

Ce que nous ne savons pas à propos du flux énergétique

Publié le 6 janvier 2012 par [Anthony Watts](#)

A. Watts : Roger Tattersall (alias Tallbloke) a [écrit sur son blog](#) un commentaire publié chez WUWT. Malheureusement WUWT reçoit chaque jour tant de commentaires que je ne peux pas tout lire (merci aux modérateurs pour leur aide). Comme il a transformé le commentaire du Dr. Robert Brown en un billet, il me semble juste de faire de même. [NdT : [Robert G. Brown](#) est « *lecturer* » soit approximativement maître de conférences à l'université Duke, en physique théorique de la matière condensée, physique atomique, moléculaire et optique]

R. Tattersal : *J'ai vu [ce commentaire sur WUWT](#). Il m'a tellement impressionné que j'en fais un billet distinct ici. Le Dr Brown (physicien à l'université Duke) cite un autre intervenant et ensuite nous donne à tous une leçon savante. Si [Nikolov et Zeller](#) pensent qu'il leur faut prendre en compte les critiques parues dans WUWT sur la façon dont ils gèrent de façon sérieuse la distribution de la chaleur entre le jour et la nuit sur Terre, il leur faudra probablement étudier ce billet attentivement. C'est aussi très pertinent vis-à-vis des raisons pour lesquelles Hans Jelbring a utilisé un modèle simplifié pour son article, s'il vous plaît regardez la nouvelle PRÉFACE ajoutée à son [message](#) pour d'autres éclaircissements.*

wayne, le 31 [décembre 2011 à 5:27 pm](#)

Je ne peux pas parler à votre place, je m'en tiendrai à la mienne pour calculer correctement la « température moyenne effective radiative » d'un corps gris sans masse comme un radiateur parfait. Rappelez-vous, il n'y a pas de température réelle dans un tel exemple car il n'y a pas de masse. Il faut une masse pour définir la température (mais la plupart des climatologues n'ont aucun problème avec ça et donc ils ont tous faux, désolé)

Robert Brown : J'ajoute que j'aime et approuve cette déclaration, sans nécessairement endosser les résultats du calcul (pour cela il me faudra regarder le code et les résultats ☺). Pour le moment pensons simplement aux grandeurs. Il y a plusieurs équations en cause ici:

$$P = (4 \cdot \pi \cdot R^2) \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

est la puissance totale rayonnée par une sphère de rayon R à une température uniforme T .

σ est la constante de Stefan-Boltzmann et peut être ignorée pour le moment dans une discussion pour dégrossir.

ϵ décrit l'émissivité du corps, c'est une constante de l'ordre de l'unité (un pour un corps noir, moins pour un corps « gris », plus précisément, c'est tout de même une fonction d'onde et pas une constante). Encore une fois, dans la suite nous ignorerons ϵ .

Maintenant, supposons que la température n'est pas uniforme. Pour simplifier la chose, prenons pour modèle une sphère dont la température a un « côté chaud » à $T + dT$ uniforme et un « côté froid » à $T - dT$ uniforme. Une moitié de la sphère est chaude, une moitié est froide. Notez bien que la température moyenne spatiale est toujours T . La puissance rayonnée devient alors :

$$P' = (4\pi R^2) \epsilon \sigma (0.5(T + dT)^4 + 0.5(T - dT)^4)$$

Nous nous intéressons aux grandeurs et non aux valeurs. Pour cela:

a) nous faisons un développement binomial de P' au second ordre car les termes du premier ordre en dT s'annulent et

b) nous formons le rapport $P'/P = 1 + 6 (dT/T)^2$

Faisons alors une observation et une estimation.

L'observation : P' est strictement plus grand que P . Une sphère où la température est distribuée de façon non uniforme irradie strictement plus ou plus vite l'énergie qu'une sphère homogène de même rayon et de même température moyenne. C'est très compréhensible car la quatrième puissance côté chaud monte beaucoup plus vite que ne descend la quatrième puissance du côté froid.

