

# **Le Réchauffement Global et le Thermostat de la Nature : Les Systèmes de Précipitations**

(août 2008)

**Par Roy W. Spencer, Docteur en Physique, climatologie**

*Traduction : Michel Bénard (octobre 2008)*

Avant de pouvoir expliquer le rôle central que les précipitations doivent jouer dans le réchauffement global, je vais d'abord présenter une explication simplifiée des fondements du réchauffement global – appelons cela une introduction au réchauffement global-. J'aborderai la question du niveau de température atteint aujourd'hui, et donner quelques explications à propos de cette chaleur. Je décrirai brièvement ensuite l'effet de serre naturel de la Terre et la théorie du réchauffement global. Enfin, je décrirai le mécanisme de « régulation thermostatique » dont je pense qu'il stabilise le système climatique en s'opposant à un réchauffement global important provenant des émissions humaines de gaz à effet de serre. Une partie de ce que je présente est le prolongement de l'hypothèse d'un « Iris Infrarouge » de Richard Lindzen, recueil d'observations que nous avons publiées dans un journal scientifique « peer-reviewed », le 9 août 2007.

La conclusion de ma présentation sera : les systèmes de précipitations contrôlent en fin de processus l'importance de l'effet de serre total, - qui est en majeure partie du à la vapeur d'eau et aux nuages -, et je crois que ces systèmes compensent vraisemblablement la légère tendance au réchauffement provenant des émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine.

Ah ! Si vous pensez que vous devriez « faire quelque chose », comme prendre une police d'assurance en quelque sorte, sans vous soucier de ce que dit la science, alors je vous prie de lire ceci [[ndT :blog de Roy Spencer](#), en fin de blog].

## **Le réchauffement au cours du précédent siècle :**

Il n'y a guère de doute que les températures globales moyennes sont inhabituellement douces aujourd'hui (j'écris ceci en 2008). Si une majorité de chercheurs en matière climatique croient que cette douceur est essentiellement (ou totalement) due aux activités de l'humanité, il s'agit plus d'un acte de foi que d'un point de vue scientifique. Car pour en arriver à une telle conclusion, il faudrait savoir quelle proportion de l'augmentation de température observée depuis l'année 1800 est d'origine naturelle. Il n'y a, à ce jour, pas une seule étude scientifique « peer-reviewed » qui ait exclu que la variabilité naturelle du climat ne soit la cause de la plus grande partie de notre récent réchauffement – par exemple, un léger changement dans la couverture nuageuse moyenne-.

Examinons donc en premier lieu les températures courantes dans leur contexte historique. Au cours des cent précédentes années (voir figure 1), les courbes de températures moyennes globales montrent trois phases différentes.

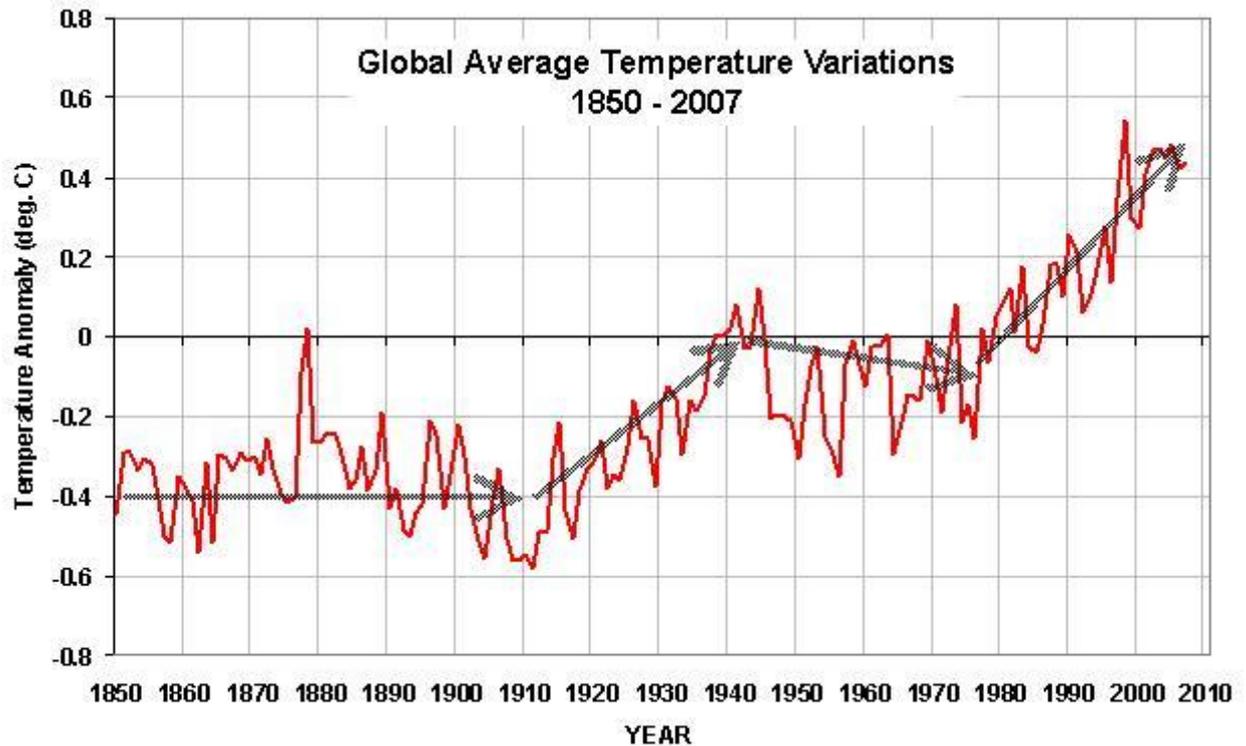


Figure 1 - Les variations de température moyennes globales entre 1850 et 2007 montrent la sortie du « Petit Age Glaciaire » au début des années 1900, un léger refroidissement des années 1940 aux années 1970, puis un nouveau réchauffement depuis les années 1970. (HadCRUT 3 temperature dataset from the UK Met Office and Univ. Anglia).

