après le déséquilibre virtuel instantané pris en considération par le GIEC, notre planète émettra de nouveau vers l'espace une quantité d'énergie égale à celle qu'elle reçoit du soleil, soit 240 W/m² sous forme de rayonnement infrarouge, et 102 W/m² d'énergie réfléchie ou diffusée vers l'espace.

L'absorption qui conduit à la rémission de 3,7 W/m² vers la surface, d'une part et de 3,7 W/m² vers l'espace augmentera de 7,4 W/m² et exigera en conséquence un rayonnement supplémentaire de la surface qui lui soit égal. Mais parallèlement si l'absorption augmente c'est que le rayonnement direct vers l'espace diminue.

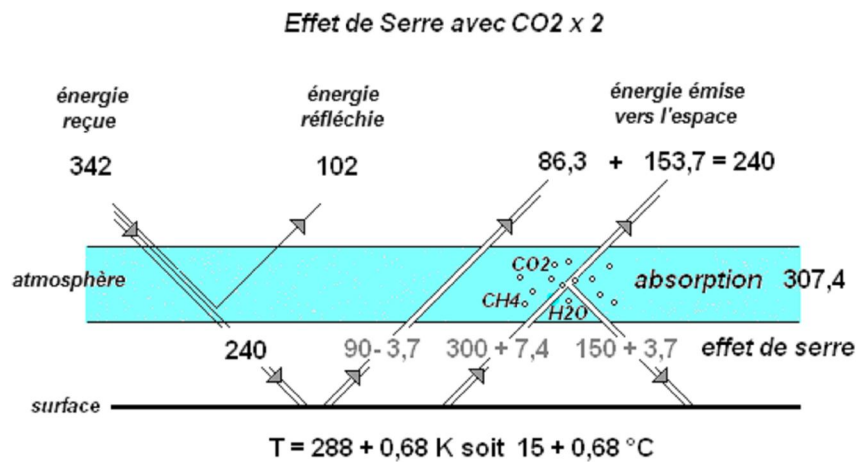
A l'équilibre, la surface terrestre devra donc rayonner $390 + (7,4 - 3,7)$ W/m² soit 397,3 W/m²

La loi de Stefan-Boltzmann nous dit, sans équivoque possible, que sa température devra, pour ce faire, augmenter de 0,68 °C (et non de 1,2°C).

...

2- Non ! l'absorption et la réémission par les molécules de gaz à effet de serre n'échauffent pas l'atmosphère.

J'utilise, dans mon livre, le schéma suivant, un peu différent du précédent :



Qui conduit Monsieur Jean Poitou ⁴ à écrire : « L'atmosphère est traitée comme infiniment mince ... Dans la réalité, le rayonnement émis par l'atmosphère sera réabsorbé, et ce, autant de fois qu'il faudra pour qu'il atteigne une altitude telle que la quantité de CO₂ restant à traverser ne soit plus suffisante pour le réabsorber... »

« C'est pour ces phénomènes successifs d'absorption + réémission qu'interviennent les modes de transferts de chaleur non radiatifs dans la colonne atmosphérique. Ils sont responsables du profil vertical de température. Chaque réabsorption se faisant à plus haute altitude sera dans un milieu plus froid et

⁴ Jean Poitou, météorologue, Secrétaire Général de Sauvons le Climat, www.sauvonsleclimat.org

donc moins émetteur d'infrarouges. Pour reprendre l'image de la vitre, ajouter du CO_2 , c'est ajouter des vitres les unes au dessus des autres. Et, à chaque nouvelle vitre, le rapport (forçage de surface / forçage radiatif au sommet de l'atmosphère) sera multiplié par 2 ».

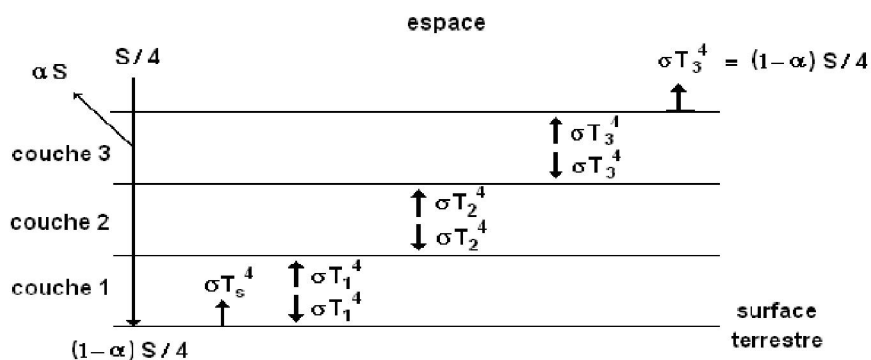
Que la figuration de l'atmosphère, dans le schéma simplifié présenté dans mon livre pour expliquer le phénomène d'effet de serre, soit interprétée comme «infiniment mince » et assimilée à une vitre n'est pas le problème.