L'estimation : dT/T est voisin de 0,03 pour la Terre, ce n'est pas beaucoup. C'est une estimation avec $T = 300K$ et dT environ 10K.

$(0.03)^2 = 0,0009$ soit $\sim 0,001$ de sorte que $6 \cdot (0,03)^2 = \sim 0,006$. Ce sera bien sur beaucoup plus grand si vous utilisez pour dT la latitude au lieu de l'alternance jour/nuit. On devrait vraiment utiliser les deux et intégrer la distribution de la température réelle mais ce serait beaucoup plus de travail. Ici, nous essayons simplement d'avoir une idée de la variation des choses, sans donner un résultat calculé précis. La chaleur [NdT : c'est plutôt l'énergie] incidente doit être rayonnée pour que la Terre soit en équilibre, donc P' doit être égal à $S/4$. Je ne m'intéresse pas au modèle, seulement à l'ampleur du ratio. $1375 \cdot 0,006 = 8,25 \text{ W/m}^2$, divisé par quatre indique que le fait que la température de la terre n'est pas uniforme augmente l'émission de la chaleur d'environ 2 W/m^2 .

Ce n'est pas négligeable dans cette affaire. C'est encore moins négligeable lorsqu'on considère la différence non pas entre le jour et la nuit, mais entre les températures moyennes des latitudes équatoriales et polaires ! Là, dT est plus proche de 0,2 et l'effet est beaucoup plus prononcé ! [Ndt : « dT » paraît être une coquille, il faut lire dT/T correspondant à 60 K d'écart entre les latitudes extrêmes, cf. le début du paragraphe]

Le fait est que, toutes choses égales par ailleurs, le taux de perte de la chaleur par la Terre augmente strictement quand les températures augmentent [Ndt : voir note 1 en fin de texte] . Les corps chauds perdent de la chaleur (par rayonnement) bien plus rapidement que les corps froids à cause de la montée de la puissance 4 de Stefan-Boltzmann. Tout ce qui augmente l'hétérogénéité de la distribution des températures autour de la moyenne (qui elle-même augmente) tend à l'augmenter encore davantage. Notez bien que les valeurs anciennes comme:

$P'/P = 1 + 4 dT/T + \dots$ augmentent ! (Cela suppose $T' = T + dT$ avec un réchauffement $dT \ll T$). À l'extrémité supérieure de l'échelle du GIEC, l'augmentation de température serait de 5,6 °C, $5.6/280 = \sim 0,02$. Cela augmenterait la perte radiative de Stefan-Boltzmann d'un facteur 0,08, soit près de 10%. Je soutiens que c'est absurde. Il n'y a au fond aucune possibilité que le doublement du CO₂ (à une concentration toujours $< 0,1\%$) modifie l'équilibre énergétique radiatif de la Terre de 10%.

Ce qui est bien dans P'/P , c'est que tous les facteurs ennuyeux et souvent inconnus ! comme ϵ disparaissent. Tout ce qu'il faut, c'est que ϵ ne varie pas par lui-même au premier ordre plus vite que le terme pertinent de la relation. Cela donne aussi un certain nombre de « vérifications de bonne santé ». Ces vérifications montrent qu'on ne peut tout simplement pas supposer que la Terre est une boule à une certaine température uniforme sans faire des erreurs importantes. Elles montrent aussi que des changements de plus de 1 ou 2 °C autour de quelques températures moyennes des temps géologiques sont presque absurdement peu probables, étant donné les fondamentaux en T^4 dans l'équation de Boltzmann. Essentiellement, étant donné $T = 288$, chaque augmentation de 1K de T correspond à une augmentation de 1,4% de la puissance totale rayonnée. Si l'on veut expliquer la variation de la température mondiale par un « coup fumant », il doit fumer à un niveau où la puissance nette est modulée à la même échelle que la température en Kelvin.