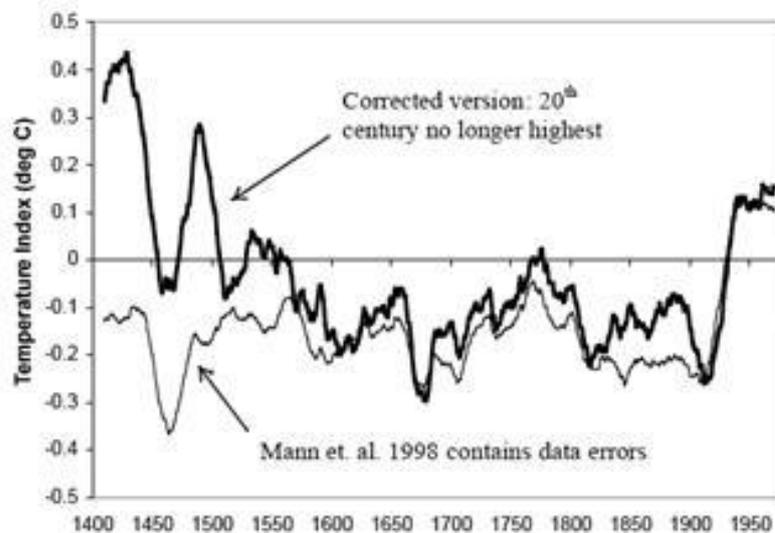
La phase de réchauffement jusqu'à 1940 représente la fin de la période multi-centenaire froide connue sous le nom de « petit âge glaciaire », une période particulièrement âpre pour l'humanité. Ce réchauffement est forcément naturel, car l'humanité n'avait alors pas encore émis de quantités importantes de gaz à effet de serre. Puis, le léger refroidissement de 1940 jusqu'aux années 1970 est survenu malgré les augmentations rapides de gaz à effet de serre émis par l'homme. Il existe une théorie qui dit que ce refroidissement est également d'origine humaine, à cause des poussières résultant de la pollution. Enfin, un réchauffement plutôt progressif s'est produit depuis les années 1970. Ce dernier réchauffement a, sans aucun doute, joué un rôle central dans les frayeurs courantes d'une catastrophe climatique.

Il existe quelque controverse sur le fait que la hausse de température observée sur la figure 1 résulterait d'un réchauffement dû à l'effet des îlots de chaleur urbaine, du fait du remplacement de la végétation naturelle par des constructions humaines telles que bâtiments, parkings, etc., autour des sites de mesure de températures. En décembre 2007, une note publiée dans le Journal de la Recherche Géophysique montrait qu'environ 50% de l'augmentation de la température globale mesurée depuis 1980 par les stations thermométriques terrestres était tout simplement due à des facteurs locaux tels que ceux des îlots de chaleur urbaine (extrait de presse [ici](#)).

### Les températures au cours des 2000 dernières années.

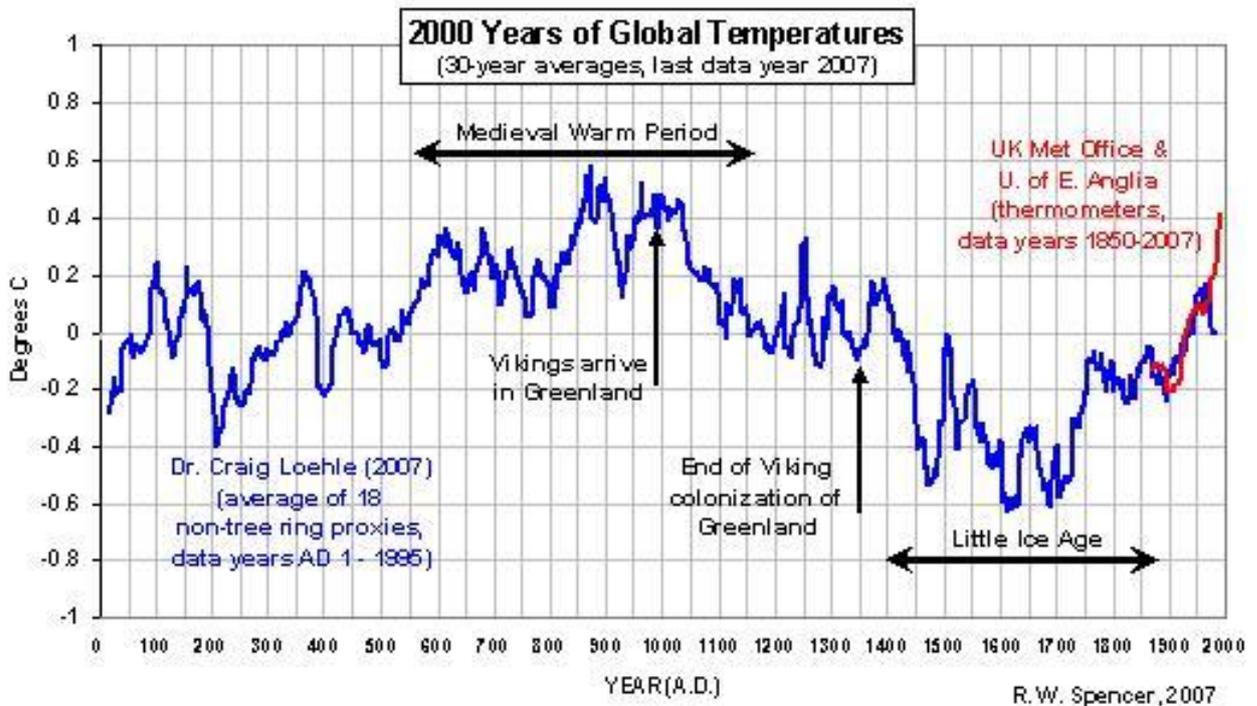
A **quelle époque** la Terre a-t-elle été aussi chaude qu'aujourd'hui ? Vous avez peut-être entendu clamer dans la presse qu'il fait plus chaud aujourd'hui qu'à n'importe quelle période depuis 1000 ans. Cette information se fondait sur la courbe de températures en forme de « crosse de hockey » (figure 2) basée sur des températures reconstituées, principalement d'après les cernes des arbres,

pour élaborer une statistique multi-centenaire des températures. Cette affirmation de « la plus forte température depuis 1000 ans » a perdu beaucoup de sa pertinence depuis qu'un comité de la revue de l'Académie des Sciences a conclu, en 2006, que la construction de la courbe en crose de hockey résultait d'erreurs de méthodologie statistique, et que le plus qu'on puisse affirmer aujourd'hui, c'est que la Terre est plus chaude maintenant qu'au cours des 400 années précédentes. Notons que c'est plutôt une bonne chose pour nous, car la plus grande partie de ces 400 ans englobe le petit âge glaciaire.



*Figure 2 - La reconstitution de la température globale des 1000 dernières années, établie par Mann et al (1998), principalement à partir de cernes d'arbres, est tenue pour avoir, de façon erronée, minimisée le réchauffement de l'Optimum Médiéval.*

Une [étude plus récente](#) a recueilli les moyennes des températures estimées pour 2000 années à partir de publications antérieures de 18 jeux de données reconstituant les températures (figure 3). L'auteur, un expert dans l'étude du développement des arbres, n'a pas utilisé leurs anneaux de croissance, parce qu'il considérait que de telles données étaient trop parasitées par les variations de pluviosité et d'autres problèmes pour servir à la détermination de températures. A cette reconstitution j'ai ajouté les mesures thermométriques de température couvrant la période 1850-2007.



*Figure 3 - Reconstitution des températures globales moyennes basées sur 18 évaluations de températures pour la période an 1 à 1995, fusionnée avec la série de températures thermométriques de UK Met Office University of East Anglia couvrant la période 1850-2007. Noter que pour les deux collections de données, chaque point représente une moyenne (lissage, ndT) de 30 années.*

A l'appui du point de vue que la douceur des températures actuelles n'est pas sans précédent, citons le fait que les Vikings arrivant au Groenland y installèrent des fermes, jusqu'à ce qu'un refroidissement les firent abandonner leurs exploitations dans ce pays.