Le problème, qui mérite réflexion, est celui du déroulement des processus d'absorption et de réémission.

L'empilement des vitres n'est pas qu'une image. Chaque couche est supposée réémettre le rayonnement absorbé sous forme de chaleur, moitié vers la couche supérieure et moitié vers la couche inférieure.

C'est le raisonnement repris et développé dans de nombreux articles et sites internet. Certes ces articles n'ont pas forcément reçu l'agrément de scientifiques reconnus. Mais ce qui interpelle c'est que ces articles citent d'éminents professeurs comme R.M. Goody et J.C. Walker, auteurs du livre « Atmospheres »⁵ qui semblent à l'origine du raisonnement.

Leur exposé est logique et d'une grande clarté et peut aisément être repris par tout un chacun en considérant le schéma ci-dessous :



La couche 3, dont la température est T_3 , émet vers l'espace σT_3^4 et la même énergie vers la couche 2. Comme l'énergie émise ne peut

⁵ Atmospheres. R. M. Goody (Harvard University) and J. C. G. Walker (Yale University) : Foundations of Earth Science Series. Englewood Cliffs, New Jersey (Prentice-Hall) 1972.

qu'être égale à l'énergie solaire absorbée par le système surface-atmosphère, on a évidemment $\sigma T_3^4 = (1 - \alpha) S / 4 = \sigma T_s^4$.

On peut constater, par ailleurs, que l'équilibre thermique de la couche 3 est : $\sigma T_2^4 = 2\sigma T_3^4$,

que celui de la couche 2 est : $\sigma T_3^4 + \sigma T_1^4 = 2\sigma T_2^4$

et que celui de la couche 1 est : $\sigma T_s^4 + \sigma T_2^4 = 2\sigma T_1^4$.

On déduit aisément que $\sigma T_s^4 = (3+1)\sigma T_3^4 = (3+1)[(1 - \alpha) S / 4]$

Et, en généralisant pour n couches, que $\sigma T_s^4 = (n+1)[(1 - \alpha) S / 4]$

En considérant 5 couches, R.M. Goody et J.C. Walker parviennent à la même conclusion :

« Finalement, considérons ce qu'il advient à la surface de la planète. L'énergie absorbée est σT_e^4 , provenant du soleil, plus σT_5^4 ($= 5\sigma T_e^4$) provenant de l'atmosphère. L'énergie dissipée par la surface est σT_g^4 où T_g est la température de la surface. Ainsi (après simplification par suppression de σ) :

$$T_g^4 = (n+1) T_e^4 = 6 T_e^4$$

D'autres ⁶, sans crainte de l'in vraisemblance, concluent que la température de surface est une « fonction croissante du nombre de couches » et annoncent plusieurs centaines de degrés à l'approche de vingt couches.

L'ennui est que ce raisonnement conduit à faire dépendre la température de surface du **choix discrétionnaire** d'un plus ou moins grand nombre de couches divisant l'atmosphère.

Comment ne pas s'étonner que R.M. Goody et J.C. Walker, dont le livre est par ailleurs bien documenté n'aient pas relevé cette erreur.

Comment ne pas s'étonner que des scientifiques de qualité continuent d'appliquer un raisonnement conduisant à considérer que les couches atmosphériques peuvent échanger de l'énergie sous forme de chaleur, en raison du rayonnement infrarouge de la surface, alors que ce raisonnement est totalement discrédité par sa conclusion absurde.

⁶ Par exemple www.climat-evolution.com

Vous me direz qu'il n'est pas suffisant de s'étonner des étranges conclusions auxquelles conduit le raisonnement décrit plus haut, et qu'il faut nous interroger sur les raisons de ce dérapage.

Il apparaît que l'hypothèse implicite à mettre en cause est celle d'un échauffement des couches atmosphériques en conséquence de l'absorption du rayonnement infrarouge émis par la surface.

Or, cette absorption ne convertit pas le rayonnement infrarouge en chaleur.

