

## Les contradictions entre les données de satellites et les températures mesurées à proximité du sol sont en grande partie éliminées

L'atmosphère terrestre aussi se réchauffe, jusqu'à une altitude d'environ 10 km

**L'une des plus importantes questions ouvertes ayant trait à la compréhension du système climatique semble résolue : jusqu'ici, l'évaluation des mesures par satellites et par radiosondes de ces vingt-cinq dernières années n'indiquaient qu'une faible augmentation de la température dans les 10 km inférieurs de l'atmosphère terrestre. Ceci était en contradiction avec le fort réchauffement à proximité du sol et avec les résultats des modèles climatiques. Mais à présent, différents travaux publiés récemment ont montré que cette contradiction résultait en grande partie de problèmes tenant aux mesures et à leur évaluation. Une fois les erreurs de mesure prises en compte et mieux corrigées, les résultats des mesures sont en grande partie en accord avec les connaissances physiques et les modèles climatiques : les températures dans les 10 km inférieurs environ de l'atmosphère sont montées globalement à peu près autant ou un peu plus au cours des vingt-cinq dernières années que celles mesurées à proximité du sol, c'est-à-dire d'un demi degré, resp. d'env. 0.15 à 0.2°C par décennie. Ainsi un grand point d'interrogation relatif à la reproduction correcte des changements climatiques par les modèles existants a en grande partie disparu.**

Selon des connaissances fondamentales de physique, on s'attend que lors d'un réchauffement de la surface du sol, la couche inférieure de l'atmosphère, c'est-à-dire la troposphère qui atteint env. 10 km d'altitude, se réchauffe également. Ce réchauffement devrait même être un peu plus fort qu'à proximité du sol, surtout sous les tropiques, où a lieu un important échange d'air dans le sens vertical. Un tel réchauffement apparaissait aussi dans toutes les modélisations climatiques. L'évaluation des mesures satellitaires et par radiosondes n'indiquait au contraire, pour la période à partir de 1979, qu'une très faible augmentation de la température dans la troposphère inférieure. Cette divergence était particulièrement marquée sous les tropiques, tandis qu'on relevait un accord nettement meilleur aux latitudes moyennes et hautes. Le score était donc de 2:2 : la physique et les modèles climatiques contre les satellites et les radiosondes. L'accord entre les données enregistrées indépendamment par les radiosondes et par

les satellites plaidait en faveur des mesures ; les grandes difficultés d'évaluation suscitaient toutefois des réserves à l'égard de ces données. Y avait-il des erreurs ? Les mesures étaient-elles fausses ? Ou y avait-il quelque chose qui ne jouait pas avec les modèles ? Avait-on ignoré un important processus physique ? La recherche climatologique a longtemps peiné sur ce problème. Mais récemment, des travaux scientifiques ont en grande partie tiré les choses au clair : c'est l'évaluation des mesures qui devait être corrigée, la valeur attendue selon les modèles était correcte.

### Mesures incertaines

Calculer l'évolution des températures au cours de dizaines d'années à partir des observations par satellites et des mesures de radiosondes est relativement difficile. Ceci pour plusieurs raisons :

- La série de mesures satellitaires se compose de données provenant de plusieurs satellites équipés d'instruments de mesure différents.
- Les instruments des radiosondes sont eux aussi hétérogènes ; il en va de même de l'étalonnage de ces instruments et de l'exécution des mesures sur de longues périodes.
- L'altitude de l'orbite des satellites diminue peu à peu, ce qui affecte aussi les mesures.
- L'instant où un point de mesure donné est survolé chaque jour change aussi peu à peu. Si cet instant se décale par exemple lentement de la journée vers la nuit, les températures mesurées finiront par fraîchir avec les années, même si les conditions de températures n'ont en soi pas du tout changé.
- Le capteur de température des radiosondes s'échauffe pendant la journée sous l'action du rayonnement solaire.

Ces problèmes doivent être pris en compte le mieux possible lors de l'évaluation des mesures. Or les méthodes utilisées à cette fin diffèrent d'un groupe de recherche à un autre.

### Découverte d'une erreur survenant lors de l'évaluation des données satellitaires

Pendant longtemps, les évaluations effectuées par Roy Spencer et John Christy à l'Université de l'Alabama

(UAH) étaient l'unique référence. Elles n'indiquaient pratiquement aucun réchauffement de la troposphère. Aussi ce groupe en est-il venu à mettre en question le réchauffement global. Puis ces dernières années, plusieurs autres groupes ont évalué les mesures par d'autres méthodes et sont arrivés à de tout autres résultats : d'abord le groupe du Remote Sensing Systems (RSS) conduit par Carl Mears et Frank Wentz, et plus tard Qiang Fu et ses collègues de l'U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Ces deux dernières années, les raisons de ces différences ont fait l'objet de recherches approfondies. Et récemment, cet effort a abouti, du moins en partie : lors de la correction des instants de survol, Spencer et Christy avaient corrigé la température par erreur vers le haut au lieu de vers le bas. Cette erreur avait des conséquences importantes surtout sous les tropiques, là où les différences étaient les plus grandes. Après rectification de la correction, les données de Spencer et Christy ont permis elles aussi de constater un réchauffement de la troposphère tropicale. La tendance globale a également augmenté en gros de moitié. Des différences subsistent toutefois encore entre les données de Spencer/Christy et celles des deux autres groupes. Cependant, ces divergences se présentent presque uniquement pendant les quatre premières années de la série de mesure (1979-1982).

