

## **"Effet de serre" et données expérimentales, en bref.**

Le système "Terre-atmosphère" est constitué d'une couche de gaz limitée par la surface de la Terre (océans et continents) et, dans sa partie haute, par la gravité. Ce qui crée un gradient vertical de pression et de température entre la surface et la tropopause <sup>1</sup>.

La totalité de l'énergie que reçoit ce système provient du rayonnement solaire. (*La chaleur interne, due pour l'essentiel à la radioactivité, représente moins du millième de l'énergie solaire reçue*).

L'énergie solaire est très inégalement répartie et il faut d'intenses courants de convection pour transférer vers les pôles une partie de la chaleur reçue par la zone intertropicale.

Des données expérimentales, fournies par les radiomètres et les spectromètres embarqués à bord des satellites, nous permettent de savoir:

- Que le rayonnement solaire au voisinage de la Terre est  $1360,8 \pm 0,5 \text{ W/m}^2$  selon les mesures les plus récentes de SORBE, (soit environ 340 W par m<sup>2</sup> de surface terrestre ).
- Que le système Terre-atmosphère émet un rayonnement de grandes longueurs d'ondes dans la gamme du spectre solaire et un rayonnement infrarouge. Selon les mesures de CERES le rayonnement de courtes longueurs d'onde (rayonnement solaire diffusé par les molécules et les particules en suspension ou réfléchi par la surface des nuages et celle du sol) est d'environ 100 W/m<sup>2</sup> en moyenne et le rayonnement infrarouge est de 239,7 W/m<sup>2</sup> (soit environ 240 W/m<sup>2</sup>).
- Que la température moyenne des basses couches de l'atmosphère et du sol est voisine de 288 °K (15°C), selon les mesures satellitaires.

Certaines de ces mesures, notamment celles des températures, sont confirmées par des mesures au sol.

Nous pouvons donc constater, expérimentalement, que la température de 288°K de la surface terrestre est une température d'équilibre, le système Terre-atmosphère recevant de son étoile 340 W/m<sup>2</sup> et renvoyant vers l'espace un rayonnement de courtes longueurs d'ondes de 100 W/m<sup>2</sup> et un rayonnement infrarouge de 240 W/m<sup>2</sup> soit, au total 340 W/m<sup>2</sup>.

Nous pouvons également constater, expérimentalement, que les spectrophotomètres font état, pour le rayonnement infrarouge sortant, d'une absorption dans les longueurs d'onde correspondant à l'absorption des molécules d'eau :

---

<sup>1</sup> J'évite dans ce qui suit de parler de la stratosphère, concernée essentiellement par le rayonnement ultraviolet.