Elle se traduit par l'absorption de photons de longueur d'onde et d'énergie bien déterminées par des molécules absorbantes parce qu'elles possèdent une énergie de rotation et de vibration (ce qui exclut les molécules d'azote et d'oxygène), en les portant dans un état dit "excité". Cet état "excité" augmente leur énergie de rotation-vibration sans affecter leur énergie de translation, donc leur vitesse, donc la température du milieu.

De plus, cette absorption sera généralement suivie, spontanément, d'un retour de la molécule à l'état normal par émission d'un photon de même longueur d'onde que le photon absorbé, l'ensemble des deux processus conduisant évidemment à un bilan énergétique nul.

Bien sûr, objecterez-vous peut-être, mais la désexcitation peut aussi résulter d'une collision avec d'autres molécules notamment avec les molécules d'azote, les plus nombreuses. Dans ce cas, l'énergie de rotation-vibration supplémentaire de la molécule excitée sera cédée à la molécule d'azote, nécessairement par augmentation de son énergie de translation, donc de sa vitesse et affectera la température du milieu.

Exact, mais l'état excité peut aussi résulter d'une collision. Par exemple celle d'une molécule d'azote rapide avec une molécule de CO_2 à l'état normal. La collision pourra être élastique, comme dans le cas des boules de billard, mais elle pourra aussi porter la molécule de CO_2 dans un état excité par transfert d'une partie de l'énergie cinétique de translation de la molécule d'azote et augmentation de l'énergie de rotation-vibration de la molécule de CO_2 "collisionnée".

La question est alors de savoir si l'un des processus "excitation par collision" ou "désexcitation par collision" l'emportera statistiquement sur l'autre. La réponse nous est donnée par le principe d'équipartition de l'énergie : aucun.

L'erreur de Goody et Walker résulte, sans doute, de la confusion entre les différentes formes d'énergie. Plus précisément entre l'énergie de translation des molécules (la température) et l'énergie de vibration-rotation.

Seule, la surface terrestre qui est un **solide** absorbe du rayonnement (solaire et infrarouge réémis par les molécules absorbantes de l'atmosphère) pour élever sa température et émettre, à son tour, du rayonnement infrarouge. L'absorption par l'atmosphère **gazeuse** est de nature différente.

Les photons "infrarouges" y sont absorbés par les molécules possédant une énergie de rotation-vibration puis réémis, toujours sous forme de photons "infrarouges".

Pour une composition donnée de l'atmosphère, on aboutit à un "état stationnaire" pour chaque couche. Cet état se traduit par l'existence, dans un volume ou une couche donnés, d'un nombre déterminé de molécules excitées, en renouvellement permanent.

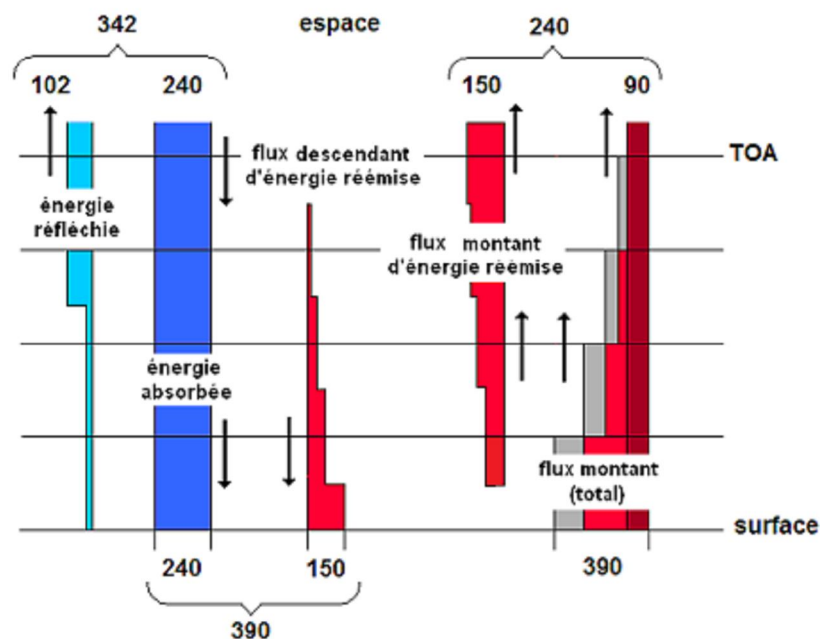
Ce nombre ne sera pas quelconque, il sera fixé par la loi de distribution de Boltzmann qui détermine une population de molécules excitées par rapport à la population totale. Si des molécules supplémentaires deviennent excitées, il faudra bien que, dans le même temps, un nombre égal de molécules se désexcitent.

