



# L'océan se réchauffe mais ce n'est pas le réchauffement global !

**L'homme serait en train de provoquer un réchauffement climatique de la planète. Les modèles n'étant pas confirmés par la réalité, certains scientifiques s'efforcent de faire coller la réalité aux modèles. C'est ainsi que l'océan stockerait ce prétendu réchauffement. Robert Stevenson explique l'ineptie de cette théorie.**

*Robert E Stevenson, océanographe consultant à Hawaï, entraîne les astronautes à l'océanographie et à la météorologie marine. Secrétaire général de l'International Association for the Physical Science of the Oceans entre 1987 et 1995, il a travaillé comme océanographe pour le US Office of Naval Research pendant vingt ans. Cet article est paru dans l'édition de l'été 2000 de notre confrère 21<sup>st</sup> Century, Science & Technology.*

## ROBERT STEVENSON

**L**ors d'une conférence de presse donnée à Washington DC le 24 mars 2000, l'administrateur de la US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), James Baker, a annoncé qu'il y avait depuis les années 40 « *un réchauffement des océans Atlantique, Pacifique et Indien jusqu'à des profondeurs de 3 000 m* ». Comme l'indique les recherches menées par le Laboratoire du climat océanique de la NOAA, a déclaré Baker, « *il existe, dans chaque bassin océanique, des modifications de température considérables que nous ne soupçonnions pas à d'aussi grandes profondeurs* ». Il faisait référence à un article publié le jour même dans le magazine *Science*, rédigé par Sydney Levitus, John Antonov, Timothy Boyer et Cathy Stephens, trois membres du centre de la NOAA.

Depuis quinze ans, les modélisateurs s'efforcent d'expliquer leur piètre succès dans leurs tentatives de prévoir le réchauffement global. Leurs modèles prévoient une augmentation de la température de

1,5 ° pour l'an 2000, or c'est six fois plus que ce que l'on a observé. Pas découragés pour autant, ils avancent que la chaleur générée par leur prétendu « réchauffement par effet de serre » serait stockée dans les profondeurs de l'océan, et que celui-ci la restituerait un jour pour nous menacer. Il leur fallait bien cet expédient pour relancer leur théorie de réchauffement par effet de serre induit par l'homme, puisque l'on ne dispose d'aucune preuve observable sur laquelle cette théorie pourrait s'appuyer. Aujourd'hui, elle peut s'appuyer sur l'article opportun de Levitus *et al.*

Richard A. Kerr, le journaliste de *Science* ayant rédigé le texte destiné à enthousiasmer les foules au sujet du nouvel article de la NOAA, affirme qu'« *en ce qui concerne le réchauffement global, le retard induit par l'océan suggère aussi à certains climatologues que les hausses de température futures se situeront dans les valeurs maximales des modèles de prévision* ».

Venant se joindre à la vague d'enthousiasme, James Hansen, chercheur au Goddard Institute for Space Studies, a estimé : « *Maintenant, les données du réchauffement*

des océans laissent entendre que la réponse climatique [à l'effet de serre] ne se trouve pas tout en bas du spectre. » Lui-même, ainsi que d'autres célébrités des Nations unies, penchent pour une réponse climatique d'environ 3 ° C, ou légèrement supérieure, pour la fin du siècle – c'est-à-dire le siècle prochain.

## L'étude de Levitus et al.

Dans leur article, Syd Levitus et ses collègues décrivent leurs efforts pour déterminer la quantité de chaleur que l'océan mondial contient entre sa surface et 3 000 m de profondeur, et cela depuis 1948 jusqu'en 1998. Ils ont calculé une augmentation de  $2.10^{23}$  J entre 1955 et 1995, ce qui correspond à un réchauffement moyen de l'océan (de sa surface à 3 000 m de profondeur) de 0,06 ° C. Selon eux, l'accroissement du contenu calorifique de l'océan mondial indique un taux de réchauffement de 0,3 W/m<sup>2</sup> à la surface de la Terre.

Les auteurs concluent que d'importantes modifications thermiques se sont produites entre 300 et 1 000 m de chaque océan, et encore plus profondément en ce qui concerne l'Atlantique Nord. A partir de ces modifications, ils ont déterminé que pour la couche supérieure (0 à 300 m), la température moyenne a augmenté de 0,31 ° C sur les cinquante dernières années.

Expliquant ce qui motive leur étude, ils écrivent : « [Le] rôle de l'océan [est] crucial pour comprendre la variabilité du système climatique de la Terre [...] étant donné la grande densité et la chaleur spécifique de l'eau. » En conséquence, « l'océan mondial pourrait stocker beaucoup de chaleur et retirer cette chaleur par contact direct avec l'atmosphère pendant de longues périodes de temps. »

De plus, Levitus et al. estiment que « [le] système terrestre n'est pas localement en équilibre radiatif et, de ce fait, le transport de chaleur des tropiques jusqu'aux pôles est indispensable pour retrouver l'équilibre radiatif du système terrestre ».