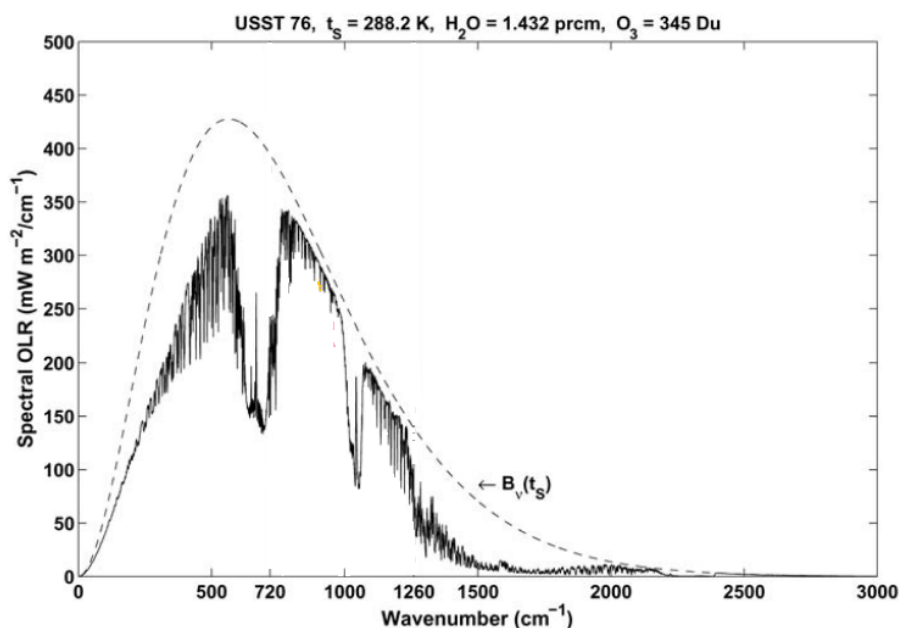
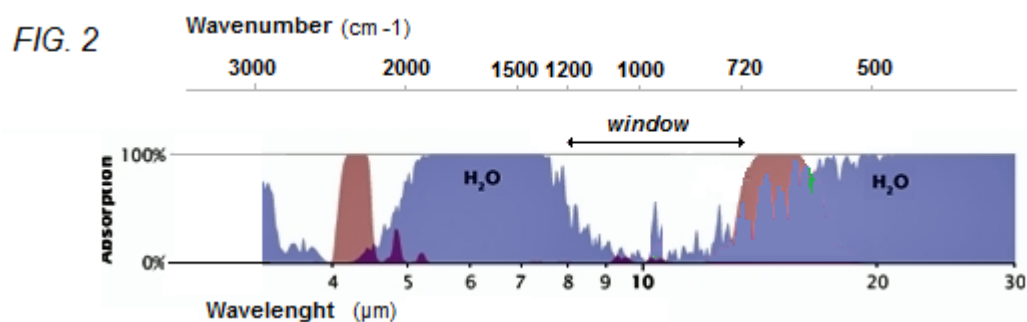


Fig. 1. Spectral OLR and  $S_V = B_V(t_S)$ , computed for the USST 76 atmosphere.

Sur la figure 1 ci-dessus <sup>2</sup>, la ligne tiretée correspond à l'émission théorique d'un corps à la température moyenne du sol terrestre. Dans la réalité, les spectromètres voient la courbe en trait plein. La différence est, pour l'essentiel, la conséquence de l'absorption par l'eau atmosphérique.

C'est ce que nous montrent, plus directement, les résultats des spectromètres traduits en absorption ou en son inverse, la transmittance :

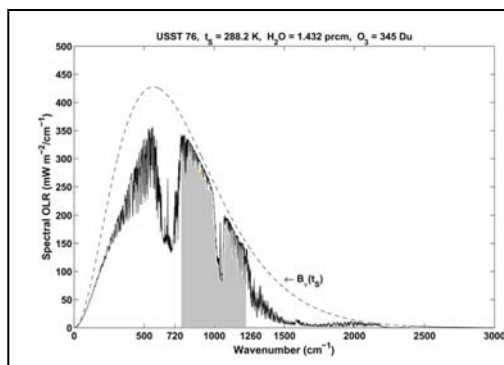


Le graphe ci-dessus donne l'absorption en fonction de la longueur d'onde <sup>3</sup> (*attention l'échelle des abscisses a le sens inverse de la figure précédente et elle est logarithmique*)

On y voit, en bleu, l'importance de l'absorption par l'eau et l'existence entre 8.5 et 12,5  $\mu\text{m}$  d'une fenêtre de transparence par laquelle les photons infrarouge, associés à ces longueurs d'onde, s'échappent, avec peu d'absorption, directement vers l'espace.

<sup>2</sup> The greenhouse effect and the spectral decomposition of the clear-sky terrestrial radiation, Ferenc M. Miskolczi and Martin G. Mlynczak, 2004.

<sup>3</sup> <http://www.eoearth.org/view/article/152458/>



*L'estimation de la puissance ainsi dissipée vers l'espace, à partir des données spectrométriques (figure ci-contre, surface grisée), est comprise entre 15 à 20 % de la puissance émise, soit environ 58 à 78 W/m<sup>2</sup>. Certains auteurs retiennent 40 W/M<sup>2</sup>, un autre limite cette valeur à 20 W/m<sup>2</sup>. L'analyse millimétrique du spectre représenté fig.1 aboutit pourtant à une valeur minimale de 60 W/m<sup>2</sup> que je retiens.*

Une Terre sans eau, autrement dit : sans océans, sans banquises, sans étendues neigeuses, sans nuages et sans couverture végétale, n'aurait plus le même albedo et ressemblerait furieusement à Mars, même si le maintien de son atmosphère contribuerait toujours à une certaine diffusion et réflexion du rayonnement solaire.