Y a-t-il des candidats pour ce genre de coup ? Bien sûr. L'albedo en est un. 1% de changement de l'albedo (absolu) peut moduler la température d'environ 1K. Un autre encore meilleur est la

modulation de la distribution de la température. Si nous apprenons quelque chose des oscillations décennales, c'est que modifier la façon dont la température est répartie sur la surface de la planète a un effet profond et parfois immédiat sur le chauffage ou le refroidissement net. C'est particulièrement vrai en haut de la troposphère. Les modifications de concentrations de gaz à effet de serre, l'eau en particulier, ont le bon ordre de grandeur. Le piégeage océanique, la libération et la redistribution de la chaleur sont importants, ce n'est pas seulement en raison du CO₂ que l'Europe n'est pas froide mais parce que le Gulf Stream transporte la chaleur équatoriale qui la réchauffe ! Arrêtez le « convoyeur mondial » et vous verrez l'Europe geler (puis l'Asie du Nord gèlera, puis l'Amérique du Nord gèlera et puis ...).

Mais le mieux de tout est le mélange complexe, non linéaire, de tout ce qui précède ! Albedo, circulation globale (convection), transport océanique de chaleur, teneur en eau de l'atmosphère, tous changent la façon dont la température est distribuée (et donc perdue par rayonnement) et tous contribuent, j'en suis certain, de manière non négligeable à la température mondiale moyenne. Lorsque la chaleur est concentrée dans les tropiques, T_h est plus grand et T_c est plus petit par rapport à T et le monde se refroidit plus vite. Lorsque la chaleur est distribuée (par convection) vers les pôles, T_h est plus près de T_c et globalement le monde se refroidit plus lentement, plus près de la référence du corps noir. Lorsque les températures diurnes sont beaucoup plus grandes que les températures nocturnes, le monde se refroidit assez vite ; quand elles sont plus proches, on est plus près de la référence corps noir / corps gris. Lorsque l'albedo diurne est grand, moins d'énergie est absorbée et il se produit un refroidissement net ; lorsque l'albedo nocturne est grand, le refroidissement nocturne est moindre, le différentiel de température moindre et ainsi de suite.

Le fait est que c'est un problème complexe, pas simple du tout. Si quelqu'un prétend que c'est simple, c'est probablement qu'il essaye de vous vendre quelque chose. Ce n'est pas un problème de physique simple et il est presque certain que nous ne savons pas encore comment toute cette physique est organisée.

Ce qui est vraiment gênant dans le débat sur le climat en bloc, c'est la présomption générale que la science est réglée. Elle ne l'est pas. Elle n'est même pas près de l'être. Nous en serons toujours à apprendre des choses importantes sur le climat dans les dix ans qui viennent. Jusqu'à ce que toute la physique soit connue et qu'il n'y ait plus de watts/m² surprises, nous ne serons pas en mesure de construire un modèle précis, et jusqu'à ce que nous puissions construire un modèle

précis à l'échelle des temps géologiques, nous ne serons pas à même de répondre aux questions simples qui doivent avoir une réponse avant que nous puissions même estimer le RCA:

Quelle température aurions-nous en ce moment si le CO2 était encore à son niveau pré-industriel ?

Je ne pense pas que nous puissions commencer à répondre à cette question compte tenu de ce que nous savons en ce moment. Nous ne pouvons pas expliquer pourquoi l'OM est arrivé (sans modulation de CO2). Nous ne pouvons pas expliquer pourquoi le PAG est arrivé (sans modulation de CO2). Nous ne pouvons pas expliquer tous les autres changements notables dans le climat jusqu'à l'optimum Holocène (beaucoup plus chaud qu'aujourd'hui) ou le Dryas récent (beaucoup plus froid qu'aujourd'hui) et même seulement l'Holocène. Nous ne pouvons pas expliquer pourquoi il y a des âges de glace 90 000 ans sur 100 000, pourquoi il faisait beaucoup plus chaud il y a 15 millions d'années, pourquoi les périodes géologiques chaudes et froides vont et viennent pendant des millions à des centaines de millions d'années. Nous ne savons pas quand l'Holocène prendra fin ni pourquoi il prendra fin quand il se terminera, ou combien de temps il faudra pour aller du chaud au froid. Nous sommes assez sûrs que le Soleil a beaucoup à voir avec tout cela, mais nous ne savons pas comment, ni si oui ou non il s'agit de plus que du seul soleil. Nous ne pouvons pas prédire l'état du soleil des décennies à l'avance, sans parler de siècles, et nos prédictions ne sont pas de bonnes seulement quelques années à l'avance. Nous ne pouvons pas prédire quand ni comment les oscillations décennales fortes se produiront. Nous ne savons pas quand la dérive des continents modifiera « assez » p. ex. les modèles de circulation océanique ou atmosphérique pour que de nouveaux modes émergent (modes qui pourraient conduire à des changements brusques et violents dans le climat partout dans le monde).