Par conséquent, nous constatons que des variations climatiques substantielles peuvent survenir, et surviennent effectivement, ce qui n'est pas une grande surprise. Ainsi, serait-il possible que la plus grande part du réchauffement que nous avons connu depuis les années 1970 soit due à des phénomènes naturels que nous ne comprenons pas encore totalement ? Je le pense. Croire que les hautes températures actuelles peuvent être mises sur le compte de la pollution d'origine humaine est une déclaration de foi qui considère que le rôle des variations naturelles du système climatique sont faibles ou n'existent pas.

### **Si nous ne pouvons l'expliquer, alors ce doit-être l'origine humaine.**

C'est un fait, la science ne comprend pas pourquoi ces variations climatiques naturelles se produisent, et ne peut distinguer de façon fiable entre influences naturelles et éventuellement humaines sur les températures globales. Bon, nous avons bien quelques écrits qui ont mis en question la théorie du réchauffement d'origine humaine. Mais la publication d'explications alternatives se trouve entravée par le fait que nos observations du climat global sur le long terme (cf les caractéristiques des nuages) ne sont pas suffisamment bonnes pour permettre la mesure des légères variations qui offriraient une explication alternative du réchauffement actuel.

La science ne peut pas traiter ce que nous ne pouvons mesurer. Mais les scientifiques pourraient au moins admettre leur manque de connaissances. Malheureusement, la plupart ne le font pas.

Je ne peux pas insister plus : la théorie de l'origine humaine du réchauffement actuel résulte largement du fait que nous n'avons pas d'observations globales de qualité suffisante sur une assez longue période pour en tirer des lois sur les causes naturelles. Toutefois, la faveur courante et largement répandue de la théorie du réchauffement global d'origine humaine NE REPOSE PAS sur le fait que des explications alternatives ont été réfutées. Ceci s'explique par le fait que notre peu de compréhension de la variabilité naturelle du climat ne permet pas encore une exploration complète de ces explications alternatives.

Cependant, si l'on peut, bien entendu, expliquer une grande part du réchauffement constaté ces 100 dernières années à partir de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine, il ne s'agit que d'une explication possible, celle qui ignore ou minimise toute source de variabilité naturelle des températures.

Il en résulte que notre préoccupation d'un réchauffement global causé par l'homme est directement liée à notre croyance que les variations climatiques naturelles, - par exemple une légère décroissance de la couverture nuageuse basse - ne contribuent pas à la température actuelle de façon notable. Certains scientifiques qui croient en l'origine humaine du réchauffement me demandent « mais quoi d'autre peut bien causer le réchauffement ? ». Notons qu'il ne s'agit pas d'un argument d'évidence, mais bien de manque d'évidence.

Il existe un vieux dicton : « si vous n'avez rien qu'un marteau, n'importe quoi ressemble à un clou ». Et bien, l'origine humaine, c'est le marteau, et le clou, c'est toute modification dans le système climatique, qu'on attribue à l'homme.

### **Prédiction climatique et prévision météorologique sont deux choses différentes.**

Avant de décrire l'effet de serre et les modèles climatiques, nous avons d'abord besoin de clarifier une idée fautive, répandue, sur les prévisions de climat global. Il y a deux catégories totalement différentes de prévisions concernant le comportement atmosphérique : la prédiction du temps qu'il va faire, et celle du climat. La prévision du temps requiert la mesure des conditions atmosphériques à un moment donné, puis, en s'aidant d'un programme informatique contenant des équations (un modèle numérique de prévisions météorologiques), de prévoir l'évolution du temps au cours des prochains jours. Pour rester simple, ces modèles à « **conditions initiales** » extrapolent le comportement atmosphérique futur à partir des mesures existantes. Ils sont tout à fait performants sur de courtes durées (quelques jours), et leur efficacité s'améliore peu à peu dans le temps, mais cette efficacité tombe à zéro à partir d'une dizaine de jours.

Au contraire, l'objectif des modèles climatiques n'est pas de donner une bonne prévision à 3 ou 10 jours. Les modèles climatiques sont utilisés pour des simulations sur de longues périodes de temps, de quelques années à un siècle. Leur raison d'être est de déterminer comment le climat modélisé, en moyenne, est affecté lorsqu'on modifie l'une des règles du modèle (« **les conditions aux limites** ») qui s'appliquent à l'atmosphère.

Dans le cas du réchauffement global, il s'agit du changement dans l'ajout par l'homme de gaz à effet de serre, principalement le dioxyde de carbone produit par les énergies fossiles, ce qui affecte « l'effet de serre » du modèle - c'est-à-dire la manière dont le modèle traite l'énergie infrarouge (chaleur rayonnante).

## L'Effet de Serre Naturel de la Terre

La théorie voulant que l'humanité soit responsable du réchauffement global récent se base sur le fait que nos émissions de gaz à effet de serre (principalement le dioxyde de carbone) provoquent un très léger accroissement (de l'ordre de 1%) de l'effet de serre naturel de la Terre. L'effet de serre s'applique à la capture du rayonnement infrarouge par la vapeur d'eau, les nuages, le dioxyde de carbone, le méthane et quelques autres gaz à effet de serre de moindre importance (figure 4). Vous pouvez considérer l'effet de serre comme une sorte de couverture, une couverture radiante. **L'effet de serre naturel réchauffe la basse atmosphère et refroidit la haute atmosphère, par rapport à ce qui se passerait sans la présence de gaz à effet de serre.** Le rôle joué par le dioxyde de carbone dans l'effet de serre atmosphérique est relativement peu important, du fait que le CO<sub>2</sub> est un « gaz trace » - le dioxyde de carbone ne représente que 38 molécules sur 100 000 molécules d'air. Il faut cinq années complètes d'émissions humaines de gaz à effet de serre pour ajouter une seule molécule à 100 000 molécules d'air.