L'albedo de Mars est de l'ordre de 0,15. (Celui de la planète bleue est voisin de 0,3). Sans eau, avec l'albedo de Mars et en gardant son atmosphère, notre planète aurait une température moyenne inférieure à 0°C. <sup>4</sup>

Comment la présence d'eau peut-elle expliquer la température plus clémente que nous connaissons ?

Comme nous le montrent les mesures effectuées par les pyrromètres et les pyrromètres différentiels, en présence d'eau atmosphérique la surface de notre planète reçoit une énergie supplémentaire : Par ciel clair (peu d'eau atmosphérique) le flux infrarouge net (Flux montant – flux descendant) est compris entre 90 et 130 W/m<sup>2</sup> et, par ciel couvert, lorsque l'atmosphère contient plus d'eau, ce flux net se réduit, entre 0 et 20 W/m<sup>2</sup>. <sup>5</sup>

Il existe donc un flux infrarouge, descendant vers le sol, que l'on peut mesurer et dont l'intensité est liée à la quantité d'eau contenue dans une colonne atmosphérique. Ce flux infrarouge supplémentaire doit nécessairement être réémis par la surface pour maintenir l'équilibre. En conséquence, la surface doit augmenter sa température.

C'est ce rayonnement supplémentaire reçu par le sol, que l'on appelle, par une analogie abusive, "effet de serre".

<sup>4</sup> L'albedo de Mars est de 0,15, mais en tenant de la diffusion par l'atmosphère (quasiment inexistante sur Mars) il nous faudrait retenir un albedo de 0,2. Le rayonnement solaire parvenant au sol serait alors de  $340 \times (1-0,2) = 272$  W/m<sup>2</sup> et la température correspondante, calculée en appliquant la loi de Stefan serait de 263°K ou -10°C.

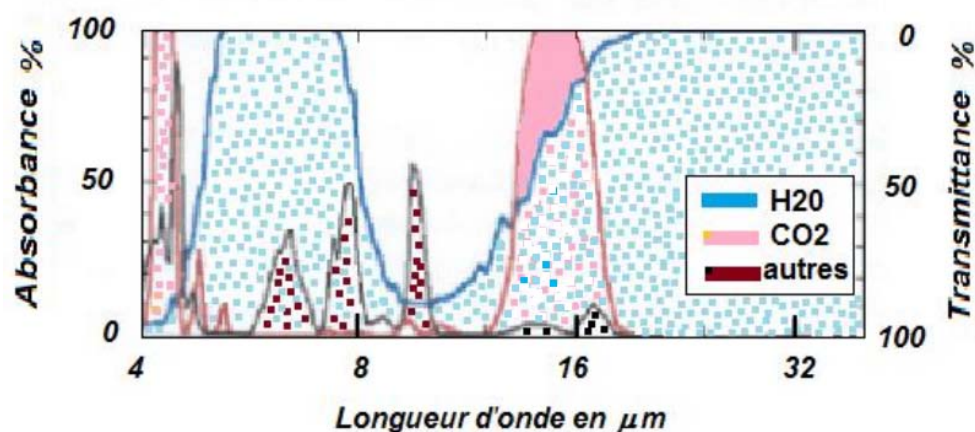
Certains diront que notre planète continuerait d'être sphérique et d'avoir un axe d'orientation incliné sur l'écliptique. La répartition des températures, sans le moteur équatorial d'ascendance de l'air humide, ne serait pas homologue de celle que nous connaissons. La répartition des radiances et leur valeur moyenne pourraient conduire à une température différente avec un écart pouvant atteindre 10°C. C'est pourquoi je retiens, pour éviter toute critique, la valeur de 0°C.