Enfin, nous ne savons pas comment construire un modèle climatique mondial fidèle, en partie parce que nous avons besoin de réponses à plusieurs de ces questions avant de pouvoir le faire ! Jusqu'à ce que nous le puissions, nous ne faisons que construire des fonctions non linéaires ajustées qui marchent à l'interpolation et ne sont pas trop nulles à l'extrapolation.

rgb

Note 1 : Ce § a été critiqué comme suit.

Steven Mosher dit [6 janvier 2012 à 11:46 am](#)

“The statement that “The point is that as temperatures increase, the rate at which the Earth loses heat goes strictly up, all things being equal.” is where the good Doctor Brown goes GIGO. It is correct that the rate at which the Earth’s SURFACE loses heat goes strictly up, but the surface is NOT where most of the thermal IR is emitted to space.

That is rather high up in the atmosphere, which can be seen by comparing the emission to space with the Planck distribution of thermal emission from the surface (here for example, but there are plenty of accurate measurements and models). The point at which the emission curve matches a blackbody curve tells you what the temperature of the effective altitude at which emission is occurring to space. Raising the greenhouse gas concentration raises the level at which the emission to space occurs to a colder level, and thus one where emission is slower. To make up for that the surface has to warm in order to push more energy through the open window directly into space”

I dont know why people dont get this. GHGs increase the opacity of the atmosphere to IR.

The earth system loses energy back to SPACE one and only one way: via radiation. There is no conduction back to space, and no convection back to space. When you add more GHGs you increase the effective radiating height of the earth system. Raising that height results in a system that radiates from a colder place. That means the radiation loss will be slower as Brown argues.

Its the SLOWING of the rate of radiation loss at the TOA that drives the surface temperature UP.

Its not that back radiation warms the surface. Its a direct consequence of what Brown notes.

GHGs create a system that radiates from a higher colder place. Hence, it loses heat at a slower rate. hence the surface must “warm” or cool more slowly.

Rather than disprove AWG, brown has provided you all with the basic physics to understand it.

Finally, pushing heat “past” the GHG blanket at the surface, doesnt really get the job done.

why? because its the CO2 in the stratosphere (which is dry) that really matters.

Après traduction :

« L’assertion « le point est qu’avec l’augmentation de températures, le taux auquel la Terre perd la chaleur augmente strictement, toutes choses égales par ailleurs. » est l’endroit où le bon Dr Brown fait du GIGO [NdT : Garbage In Garbage Out, ordures en entrées, ordures en sortie]. La vitesse de perte de chaleur de la SURFACE de la Terre augmente strictement est correct mais la surface n’est pas le lieu d’où la plupart des IR thermiques sont émis vers l’espace [NdT : qu’est-ce que des « IR thermiques » ?].

C’est plus exactement plus haut dans l’atmosphère, que nous pouvons voir en comparant l’émission vers l’espace avec la distribution de Planck de l’émission thermique de la surface (ici par exemple, mais il y a abondance de mesures exactes et de modèles). Le point auquel la courbe d’émission correspond à une courbe de corps noir vous dit quelle est la température de l’altitude effective à laquelle l’émission se produit vers l’espace. L’augmentation de la concentration de gaz de serre élève le niveau auquel l’émission vers l’espace se produit à un niveau plus froid et ainsi l’émission est plus lente. Pour compenser la surface doit chauffer pour pousser plus d’énergie via la fenêtre ouverte directement dans l’espace »

Je ne comprends pas pourquoi les gens ne le prennent pas en compte. Les GES augmentent l’opacité de l’atmosphère à l’IR.