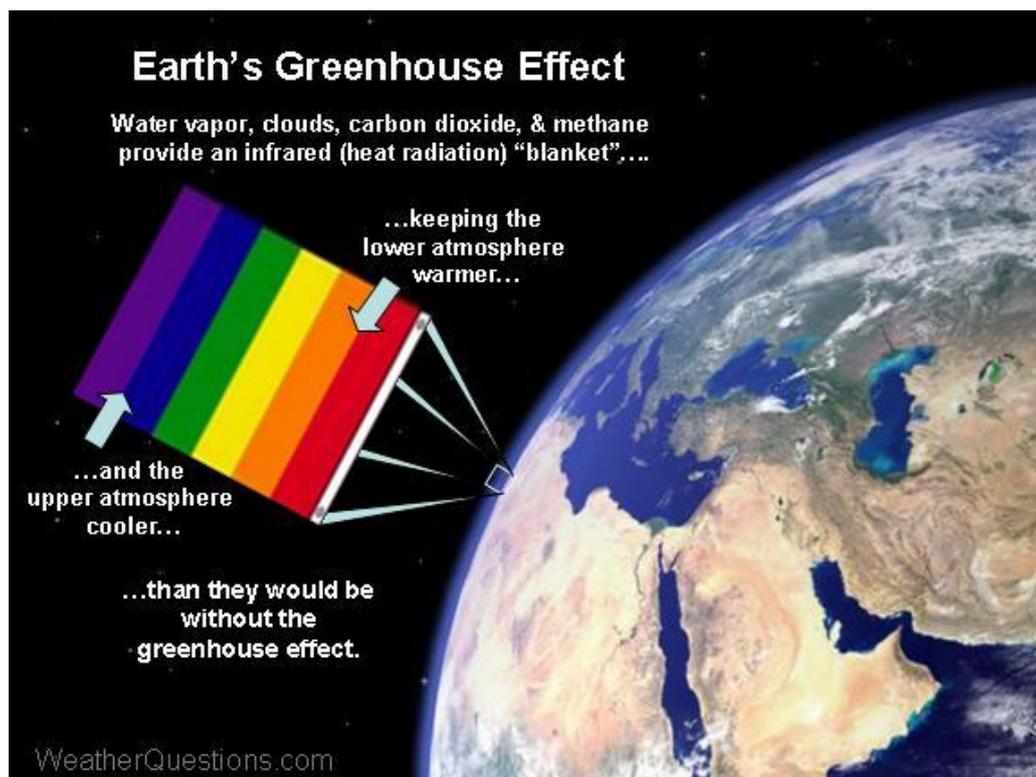


Figure 4 - L'effet de serre naturel de la Terre est du à l'absorption des radiations infrarouges par la vapeur d'eau, les nuages, le dioxyde de carbone, le méthane et autres gaz à effet de serre.

## L'augmentation d'origine Humaine de l'Effet de Serre.

Voici l'explication la plus courante du réchauffement global : l'addition humaine de dioxyde de carbone dans l'atmosphère rompt l'équilibre des énergies radiantes de la Terre (figure 5) en réduisant sa capacité de se refroidir en rayonnant vers l'espace. L'équilibre énergétique se réfère à la théorie selon laquelle la totalité de la lumière solaire absorbée par la terre (l'énergie entrante) est équilibrée par une quantité égale de rayonnement infrarouge émis par la terre vers l'espace (énergie sortante). On estime qu'entrée et sortie, moyennées sur toute la terre sur plusieurs années, se maintiennent naturellement à une valeur d'environ 235 watts par mètre carré (W/m<sup>2</sup>).

Ainsi croit-on que les émissions humaines de gaz à effet de serre ont rompu cet équilibre. Depuis le début de la révolution industrielle, il est estimé que le flux de refroidissement de 235 W/m<sup>2</sup> a été

réduit d'à peu près  $1,6 \text{ W/m}^2$ . Si l'on prend en compte le réchauffement supposé être déjà survenu en réponse à ce déséquilibre, on estime à  $0,8 \text{ W/m}^2$  le déséquilibre qui existe aujourd'hui. Un déséquilibre persistant induit un futur réchauffement qui doit intervenir pour rétablir l'équilibre énergétique, quand bien même l'humanité s'arrêterait aujourd'hui de produire des gaz à effet de serre.

Comment savons nous qu'un tel déséquilibre existe ? En réalité, nous ne le savons pas. Les instruments en orbite pour mesurer les composants rayonnants de la terre ne sont pas bien adaptés à la mesure d'aussi petits déséquilibres dont on présume l'existence. Ce déséquilibre, en fait, ne résulte que de calculs théoriques.

Vous serez également peut être surpris de constater que l'effet **direct** de ce déséquilibre causé par les émissions humaines de gaz à effet de serre (qu'on appelle souvent le « forçage radiatif ») sur les températures globales est tout à fait petit. **Toute chose égale par ailleurs dans le système climatique**, un doublement de la concentration de dioxyde de carbone atmosphérique (probablement tardivement au cours de ce siècle) ne provoquerait qu'un réchauffement d'un peu plus de  $1^\circ \text{ F}$  ( $0,6^\circ \text{ C}$ ,  $ndT$ ) de la surface terrestre. Je rappelle que l'augmentation de la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère n'est que d'une molécule pour 100 000 molécules d'air tous les cinq ans ; pensez-vous réellement qu'une influence aussi limitée pourrait entraîner des conséquences catastrophiques ? Un petit nombre de scientifiques de haut niveau, comme James Hansen de la NASA, le croient.

Manifestement,  $0,6^\circ \text{ C}$  d'augmentation de température, tard dans ce siècle, ce n'est qu'une mince affaire. Mais l'histoire ne s'arrête pas là. Le problème est que tout le reste [du système] ne reste pas inchangé. L'atmosphère sans aucun doute doit répondre d'une manière ou d'une autre à cet ajout de  $\text{CO}_2$ , par des modifications de la nébulosité, de l'humidité, des précipitations, etc.

### Rétroactions positives ou négatives ?

Toute l'incertitude au sujet de l'importance du réchauffement global d'origine humaine dépend de la façon dont le système climatique répondra au petit  $0,6^\circ \text{ C}$  de tendance au réchauffement. L'atmosphère peut tempérer la tendance au réchauffement par des « **rétroactions négatives** », - en accroissant par exemple la nébulosité à basse altitude -. Ou bien elle peut amplifier la tendance au réchauffement par des « **rétroactions positives** », en augmentant par exemple le contenu de l'atmosphère en vapeur d'eau, notre principal gaz à effet de serre, ou en augmentant la quantité de nuages de haute altitude.

Pratiquement tous les modèles climatiques sur ordinateurs montrent des rétroactions positives, amplifiant le réchauffement initial du au  $\text{CO}_2$  dans un intervalle allant d'un petit rien, jusqu'à des niveaux effrayants (plus de  $6^\circ \text{ C}$ ). Vous pouvez donc comprendre qu'il est crucial, pour les scientifiques, de déterminer le niveau de sensibilité du système climatique (la réponse de l'atmosphère) au forçage radiatif du supplément de gaz à effet de serre que nous mettons dans l'atmosphère.

### Quelle est la sensibilité du système climatique ?

L'effet résultant de toutes ces rétroactions détermine ce qu'on appelle la « **sensibilité climatique** ». Ce terme implique la quantification du réchauffement que la surface terrestre subit pour une quantité donnée de forçage radiatif, - communément exprimé comme le doublement de la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Donc, pour pouvoir prédire l'importance du réchauffement à venir, nous avons besoin de connaître la nature des rétroactions négatives et positives qui s'exercent au sein du système climatique.

Nous serions bien aidés si nous pouvions faire une expérience de laboratoire pour déterminer la réponse de la terre à l'ajout de gaz à effet de serre dans l'atmosphère – mais ce n'est pas possible. Il n'y a qu'une seule « expérience en cours », c'est celle à laquelle nous, les humains, y participons tous.

Si l'expérimentation de laboratoire nous est interdite, une autre façon d'estimer la sensibilité climatique serait de trouver des exemples passés de changement climatique en réponse au forçage radiatif. Nous avons, par exemple, une bonne estimation du refroidissement de la Terre après l'éruption exceptionnelle du Mont Pinatubo, aux Philippines, en juin 1991. Les millions de tonnes de dioxyde de soufre injectés dans la stratosphère par le Pinatubo se répandirent dans l'hémisphère nord, réduisant la pénétration atmosphérique de lumière solaire dans la proportion de 2% à 4%. Le refroidissement qui en résulta dura deux ou trois ans, jusqu'à ce que l'aérosol sulfurique se dissipe.