<sup>5</sup> Mesures effectuées au sol, en Espagne et en Suisse.

Que voient les radiomètres embarqués sur des satellites : ils voient la partie sortante du rayonnement infrarouge émis par le sol et par l'atmosphère, l'autre partie étant, comme nous venons de le voir, émise par l'atmosphère vers la surface terrestre. <sup>6</sup>

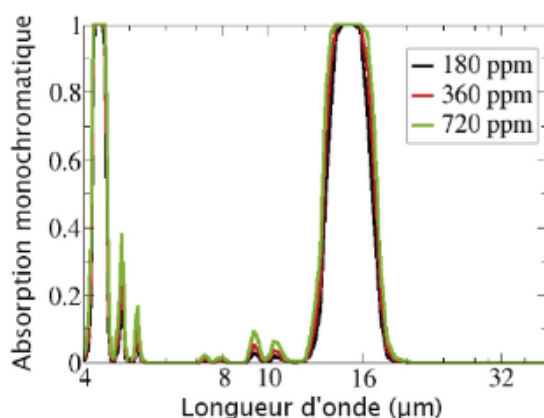
Très bien, me direz-vous, mais je croyais que "l'effet de serre" était redevable au CO<sub>2</sub> atmosphérique et, particulièrement, au CO<sub>2</sub> que notre utilisation des combustibles fossiles envoie dans l'atmosphère.

"L'effet de serre" est dû pour l'essentiel à l'eau. Pour nous en convaincre faisons de nouveau appel à la spectrométrie en nous focalisant sur la gamme de longueurs d'onde comprise entre 4 et 30  $\mu\text{m}$  qui correspond à la plus grande part de l'énergie émise et qui intègre la principale bande d'absorption du CO<sub>2</sub>, centrée sur la longueur d'onde de 15  $\mu\text{m}$  :



On y voit la prépondérance de l'absorption par H<sub>2</sub>O (en bleu) <sup>7</sup> qui masque en grande partie la bande d'absorption du CO<sub>2</sub> centrée sur 15  $\mu\text{m}$ .

Il faut ajouter que l'élargissement de cette bande en fonction de la concentration est quasi nulle au niveau de concentration atteint actuellement :



*L'élargissement de la bande spectrale d'absorption (si ce gaz était le seul absorbant) pour un doublement de la concentration de 360 ppm (proche de la valeur actuelle) est extrêmement faible.*

<sup>6</sup> Je m'abstiens de parler de "couches atmosphériques" pour que soit évitée la tentation de privilégier telle ou telle couche atmosphérique, ce qui serait physiquement injustifié. La surface et la totalité de la troposphère, participent au rayonnement sortant, en fonction de la température locale en ajoutant, pour la troposphère, le nombre local de molécules absorbante, lié à la pression et à la diffusion.

<sup>7</sup> Ce spectre et le suivant sont extraits de l'article de J.L Dufresne et J. Treiner : l'effet de serre atmosphérique plus subtil qu'on ne le croit, [http://www.udppc.asso.fr/bupdoc/consultation/article-bup.php?ID\\_fiche=21046](http://www.udppc.asso.fr/bupdoc/consultation/article-bup.php?ID_fiche=21046)

Enfin l'expérience "grandeur nature" montre que, malgré une augmentation sensible du CO<sub>2</sub> depuis la fin du 20<sup>ème</sup> siècle, la température est restée inchangée (<http://andreleg.fr> 2014). Le GIEC a beau soutenir que les prévisions des "modèles" qui annoncent une montée de la température consécutive de l'augmentation du CO<sub>2</sub> sont crédibles. Vous préférerez sans doute, comme moi, vous référer à la **réalité** des mesures physiques.

Les modèles climatiques retenus par le GIEC ont pour base une sensibilité climatique redevable, pour 60%, à une augmentation de l'eau atmosphérique, consécutive de l'augmentation de température qui serait causée par un accroissement de la concentration en CO<sub>2</sub> atmosphérique. Bien que cette hypothèse soit plus que problématique <sup>8</sup>, le GIEC ne saurait mieux souligner la prépondérance de l'absorption par l'eau.