C'est ce renouvellement permanent qui explique le processus d'absorption-réémission. A chaque instant des molécules, de CO_2 , par exemple, absorbent des photons infrarouges émis par la surface et passent à l'état excité en augmentant leur énergie de rotation-vibration tandis que d'autres réémettent, spontanément ou lors d'une collision, des photons IR dans une direction quelconque.

Statistiquement, tout reviendra à ce que la moitié des photons émis participent au flux infrarouge montant et la moitié au flux infrarouge descendant. Il en ira de même pour les photons émis par la surface dont chaque élément émet bien dans toutes les directions au-dessus de la surface, mais dont la résultante est un flux montant vertical.

A noter que si la colonne ne contient pas de molécules absorbantes, tout le flux montant sera évacué vers l'espace. Mais, si les couches successives contiennent des molécules capables d'absorber les photons "infrarouges", ces couches vont absorber, de manière additive, une part du flux infrarouge montant, en en retournant la moitié vers la surface, émettrice primaire.

Finalement, le rayonnement IR s'échappant vers l'espace sera constitué de la part non absorbée par les couches successives et de la moitié de la part absorbée et réémise. C'est ce que montre le schéma ci-dessous :



- Les nombres figurant sur le schéma sont des watts par mètre carré.
- Ces nombres sont les valeurs couramment admises.
- Les absorptions sont en grisé (elles décroissent avec l'altitude, notamment en raison de l'absorption par H₂O, plus abondante dans les basses couches).
- Les réémissions sont représentées avec leur origine au plan médian de la couche.
- Les flèches indiquent la direction des flux (montants et descendants).

Le nombre de couches pris en compte, soit quatre, est indicatif et pourrait être remplacé par un nombre quelconque. Il est sans importance, contrairement à celui qui est retenu dans les raisonnements faisant intervenir un empilement de vitres et/ou des échanges de chaleur entre couches.

Le flux émis par la surface, soit 390 W/m² est celui qui correspond à une température de la surface de 15°C ou 288 K. Il décroît après la traversée de chaque couche car une partie est absorbée et la moitié seulement de l'énergie absorbée rejoint le flux montant. Au TOA (Top Of Atmosphere), l'absorption cumulée des couches successives (soit 300 W/m²) ne laisse échapper vers l'espace que 90 W/m². Ce flux **émis directement** de la surface vers l'espace est complété par le flux montant **réémis après absorption**, soit 150 W/m².

il convient donc de nous méfier des raisonnements qui invoquent "l'émissivité" de l'atmosphère ainsi que de ceux qui parlent de réémission d'un rayonnement de celle-ci.

La seule propriété à prendre en considération est celle de la transmittance de l'atmosphère directement liée à son absorption. (rappelons que la transmittance est le rapport entre l'énergie évacuée vers l'espace au sommet d'une colonne atmosphérique et l'énergie émise, par la surface à la base de cette colonne atmosphérique).

...

En conclusion, il ressort de tout ceci que l'augmentation de la température de la surface résultant d'un doublement du CO_2 est bien de $0,68\text{ °C}$ (en retenant un forçage de $3,7\text{ W/m}^2$, selon Myhre et al) et non de $1,2\text{ °C}$ comme le prétendent les défenseurs de la thèse du GIEC.

Encore que cette valeur de $3,7\text{ W/m}^2$ soit déterminée pour le CO_2 considéré seul, alors qu'il est toujours dans l'atmosphère en présence d'eau. Eau qui dans certaines bandes d'absorption par le CO_2 est également absorbante. Il en résulte qu'en présence d'eau la valeur de $3,7\text{ W/m}^2$ est très certainement une valeur par excès, comme je le rappelle dans mon livre.

Que l'augmentation de température consécutive d'un doublement du CO_2 atmosphérique soit inférieure à $0,68\text{ °C}$ et non de $1,2\text{ °C}$ n'est pas sans importance. Car cette valeur de $1,2\text{ °C}$ est celle qui conduit à la sensibilité climatique de 3 °C retenue, en moyenne, par les différents modèles et, en conséquence à leurs estimations d'augmentations de température.

Augmentations qui pourraient effrayer, si elles n'étaient pas virtuelles et exagérées, comme nous venons de le voir, par des hypothèses mal fondées.