*Figure 6 – L'éruption de type explosif du Mont Pinatubo, Philippines, en 1991, projeta des millions de tonnes de dioxyde de soufre dans la stratosphère. La réduction résultante de 2%-4% de lumière solaire offrit une expérimentation naturelle de la sensibilité climatique de la Terre aux variations de rayonnement solaire.*

La plupart des chercheurs en climatologie estiment que des événements passés tels que l'éruption du Pinatubo peuvent s'utiliser pour déterminer la sensibilité du climat aux émissions de gaz à effet de serre. Moi, je ne le crois pas. Le Pinatubo a réduit le flux entrant de lumière solaire, et du fait que cette lumière solaire est la source d'énergie du système climatique, l'effet de serre total de l'atmosphère est contrôlé par les systèmes météorologiques qui réagissent à la lumière du soleil. Très simplement dit, le soleil **fait** le temps, mais l'effet de serre résulte du temps qu'il fait. Je crois que les processus qui gouvernent le temps apportent une limite à l'effet de serre, en proportion du flux disponible de lumière solaire.

Alors, existe-t-il de bons exemples de forçages radiatifs climatiques (effet de serre) à tirer du passé ? Non, probablement. On a des mesures de carottes glaciaires, dans l'Antarctique, qui suggèrent que, il y a des centaines de milliers d'années, les niveaux de dioxyde de carbone et de température ont fluctué dans les deux sens. C'était là un argument majeur du film d'Al Gore, « **une Vérité qui Dérange** ». Mais ce que Monsieur Al Gore n'a pas mentionné, c'était que toutes les recherches scientifiques publiées montraient que l'augmentation de dioxyde de carbone était postérieure à celle des températures, avec des délais de plusieurs centaines d'années. Ainsi, ce que montrent les carottes glaciaires, c'est que les variations de température sont la cause des changements de taux de dioxyde

de carbone, et pas l'inverse, comme le proclament certains scientifiques et les politiciens. Donc nous ne pouvons utiliser ce que montrent les carottes glaciaires pour faire une analogie avec ce qui se passe aujourd'hui, alors que ce sont les humains qui augmentent le contenu de l'atmosphère en CO<sub>2</sub>, parce que ce sont des mécanismes très différents qui se sont produits lors de ces événements climatiques passés.

Et donc, contrairement au cas des éruptions volcaniques et de leur effet sur le réchauffement solaire de la Terre, nous n'avons probablement aucun exemple de forçage radiatif qui puisse équivaloir à ce que dit la théorie moderne du réchauffement global.

### **Qu'est-ce qui Détermine l'Effet de Serre Naturel de la Terre ?**

Maintenant, nous arrivons à une question que je crois d'importance fondamentale : qu'est-ce qui détermine l'effet de serre naturel de la Terre ? Il ne s'agit pas du sens qualitatif, car tous les climatologues savent que la vapeur d'eau et les nuages dominent à eux deux l'effet de serre. Voilà ce que je veux dire : Pourquoi l'effet de serre se maintient-il à son niveau habituel ? L'atmosphère pourrait contenir beaucoup plus d'eau qu'elle ne le fait, - il en résulterait un climat plus chaud -, mais pourtant, la plus grande partie de la troposphère se maintient habituellement à un niveau plutôt bas d'humidité relative. Certes, on peut construire des modèles climatiques et les ajuster pour reproduire la quantité d'effet de serre qu'on observe dans la nature, mais ce dont je veux vous convaincre, c'est que nous ne comprenons pas véritablement les processus qui limitent l'effet de serre à son niveau habituel.

Commençons par le début. La lumière solaire est la **source** d'énergie du temps qu'il fait, et il tombe sous le sens que plus (ou moins) de luminosité solaire rend la Terre plus chaude (ou plus froide). Mais l'effet de serre (capture de la chaleur infrarouge) **résulte**, en ce qui le concerne, des processus météorologiques. Je rappelle que la plus grande partie de l'effet de serre terrestre (plus de 90%) est due à la vapeur d'eau et aux nuages, et se trouve donc sous la dépendance directe des processus météo, des vents, de l'évaporation, des précipitations, etc.

Cette relation de cause à effet de l'effet de serre naturel terrestre constitue une différence importante. J'ai fait mention ci-dessus de l'explication, habituellement donnée, que « l'équilibre énergétique de la terre aboutit à une température globale moyenne à peu près constante ». Mais je crois qu'on a interverti cause et effet : il est plus exact de dire que « l'échauffement solaire fait le temps », qui ensuite engendre un effet de serre proportionnel au rayonnement solaire disponible. A moins de comprendre les processus qui limitent l'effet naturel de serre à sa valeur actuelle, nous ne pouvons espérer comprendre comment un petit accroissement de 1% de l'effet de serre va changer le climat global.

### **Les Systèmes de Précipitations : l'Air Climatisé de la Nature ?**

C'est bien connu, les précipitations constituent un phénomène important dans l'atmosphère. Outre qu'elles sont nécessaires à la vie sur terre, toutes les pluies et les neiges qui tombent correspondent à un surplus de chaleur qui avait été retirée de la surface lors de l'évaporation de l'eau. En moyenne, toute l'eau qui s'est évaporée à la surface doit à un moment donné se condenser et se transformer en nuages, dont certains produisent les précipitations qui retombent à la surface. La chaleur qui est relâchée lors de cette condensation se répand dans la moyenne et la haute troposphère alors que la vapeur se condense en nuages, dont certains, ensuite, produisent des précipitations et retombent à la surface. Après avoir atteint la surface, l'eau est à nouveau disponible pour retirer de la chaleur en s'évaporant, entamant ainsi un nouveau cycle.

Je crois qu'on peut démontrer que le système de précipitations assure au final le contrôle de la plus grande partie de l'effet de serre. L'air de notre atmosphère est continuellement recyclé au travers du système des précipitations (figure 7), dans un intervalle de temps qui se compte en jours et en semaines. Les vents collectent la vapeur d'eau qui s'évapore à la surface et apportent cette vapeur au cycle des précipitations. Ce cycle transforme alors une part de cette vapeur en eau de pluie ou en neige. Cet aperçu qualitatif est bien connu et compris des climatologues.

Mais ce qui reste INCOMPRIS (or elle est cruciale, la compréhension des rétroactions et de la sensibilité du climat !), ce sont les myriades de phénomènes « microphysiques » à l'intérieur des nuages – la formation des gouttes d'eau et de cristaux de glace-. Ces phénomènes microphysiques déterminent juste quelle quantité d'eau sera retirée pour précipiter, et par conséquent quelle quantité sera gardée pour être restituée à l'atmosphère sous forme de vapeur et de nuages. Car ce sont les propriétés de l'humidité de l'air qui échappe au cycle des précipitations qui déterminent la plus grande part de l'effet de serre, vu que cet air se répand lentement dans les espaces énormes à l'écart du système de précipitations.