Cette absorption par les molécules d'eau se traduit par une augmentation de leur énergie de vibration-rotation. L'absorption ne concerne que des longueurs d'onde bien déterminées pour lesquelles l'énergie du photon associé correspond exactement aux possibilités d'augmentation quantique de l'énergie vibrationnelle des molécules d'eau. Cela porte les molécules d'eau dans un état dit «excité».

Cet état excité a une faible durée de vie, de l'ordre de  $1.10^{-8}$  à  $1.10^{-9}$  seconde. <sup>9</sup>

La désexcitation spontanée, ou provoquée par une collision, entraîne l'émission d'un photon (de même énergie et de même longueur d'onde que le photon absorbé) dans une direction aléatoire, photon qui sera absorbé et réémis un grand nombre de fois avant que la possibilité de s'échapper par la limite supérieure ou inférieure de l'atmosphère se présente.

Une partie des photons s'échappera, en conséquence, vers l'espace, tandis que l'autre partie contribuera au flux infrarouge descendant mesuré par les pyrgéomètres.

Cette idée est contestée par ceux qui pensent que la désexcitation par collisions moléculaires (notamment avec les molécules d'azote majoritaires) l'emporte sur la désexcitation spontanée (rappel de la durée de vie d'une molécule excitée :  $1.10^{-8}$  à  $1.10^{-9}$  seconde). La probabilité d'une collision entre molécules est à la pression normale de  $1.10^9$  à  $1.10^{10}$  par seconde. Cette probabilité diminue évidemment pour les molécules d'eau en raison de leur relativement faible concentration, elle diminue aussi avec l'altitude. Il n'est donc nullement évident que les collisions l'emportent, même si les collisions interviennent.

Par ailleurs, la thermalisation ne peut être le terme du phénomène. La vitesse de translation des molécules ne peut augmenter indéfiniment. Il faudra donc prendre en compte l'effet inverse ou tout autre phénomène se traduisant par une émission de photons ayant, par définition, la même énergie que les photons initiaux.

---

<sup>8</sup> La formation de nuages liée à l'augmentation de l'eau atmosphérique augmente la réflexion du rayonnement solaire. Ce phénomène antagoniste fait que le signe positif ou négatif de l'effet global sur la température est indéterminé.

<sup>9</sup> Cette durée de vie est régie par les coefficients d'Einstein qui donnent la probabilité pour que l'absorption ou une désexcitation spontanée se produisent par unité de temps. Par ailleurs la distribution des atomes excités ou à l'état normal n'est pas quelconque, mais régie par la loi de distribution de Maxwell- Boltzmann. Il en résulte qu'à tout moment des molécules à l'état normal sont disponibles pour une absorption.

Quoi qu'il en soit, les radiomètres constatent et mesurent un flux infrarouge sortant vers l'espace et les pyr géomètres constatent et mesurent un flux infrarouge descendant vers le sol.