Le système de la Terre ne perd l’énergie vers l’ESPACE que d’une façon et une seulement : via le rayonnement. Il n’y a aucune conduction ni aucune convection vers l’espace. Quand vous ajoutez plus de GES vous augmentez l’altitude où se fait le rayonnement efficace du système de terre. Faire monter cette limite fait que le système rayonne d’un endroit plus froid. Cela signifie que la perte par rayonnement sera plus lente comme Brown le prétend.

C’est le RALENTISSEMENT du taux de perte de rayonnement au TOA qui fait MONTER la température de surface.

Ce n’est pas la rétro-radiation qui chauffe la surface. C’est une conséquence directe de ce que note Brown.

Les GES créent un système qui rayonne d'un endroit plus haut plus froid. Ainsi, il perd la chaleur à une vitesse plus faible. Ainsi la surface doit « chauffer » ou rafraîchir plus lentement. Plutôt que réfuter le RCA, Brown vous a fourni toute la physique fondamentale pour le comprendre. Finalement, en poussant la chaleur « devant » la couverture GES à la surface, ne fait pas vraiment le travail. Pourquoi ? parce que c'est le CO₂ dans la stratosphère (qui est sèche) qui importe vraiment.

Note 2 Le Dr Brown a fait de nombreuses réponses à nombre de commentaires (plus de 200). Référez-vous au document. Une des réponses a été à son tour publiée dans le billet :

Pas de nouvel attracteur

Traduction par le pseudonyme François Marot, révisions par les pseudonymes scaletrans et MichellN35.

[tallbloke](#) dit le [2 janvier 2012 à 19h48](#)

Voici ce que le Dr Brown a dit dans le commentaire où il m'a donné le feu vert pour publier le premier ici.

Robert Brown a dit le 2 janvier 2012 à 10h05

Bien sûr, aucun problème. J'espère que j'ai traité l'algèbre correctement - c'est pénible de faire de l'algèbre au clavier quand vous ne pouvez pas exécuter latex sur le résultat pour le voir. Mais c'est une algèbre assez simple. Je pense que c'est un des points les plus intéressants de [Nikolov et Zeller](#). Je ne suis pas convaincu que la « pression » en elle-même est responsable du piégeage de la chaleur car il y a un peu de confusion entre cause et effet (comme indiqué dans un billet Il y a quelques jours) mais je suis très fermement convaincu que négliger les effets de l'ordre de dT/T ou $(dT/T)^2$ dans les DEUX moyennes spatiale et temporelle est une erreur capitale. Je pense aussi qu'il y a très probablement un effet de pression, mais je subodore qu'il a plus à voir avec de la convection qu'avec les lois des gaz parfaits. En tout cas, les règles correctes devraient impliquer de gros modules fonctions de la température, non pas $PV = NkT$ en soi, ou si vous préférez, des solutions de Navier-Stokes de la complexité chaotique.

Ce que je pense qu'ils [NdT : Nikolov et Zeller] ont obtenu avec raison est qu'il y a un couplage fort et largement ignoré entre le refroidissement par contact de la surface par la convection (y compris l'évaporation et la conduction) et le refroidissement radiatif et le piégeage. La convection fait monter la chaleur à travers le gros de la colonne de gaz à effet de serre jusqu'à l'endroit où elle peut être efficacement rayonnée; je soupçonne que cela marche bien tant que la surface est

chauffée et refroidie différemment (comme elle l'est) pour créer ces tourbillons de convection pittoresques, souvent humides, appelés « le temps ». Le temps et le vent sont la preuve que le transport de l'énergie en quantité est plutôt important dans l'équilibre énergétique dynamique de la Terre. Sans parler du fait que le nord de l'Europe n'est pas une grosse banquise. Vous savez que les gens apprennent que la Scandinavie n'est pas grosse boule de glace (mais c'est assez vrai du Groenland à peu près à la même latitude). Bon vieux Gulf stream. Puis il y a l'hypothèse que le Dryas récent a été causé par l'interruption du Gulf Stream quand un immense barrage de glace d'eau douce s'est brisé pendant la première phase du réchauffement de l'Holocène.