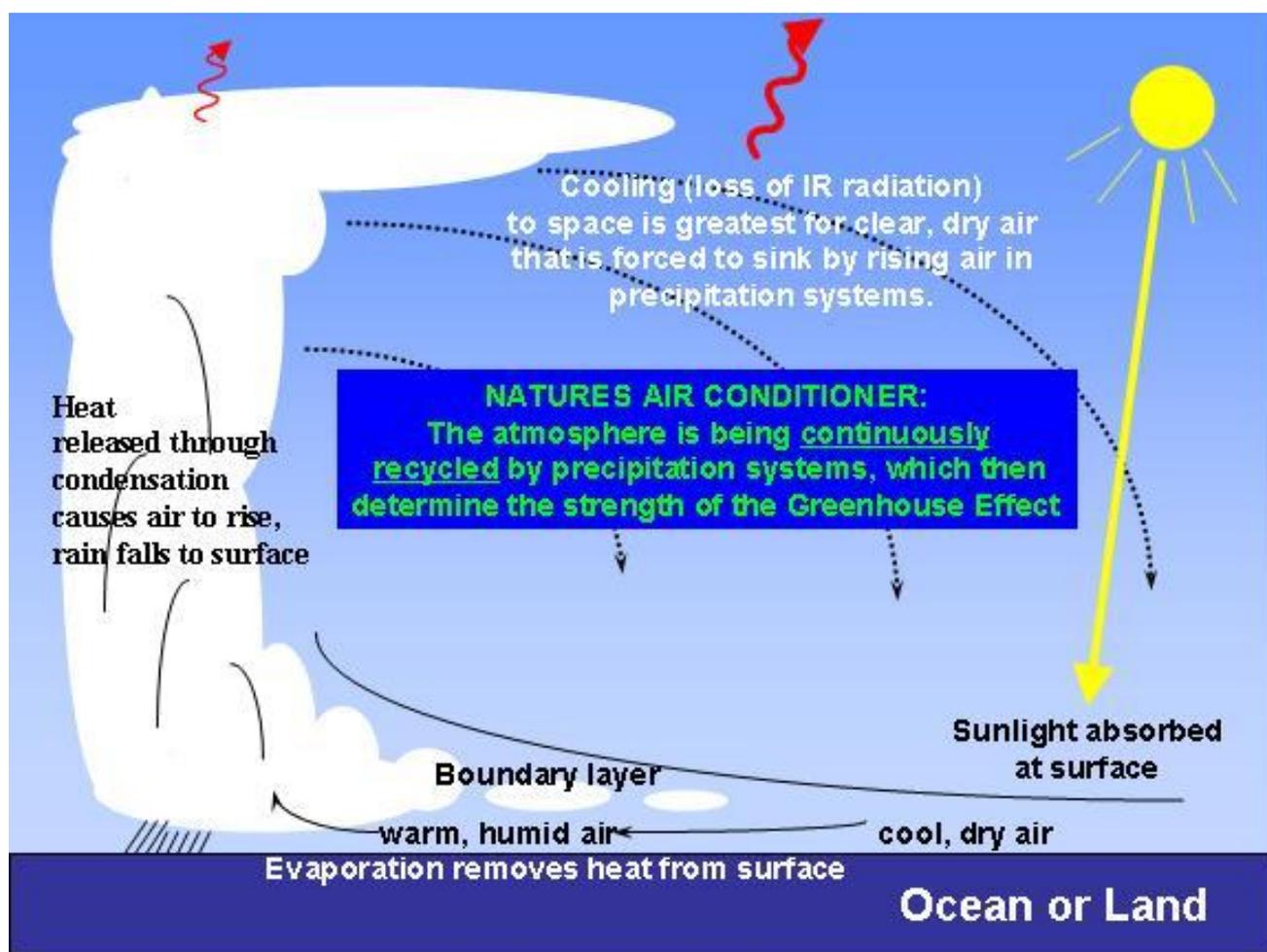


Figure 7 – L'air atmosphérique est continuellement recyclé à l'intérieur des systèmes de précipitations, qui gèrent directement ou indirectement les propriétés de la vapeur et des nuages, et en conséquence l'effet de serre naturel.

C'est en partie parce que les systèmes de précipitations ne couvrent que quelques pour cent de la surface terrestre à un moment donné, que la plupart des spécialistes de recherche climatique ne se rendent pas compte de l'influence que ces phénomènes exercent sur le système climatique. Aussi je

ne saurais trop insister : toute la partie de l'air humide qui **rentre dans** les systèmes de précipitations dans la partie basse de l'atmosphère **fini par quitter** ces systèmes, principalement dans la partie moyenne et haute de la troposphère. Cet air qui ressort contient une quantité d'humidité, sous forme de vapeur et de nuages, réglée directement par les processus de précipitation au sein des systèmes.

Comme exemple de l'influence globale de ces systèmes sur l'effet de serre terrestre, l'air sec peu chargé en humidité qui se répand lentement sur les déserts du monde a été asséché par les précipitations, probablement à des milliers de kilomètres de distance. Finalement, cet air va quitter le désert, se charger d'humidité provenant de l'évaporation au sol et sur les océans, et se recycler dans un système de pluies et de neige. Rappelons que ce recyclage de l'air sous l'effet des précipitations se produit continuellement, partout sur Terre.

De même, les masses d'air hivernales qui se forment sur les zones continentales sont extrêmement sèches parce que cet air provient de la haute troposphère après qu'il ait été épuisé par des pluies ou de la neige. Si ce n'était pas le cas, les systèmes de hautes pressions hivernales ne seraient pas clairs et secs comme on peut les observer. Au lieu de cela, ils seraient saturés de vapeur d'eau en se refroidissant sous l'effet du manque de lumière solaire, et seraient remplis de nuages.

Ainsi nous commençons à percevoir qu'une grande part de l'effet de serre naturel se trouve contrôlé par les systèmes de précipitations. Peu importe qu'il s'agisse d'ouragans tropicaux ou de tempêtes de neige des hautes latitudes, c'est le flux d'air qui s'en dégage dans la moyenne et la haute troposphère qui détermine les caractéristiques d'humidité des régions sans nuages, partout ailleurs.