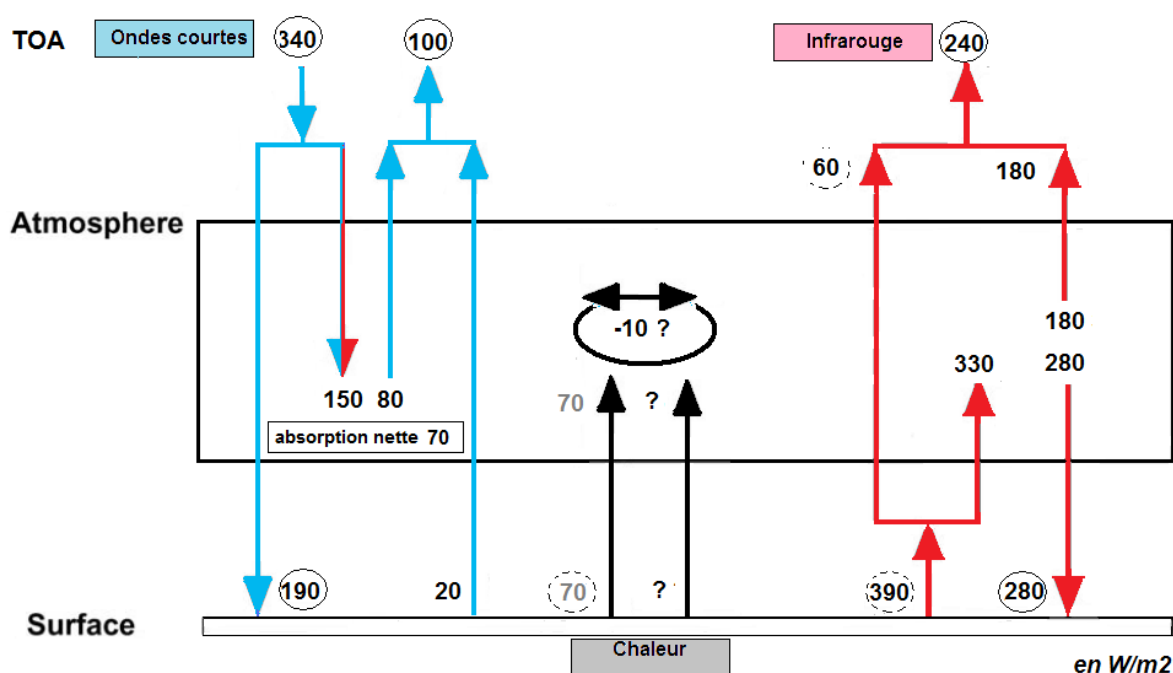
Les valeurs moyennes expérimentales pour l'ensemble du globe sont toutefois difficiles à établir car les mesures dépendent de la localisation, des saisons, de la couverture nuageuse, de la concentration en H<sub>2</sub>O, de l'heure ... et les stations de mesures au sol sont insuffisamment nombreuses pour confirmer sans discussion possible les moyennes des mesures satellitaires. En témoignent les très nombreux articles que l'on trouve sur ce sujet dans les revues à examen.

C'est pourquoi il est difficile d'établir le bilan énergétique détaillé de notre planète.

Certains ajouteront, avec pertinence, qu'il faut également tenir compte de la chaleur latente libérée dans l'atmosphère par la condensation de la vapeur d'eau. L'entretien du cycle de l'eau demande effectivement une énergie très importante.

Selon J.P. Chalon <sup>10</sup> l'évaporation annuelle atteint 430.10<sup>3</sup> km<sup>3</sup> d'eau, ce qui correspond à 36 renouvellements annuels du stock atmosphérique et demande une énergie considérable, supérieure à 30 petawatts ou, si l'on préfère, 66 watts par m<sup>2</sup> <sup>11</sup>:

En retenant ce dernier chiffre, et ceux qui ont été cités dans ce qui précède, il est possible de **tenter** d'établir un bilan thermique et radiatif simplifié de la planète :



<sup>10</sup> Directeur de l'Ecole Nationale de Météorologie, auteur de « Combien pèse un nuage ? » EDP sciences 2002.

<sup>11</sup> L'évaporation de 430.103 km<sup>3</sup> d'eau correspond à :

$430.10^3 \cdot 10^{15} / (365 \times 24 \times 3600) \approx 0,0136 \cdot 10^{15}$  grammes par seconde  $\approx 136 \cdot 10^{11}$ /g/s

et nécessite :  $136 \cdot 10^{11} \times 2,44 \cdot 10^3$  joules par seconde  $\approx 332 \cdot 10^{14}$  joules par seconde.

Soit, par m<sup>2</sup> terrestre, une puissance de  $332 \cdot 10^{14} / 510 \cdot 10^{12} = 66$  watts.