#### **L'accord est maintenant bien meilleur**

Dans les calculs actuels des tendances, les mesures concordent largement avec les prévisions des modèles : la tendance selon les groupes du RSS et de la NOAA, de 0.19°C par décennie, est légèrement supérieure à celle à proximité du sol, qui est de 0.17°C. La tendance selon Spencer et Christy est un peu plus basse, de 0.12°C par décennie, mais suscite toujours des doutes. Vu les incertitudes encore importantes, estimées à  $\pm 0.09^\circ\text{C}$ , qui affectent ces tendances, on ne peut toutefois plus parler de contradiction entre les mesures et les modélisations. Et un réchauffement significatif de la troposphère est unanimement constatable.

#### **Les données des radiosondes comportent aussi des erreurs de mesure non corrigées**

Reste la question des données des radiosondes, qui étaient en assez bon accord avec les données satellitaires initiales de Spencer et Christy. Un travail, publié également récemment, présente plusieurs indices selon lesquels les données de radiosondes indiquent une tendance trop faible, ceci avant tout sous les tropiques. Steven Sherwood et ses collègues montrent que le fait d'avoir augmenté, au fil des ans, la correction du réchauffement de la sonde de température par le soleil, a probablement fait apparaître une tendance imaginaire au refroidissement. Plus précisément, on a mesuré pendant les premières années des températures trop hautes, tandis que les données actuelles indiqueraient plutôt les températures correctes. Il y a plusieurs raisons de supposer cela :

- Les températures mesurées pendant la nuit, donc en l'absence de réchauffement par le soleil, ont augmenté bien davantage que celles enregistrées pendant la journée. Il n'y a pas d'explication physique à cette différence.
- Les plus grandes différences entre les tendances diurnes et nocturnes sont atteintes là où les divergences par rapport aux données à proximité du sol et aux

#### **Renseignements :**

Mesures par satellites:

Prof. Eberhard Parlow, Inst. für Meteorologie, Klimatologie und Fernerkundung, Université de Bâle, Klingelbergstr. 27, 4056 Bâle, tél. 061-267 07 01, e-mail: eberhard.parlow@unibas.ch.

Radiosondes:

Pierre Jeannet, Station Aérologique Payerne, MétéoSuisse, Les Invuardes, 1530 Payerne, tél. 026-662 62 46, e-mail: pierre.jeannet@meteoswiss.ch

#### **Pour de plus amples informations :**

Informations générales, données, graphiques (en anglais):

[http://en.wikipedia.org/wiki/Satellite\\_temperature\\_record](http://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_temperature_record)

Explications détaillées (en anglais):

[www.realclimate.org/index.php?p=170](http://www.realclimate.org/index.php?p=170)

[www.realclimate.org/index.php?p=179](http://www.realclimate.org/index.php?p=179)

Articles originaux (en anglais, [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)):

Mears and Wentz, Science 309: 1548-1551.

Santer et al., Science 309: 1551-1556.

Sherwood et al., Science 309: 1556-1559.

modélisations sont également les plus grandes, c'est-à-dire surtout sous les tropiques.

- Dans la couche atmosphérique située juste au-dessus, la stratosphère, les mesures satellitaires sont en bon accord avec les modélisations. Or ici aussi, les données de radiosondes indiquent une tendance plus négative en comparaison des autres évaluations.

L'erreur estimée sur la base de ces différences entre le jour et la nuit peut expliquer à elle seule presque entièrement la divergence entre les tendances indiquées par les radiosondes et le réchauffement à proximité du sol et selon les modèles. Cela porte à conclure que les évaluations antérieures, tant des données satellitaires que de celles des radiosondes, comportaient une ou plusieurs erreurs qui ont conduit par hasard à un résultat semblable. On connaît depuis longtemps le problème des corrections dont les données des sondes doivent faire l'objet avant de pouvoir être utilisées pour des analyses de tendances. L'élaboration de ces séries de mesures est toutefois très laborieuse, car elle doit être effectuée séparément pour chacun des nombreux types de sonde.

#### **Refroidissement de la stratosphère incontesté**

La couche atmosphérique située juste au-dessus, la stratosphère ou couche d'ozone, s'est par contre nettement refroidie pendant les dernières décennies. Tant les mesures satellitaires que les modèles du climat et que des considérations de physique théorique concordent depuis longtemps à cet égard. Aussi bien le réchauffement de la troposphère, donnant lieu maintenant à des vues plus ou moins concordantes, que le refroidissement de la stratosphère correspondent exactement à la situation attendue étant donné le renforcement de l'effet de serre et le trou d'ozone.