Je désire qu'il soit bien clair que les effets **moyens** des systèmes de précipitations sont bien entendu inclus dans nos modèles climatiques informatisés d'aujourd'hui. Mais, s'agissant du réchauffement global, un modèle simulant un comportement moyen n'est pas suffisant, car il est trop facile d'obtenir la bonne réponse à partir d'un jugement erroné. Au lieu de cela, il nous faut répondre à la question : **Comment réagissent les systèmes de précipitations en réponse à la petite adjonction, par l'homme, de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ?**

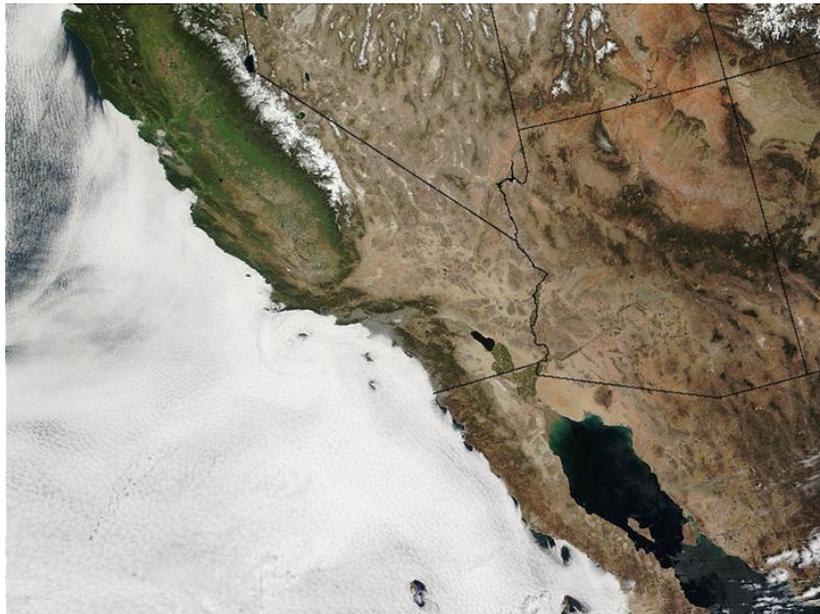
Voilà où se situe, à mon avis, l'erreur de nos modèles. Les modèles tendent à amplifier l'effet de serre naturel de la Terre en réponse à une légère addition de gaz à effet de serre d'origine humaine. Mais je crois que les systèmes réels de précipitations font justement le contraire... Ils réduisent légèrement l'effet de serre total en ajustant la quantité de vapeur d'eau et de nuages, et le maintiennent en proportion du flux de lumière solaire existant.

Mais l'influence des systèmes de précipitations sur le climat global ne s'arrête pas là. Ils commandent en effet, indirectement, la quantité de nuages dans des régions lointaines, et même à des milliers de kilomètres de distance. Cela parce que les convections (verticales) brassant l'atmosphère du globe, et forcées par les processus de précipitations, déterminent largement le profil vertical de températures de l'atmosphère. Ce profil de températures, en retour, exerce une forte influence sur les formations nuageuses.

Par exemple, il existe de vastes étendues de stratus maritimes dans la basse troposphère qui se forment à l'est des océans subtropicaux où de l'eau froide remonte du fond vers la surface (figure 8). Ces nuages se forment parce que l'air humidifié par l'évaporation de l'océan reste capturé du fait de l'inversion de température (phénomène de couvercle d'air chaud).

Et devinez ce qui cause cette inversion d'air chaud ? Les systèmes de précipitations ! L'air est inhabituellement frais parce qu'il est **forcé de s'abaisser** par l'air chaud et humide s'élevant dans le système de précipitations. Cet air qui s'élève est alimenté par de la vapeur d'eau se condensant, et

qui, ce faisant, restitue la chaleur qu'elle avait consommée lorsqu'au départ l'eau s'était évaporée à la surface de la mer.



*Figure 8 – Les stratocumulus maritimes, qui rafraichissent le système climatique en réfléchissant la lumière solaire, sont en partie sous l’emprise de systèmes de précipitations éloignés.*

[NOTA BENE : des scientifiques iront prétendre que l’air qui s’abaisse pour former l’inversion de température est « provoquée » par un rafraichissement radiatif, mais c’est incorrect. La seule possibilité pour l’air de perdre de l’altitude dans un environnement stable et statique est d’être **forcé** à descendre, – ce qui ne se produit que par réaction à l’air chaud et humide qui s’élève dans le système de précipitations. Un rafraichissement radiatif ne fait pas plus « descendre l’air » que la fumée qui sort d’un échappement de voiture ne fait fonctionner le moteur.]

Il devient maintenant de plus en plus clair pour vous qu’on ne peut pas connaître combien le système climatique est sensible au petit accroissement d’origine humaine de l’effet de serre, sans comprendre comment l’effet de serre (vapeur d’eau + nuages) est sous le contrôle des précipitations. Malheureusement, les précipitations sont ce qu’il y a de moins bien compris parmi tous les phénomènes atmosphériques.

Dans une publication scientifique qui n’a eu que peu de succès, Renno, Emanuel et Stone (1994, « Radiative-convective model with an explicit hydrologic cycle, 1 : Formulation and sensitivity to model parameters », J. Geophys. Res, 99, 14429-14441) ont démontré que si les modèles de précipitations devenaient plus efficaces dans le domaine de la conversion de la vapeur d’eau atmosphérique en précipitations, il en résulterait un climat plus frais avec moins de précipitations. En conséquence, les systèmes de précipitations ont le potentiel nécessaire pour constituer le climatiseur de la Terre, dont l’interrupteur intervient lorsque cela devient trop chaud.

La grande question qui se pose, se comportent-ils de cette façon ou bien non ? Moi, je le crois.

### **Les Précipitations dans les modèles climatiques.**

La représentation des processus de précipitations par les modèles climatiques est très grossière. En fait, lorsqu’il s’agit de masses d’air chaud, les modèles ne mettent en œuvre aucun système de précipitations. A la place, ils utilisent de simples « paramétrages » qui sont supposés représenter

l'effet résultant des précipitations de l'atmosphère, dans une sorte d'interprétation statistique. Il n'y a rien de foncièrement faux à user de paramétrages pour remplacer des processus physiques plus complexes, tant que cela représente de manière pertinente ce qui gère ces processus.

Ce qu'il nous faut vraiment savoir, c'est comment l'efficacité des systèmes de précipitations se modifie avec la température. Malheureusement, le niveau critique de compréhension nous fait encore défaut. Presque tout l'accent a été mis sur l'obtention de modèles qui se comportent de manière réaliste dans leur représentation « moyenne » de l'importance et de la répartition géographique des pluies, mais non dans la façon dont les modèles manient les changements dans l'efficacité des chutes de pluie en fonction de la température.

Bien heureusement, un nouveau satellite nous donne maintenant des éléments probants qui apportent des lumières sur cette question. Notre [recherche « peer-reviewed » récemment publiée](#) montre que, lorsque la moyenne et la haute troposphère tropicale se réchauffent, suite à un surcroît d'activité pluvieuse, les systèmes de précipitations produisent moins de cirrus de haute altitude, ces nuages formés de particules de glace. Ce phénomène, en conséquence, réduit l'effet de serre de l'atmosphère, en permettant à une plus grande quantité de rayonnement infrarouge de s'échapper vers l'espace, ce qui conduit à une diminution de la température. (Notre communication de presse décrivant cette étude est accessible [ici](#)).

Il s'agit d'une rétroaction négative naturelle qui va à contre-courant de l'intuition des climatologues, la plupart d'entre eux croyant qu'un surcroît de pluies tropicales doit causer une plus forte nébulosité de haute altitude, et non l'inverse. Que ce processus continue de s'opérer sur les longues périodes de temps qu'implique le réchauffement global n'est pas encore connu, c'est certain. Néanmoins, les modèles climatiques sont censés bâtis sur les observations du comportement de l'atmosphère, et donc, je mets au défi les modélisateurs d'introduire ce processus naturel de refroidissement dans leurs modèles, et **alors**, nous verrons bien quel niveau de réchauffement global ces modèles nous sortent.