Sur ce bilan, équilibré au niveau du TOA, de l'atmosphère et de la surface, les valeurs cerclées en traits pleins sont des valeurs mesurées (*dont il faut se rappeler que ce sont des valeurs moyennes difficiles à obtenir, donc approchées comportant une marge d'erreur importante pouvant atteindre  $\pm 10 \text{ W/m}^2$ , voire pour certaines  $\pm 20 \text{ W/m}^2$* ) et les valeurs cerclées en tireté sont des valeurs calculées. Les valeurs non cerclées sont déduites ou estimées.

Les flux de courtes longueurs d'onde sont figurés en bleu, les flux infrarouge sont figurés en rouge et les échanges thermiques et cinétiques, internes au système "Terre-atmosphère" sont en noirs.

Si la partie radiative ne demande pas de commentaires particuliers par rapport à ce qui a été dit précédemment, la partie thermique appelle les remarques suivantes :

- Le flux de chaleur convectif vertical de  $18 \text{ W/m}^2$ , que l'on retrouve le plus souvent sur des bilans comparables est mal établi. Si des parcelles d'air chaud montent du sol dans l'atmosphère, il faut qu'elles soient remplacées et ce sera par des parcelles d'air froid. Je me suis donc limité à un point d'interrogation.
- La plus grande évaporation se produit dans la zone intertropicale et une partie importante de l'excès d'insolation que cette zone reçoit est transporté vers de plus hautes latitudes par de puissants courants convectifs (cellule de Hadley etc.). Le moteur de ce mouvement convectif est constitué par les cumulus-tours saturés de vapeur d'eau (la précipitation de cette dernière est souvent réévaporée avant de parvenir au sol) qui s'élèvent jusqu'à la tropopause et la repousse. Il serait logique de déduire de la chaleur latente, prélevée à la surface et libérée par la condensation : l'énergie nécessaire pour alimenter ce transport et pour entretenir les phénomènes de transports moins importants (cyclones etc.)<sup>12</sup>. Autrement dit, il faudrait prendre en compte la totalité des échanges internes au système Terre-atmosphère qui ne sont pas tous radiatifs, bien que ces derniers restent dominants. En gardant présent à l'esprit que **l'unique** source d'énergie est le rayonnement solaire.

### Ce que l'on peut retenir :

- La totalité de l'énergie dont nous disposons sur Terre provient du **rayonnement** solaire.
- Une Terre sans eau serait une planète désolée et **plus froide**.
- Les molécules d'eau absorbent et émettent. Le rayonnement infrarouge absorbé conduit à une émission, partie vers l'espace, partie vers le sol.

---

<sup>12</sup> dont la puissance a été estimée à 5 à 8 petawatts. J'adopte 5 petawatts, soit  $10 \text{ W/m}^2$ , avec un point d'interrogation.

- Cette dernière partie contraint la surface terrestre à élever sa température, par rapport à une Terre sans eau. (c'est ce qu'il est convenu d'appeler : "*Effet de serre*").
- Le CO<sub>2</sub> n'intervient que très faiblement et le doublement de sa concentration actuelle aurait un effet négligeable <sup>13</sup>. Il ne peut donc être la cause d'un réchauffement climatique, encore moins d'un réchauffement climatique à venir. Certains scientifiques primitivement convaincus d'un réchauffement climatique dont l'homme serait responsable révisent d'ailleurs leur position, sans toujours oser le déclarer ouvertement. Jean Jouzel, Vice Président du groupe d'expert du GIEC, nous a annoncé durant des années qu'il fallait craindre pour la fin du 21ème siècle une augmentation de 6 °C, voire plus. Il vient de déclarer le 25 août 2015, sur France Info, que "*la Terre se réchauffait d'un centième de degré par an*" (soit un **hypothétique** réchauffement de 0,85 °C d'ici la fin du siècle) ...

---

<sup>13</sup> Le GIEC n'accuse d'ailleurs que le CO<sub>2</sub> anthropique qui, pourtant, ne représente que 4 % des émissions annuelles vers l'atmosphère, constituées, pour l'essentiel, par le dégazage des océans, la respiration et la décomposition bactérienne. (*L'homme est-il responsable du réchauffement climatique, page 192*)