Voici un exemple. Je fais de la bière. Une partie de sa fabrication consiste à faire bouillir le moût [NdT : d'orge] pendant quelques heures pour réduire le volume du liquide eau-sucre-orge à la bonne densité pour qu'il fermente au niveau d'alcool désiré (et que cela fasse des choses aux protéines et aux sucres et qu'on arrive juste au goût et à l'amertume avec le houblon). Un grand chaudron, beaucoup de liquide, chaud au fond, froid en haut (avant de bouillir). Le liquide par ailleurs raisonnablement clair est plein de grosses protéines coagulées, donc le liquide a une « texture » clairement visible qui vous permet de voir ses mouvements.

Comme n'importe quel bon physicien des fluides doit le comprendre, le chauffage du fond par rapport au haut crée une instabilité. L'eau chaude est *beaucoup* moins dense que l'eau froide de 4 °C jusqu'à 100 °C et plus (la bière/sirop bout à un peu plus de 100 °C). La conduction est lente. Le rayonnement est très lent. Quand l'eau du fond chauffe, au lieu de réchauffer l'eau en couches du fond vers le haut, elle gonfle et reçoit une force de poussée de l'eau plus froide plus dense au-dessus et autour. Cela la fait monter. Évidemment en haut elle n'a nulle part où aller (c'est dans un chaudron, limité par la gravité) donc cela déplace juste de l'eau plus froide qui coule, est chauffée au fond, monte vers le haut, émet sa chaleur par évaporation, conduction et rayonnement, se refroidit un peu, redescend, amasse plus de chaleur et réitère indéfiniment.

Mais la montée et la descente ne sont pas *uniformes*. Le moût crée des tourbillons de convection. Le liquide plus chaud, moindre pression, moindre densité monte, le liquide plus froid, plus grande pression, plus grande densité descend. En chauffant le fond, la chaleur est transportée vers le haut où elle est émise et retourne au fond pour une autre charge alors que le liquide lui-même chauffe progressivement. Quand la convection est bloquée, on peut vite accumuler une beaucoup plus grande différence de température et le liquide met vraiment BEAUCOUP plus de temps pour atteindre l'équilibre. Vous pouvez faire évaporer tout le liquide localement au fond et nécroser ce

qui est en contact parce que le fond de la casserole n'est pas RAFRAÎCHI par les tourbillons de convection.

Dans un chaudron, les tourbillons de convection apparaissent manifestement, d'habitude ils montent dans une moitié et descendent dans l'autre, à moins que je ne remue ou que j'aie parfaitement réglé la chaleur. Sur la terre, le même processus se produit dans un « chaudron » de forme très irrégulière, chauffé et refroidi. La chaleur est versée par le soleil, mais de façon constamment variable par le mouvement de nuages qui réfléchissent une grande fraction de l'énergie incidente dans certaines régions et pas dans d'autres. Il est absorbé différemment par la terre et l'eau. Un peu de cette chaleur est libérée immédiatement dans l'air (qui lui-même est chauffé directement par la lumière qui le traverse). Un peu produit l'évaporation de l'eau, refroidissant la surface de la terre ou de l'eau et emportant la chaleur absorbée dans l'air. L'air aussi, monte quand il chauffe et descend quand il refroidit et cela crée d'énormes masses d'air piégées comme la bière dans mon chaudron, montant ici, descendant ailleurs, se déplaçant entre la terre et la troposphère supérieure en des tourbillons verticaux autant que dans des cycles horizontaux. Tout cet air se déplace en mouvements de rotation qui le font dévier dans son mouvement, créant de grandes formes de circulation autour des systèmes de haute et basse pressions. *Tout cela est mené* par les écarts thermiques qui déplacent l'énergie, la transportant en règle approximative de là où elle est en quantité vers là où il y en a moins, la transportant de là où il fait relativement chaud (le bas) vers là où il fait relativement froid (au-dessus) en règle approximative.