### **En matière de conclusion, et perspectives futures.**

Les modélisateurs du climat et les chercheurs croient généralement qu'une augmentation de l'effet de serre induite par l'homme provoque un réchauffement similaire à celui que provoque un accroissement de la luminosité solaire.

Je crois que ce point de vue est incorrect.

C'est aujourd'hui une certitude raisonnable que des changements dans le rayonnement solaire provoquent des changements de la température sur terre. C'est ainsi que l'éruption du Pinatubo de 1991 a entraîné une diminution de luminosité de 2% à 4%, d'où il résulta deux années de températures anormalement basses, spécialement dans l'hémisphère nord.

Mais l'effet de serre naturel de la Terre (je le répète, principalement du à la vapeur d'eau et aux nuages) est sous le contrôle de systèmes climatiques, et spécialement celui des systèmes de précipitations, qui sont provoqués **en réponse** au réchauffement solaire. Que ce soit directement ou indirectement, ces systèmes de précipitations déterminent les caractéristiques d'humidité (vapeur d'eau, nuages) pour presque tout le reste de l'atmosphère.

Les systèmes de précipitations pourraient, en théorie, provoquer un climat plus chaud sur terre que ce qu'on observe habituellement. Ils pourraient permettre la formation de plus de vapeur d'eau dans l'atmosphère, mais ils ne le font pas. Et pourquoi ?

La raison est à relier aux processus de précipitations. Je crois que le système de précipitations agit comme un thermostat, en réduisant l'effet de serre (et donc en augmentant le rafraîchissement) lorsque les températures s'élèvent trop, et en réchauffant lorsqu'elles descendent trop bas. Il est étonnant de penser que la manière par laquelle des gouttelettes d'eau et des particules de glace s'agglomèrent en nuages pour ensuite provoquer pluies et neige, aboutisse à régir le cours du réchauffement global, mais cela doit bien être le cas.

Je pense que c'est la façon inadéquate de traiter les systèmes de précipitations, – particulièrement, la manière qu'ils ont d'ajuster l'humidité atmosphérique lors des changements de température -, cette façon dis-je est la raison du réchauffement excessif prédit par les modèles consécutivement aux augmentations d'effets de serre. Pour croire autrement, il faudrait avoir la foi dans le fait que les modèles climatiques sont suffisamment évolués pour inclure tous les processus qui gèrent l'effet de serre terrestre.

Je prédis que des recherches à venir révéleront d'autres causes à une part importante du réchauffement que nous avons vécu depuis les années 1970, - par exemple, des évolutions de l'activité solaire ou de petites variations dans la nébulosité résultant de la circulation atmosphérique générale (telles que la l'Oscillation Pacifique Décadaire). D'ici là, une haute priorité doit être accordée à la recherche dans le domaine de l'étude des changements dans les systèmes de précipitation en fonction des variations de température, - et spécialement la manière dont ils contrôlent globalement la vapeur d'eau et l'importance de la nébulosité-.

Heureusement, nous disposons de plusieurs satellites de la NASA en orbite qui recueillent des informations qui seront immensément précieuses pour déterminer comment le système climatique s'adapte au cours des fluctuations naturelles de température. C'est au moyen de ces mesures satellitaires de température, de rayonnement solaire et infrarouge, de nébulosité et de pluviosité que nous pourrons tester et améliorer les modèles climatiques, ce qui conduira à des prédictions plus fiables des températures globales.

Et que nous disent les satellites sur les variations récentes de la température globale ? A la figure 9, j'ai arbitrairement relevé la période depuis 1990 pour montrer qu'il y a effectivement eu un réchauffement récent, mais que ce réchauffement ne peut être qualifié de « progressif ». Lorsqu'on prend en considération que le refroidissement dû à l'éruption du Mont Pinatubo, et le réchauffement de 1997-1998 d'origine El Niño ne faisaient pas partie d'une quelconque tendance sous-jacente de long terme, nous pouvons penser que la courbe de températures globalement moyennée était plate de 1990 à 2000, avec ensuite un bref réchauffement jusque vers 2002, après quoi la courbe est restée plate. Notons que plus longtemps la courbe des températures reste plate, plus il faudra un réchauffement important pour nous remettre sur les rails des projections des modèles climatiques utilisées par le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat de l'ONU (GIEC). Les mois et les années qui vont venir vont être intéressants !

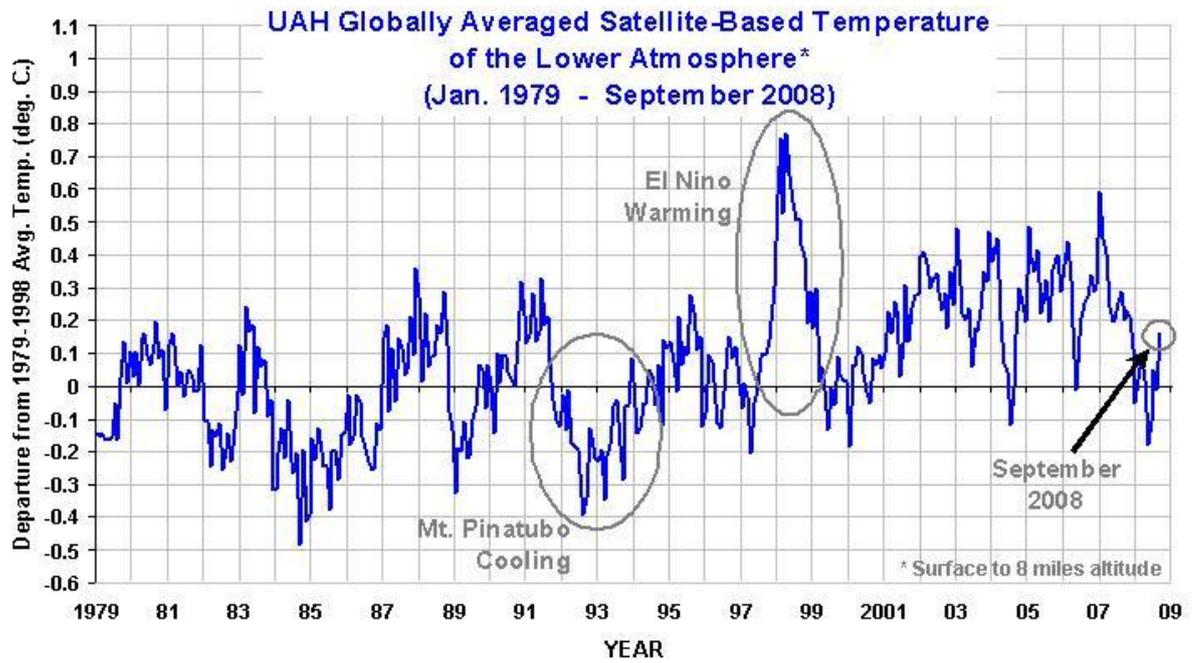


Figure 9 – Les variations de températures globales moyennes de la basse atmosphère depuis 1979, mesurées par la NOAA et les satellites de la NASA.