Le rayonnement est ce qui, à la fin, retire l'énergie prise au soleil, mais ce ne sont pas tous les rayonnements de la terre solide qui le font, pas du tout, ni même et surtout le CO₂ dans un air sec qui bloque ce transport de chaleur. C'est pourquoi, dans le désert où l'humidité est très faible, dans une nuit calme il peut geler le matin là où la température montera à près de 38 °C pendant le jour. Il n'y a pas là d'effet « de serre », dis-je (et c'est la meilleure mesure possible du vrai effet de serre qui refroidit, celui qui n'est malheureusement pas étudié directement en général).

Quand la chaleur est transportée vers le haut par la convection, elle passe à travers le réflecteur de la serre. Plus elle est piégée par la serre, plus grande est la différence de pression thermique, le processus de transport convectif devient relativement plus fort et le refroidissement devient plus efficace. La couverture réfléchissante « stratifiée » est pénétrée par les tourbillons convectifs, des trous refroidisseurs, par le transport actif de chaleur d'où elle est piégée jusqu'où elle ne l'est pas.

Tout cela favorise des sensibilités plus petites.

S'il y a une vraie leçon dans cela, la voici. C'est un principe simple de thermodynamique très élémentaire que toutes les perturbations qui s'éloignent du modèle radiatif simple du refroidissement bloqué par les gaz à effet de serre augmenteront le taux de refroidissement comparé à la référence purement radiative. Elles le feront parce que des différences de température plus grandes sont une source d'énergie libre qui demande à travailler. Le système s'organisera presque invariablement pour *faire* le travail et réduire par ce processus la différence de température entre les troposphères basse et haute. Cela, à son tour, augmentera l'efficacité du refroidissement radiatif en faisant monter la chaleur qui sera perdue au-dessus de la couverture de la serre. Je ne sais pas pourquoi cet argument simple est si souvent ignoré dans les études de climat alors que c'est la source de la vraie instabilité qui produit les tourbillons convectifs dans ma bière qui chauffe, le vent dans mes cheveux, la pluie sur mon jardin et les saisons. Le piégeage de la chaleur n'est jamais augmenté par une instabilité de différence de chaleurs qui justement rendrait le système lui-même plus instable !

Dorénavant, on a la perspective que la sensibilité du climat et sa rétroaction doivent être attendues *négligables* et *refroidissantes* la terre comparé à ce qu'on pourrait s'attendre du piège de la serre à CO₂ « pur » même *avant* que l'on en regarde les détails. C'est le « **théorème de fluctuation/dissipation** » et les modèles de climat qui postulent une haute sensibilité de climat sont grossiers parce qu'ils la violent. Étant donné l'existence de modes multiples (p. ex. le rayonnement et la convection) pour le transport d'énergie en non-équilibre, en bloquant l'un on augmentera le taux d'autres et pas le contraire. Quelquefois il devient difficile de voir un effet de blocage.

Cet argument ne dépend pas vraiment beaucoup de l'eau, mais le cycle d'évaporation est en général un exemple parfait. Il refroidit le bas et réchauffe le haut, avec très, très peu d'exceptions provoquées par une géographie particulière (p. ex. les vents de Santa Ana) parce qu'en général l'air humide plus chaud monte, perd sa chaleur et se condense en eau (plus froide) qui tombe. Oui, les nuages et la vapeur d'eau modulent l'albedo et le piégeage de la serre, mais la plus grande partie de cette modulation est aléatoire comparée au transport certain provoqué par l'augmentation du différentiel de températures. À nouveau on attend que l'effet général de l'eau soit négatif à neutre, pas en rétroaction positive, parce qu'en général il consommera de l'énergie libre pour déplacer de l'eau par rapport aux modèles statiques stratifiés, l'énergie cherchant l'équilibre avec l'espace bien plus haut à 3 K, l'énergie qui veut se déplacer *verticalement* (en

moyenne) de la surface chaude vers le froid plus haut et *horizontalement* des endroits chauds aux endroits plus froids.

rgb

Traduction par le pseudonyme François Marot.