Pour appréhender ces processus, Levitus et ses collègues ont d'abord compilé, à partir des archives de la NOAA, les données thermiques historiques concernant l'océan de surface. Des analyses quadrillées

des données existantes ont été effectuées pour la période allant de 1960 à 1990. La base World Ocean Data a aussi été utilisée pour analyser les champs d'anomalie thermique dans l'océan.

En se servant des techniques d'analyse statistique qui sont depuis fort longtemps utilisées, (Andersen, 1974 ; Kaylor, 1977 ; Preisendorfer et Mobley, 1988), ils ont préparé des séries composites de cinq ans pour toutes les températures historiques de l'océan entre 1948 et 1996 (sic), à des niveaux de profondeur standards allant de la surface à 3 000 m. Il a été nécessaire, notent-ils, de construire des séries composites pluriannuelles des données de l'océan profond pour des périodes pluriannuelles, à cause du manque d'observations pour l'océan profond. (Amen, Charlie.)

Ces séries dans le temps ont été élaborées pour chaque bassin océanique. Les bassins nord et sud de l'océan Pacifique présentent, dans leur couche supérieure, des variations de contenu calorifique quasi bidécennaux corrélées entre les deux bassins. En 1997, le contenu calorifique du Pacifique a atteint son maximum (mais il n'est pas dit sur quelle durée).

Les auteurs poursuivent alors : « Afin de mettre nos résultats en perspective, nous avons comparé les variations du contenu calorifique de l'océan de surface avec celles du cycle climatologique annuel du contenu calorifique pour l'hémisphère Nord. » (Levitus et Antonov, 1997.) Ils ont déterminé que « les profondeurs au-delà de 300 m ont relativement peu d'influence sur les variations climatologiques du contenu calorifique » !

Il semble cependant apparaître, écrivent-ils, que « la variabilité décennale du contenu calorifique de l'océan de surface de chaque bassin constitue un pourcentage significatif des variations du cycle annuel pour chaque bassin ». (Comme cela est mentionné en ce qui concerne le Pacifique Nord par Moisan et Niiler, 1998 ; Nakamura, Lin et Yamagata, 1997 ; Tanimoto, Iwasaka, Hanawa et Tob, 1993 ; et Watanabi et Mizumo, 1994.)

Le groupe de Levitus s'intéresse en particulier aux données de l'eau profonde nord-atlantique, choisissant surtout celle à 1750 m. Ils ont découvert que cet océan s'est

réchauffé entre 1955 et 1974, et à nouveau entre 1974 et 1988. Le réchauffement n'était pas uniforme, ni horizontalement ni verticalement, mais ils ont déterminé que ces changements n'étaient pas faibles et auraient pu contribuer sensiblement au bilan thermique de la Terre sur des échelles de temps décennales. Le stockage de chaleur atteint son maximum à des profondeurs supérieures à 300 m.

Ainsi, nous bénéficions d'une connaissance supplémentaire : le contenu calorifique de l'Atlantique Nord est significatif à des profondeurs supérieures à 300 m. La variabilité temporelle de l'Atlantique Sud diffère de celle de l'Atlantique Nord, ce dernier réagissant « aux processus de convection de l'océan profond qui s'y déroulent ». En ce qui concerne l'océan mondial, ils disent : « Le Pacifique et l'Atlantique se réchauffent depuis les années 50, et l'océan Indien depuis les années 60. Le retard de l'océan Indien est peut être dû au caractère clairsemé des données d'avant 1960. »

## Les conclusions de la NOAA

Les conclusions de l'étude de la NOAA sont essentiellement :

1. Il a été constaté des modifications cohérentes du contenu calorifique de l'océan mondial pour les cinquante dernières années, aboutissant à un réchauffement net.

2. Il n'est pas déterminé si le réchauffement observé est dû à une variabilité naturelle ou s'il est anthropique (d'origine humaine).

3. Ce réchauffement conforte les arguments des modélisateurs du climat global selon lesquels le déséquilibre radiatif de la planète, pour la période 1979 à 1996, est peut-être le résultat d'un « excès de chaleur accumulé dans les océans ».

4. Les températures de surface ont connu deux périodes distinctes de réchauffement sur ce siècle : la première de 1920 à 1940, suivie d'une période de refroidissement jusqu'à ce qu'un nouveau réchauffement débute dans les années 70.

5. Lors de chaque période de réchauffement, un accroissement du contenu calorifique des océans a

précédé la hausse des températures de surface. Les scientifiques de la NOAA concluent que cela pourrait être le résultat d'une variabilité naturelle ou d'effets anthropiques, ou plus vraisemblablement *des deux*.

6. On s'interroge pour savoir si la chaleur extrême de l'océan mondial au milieu des années 90 a été causée par (a) le réchauffement pluridécennal des océans Atlantique et Indien, et (b) une polarité positive dans une possible oscillation bidécennale du contenu calorifique de l'océan Pacifique.

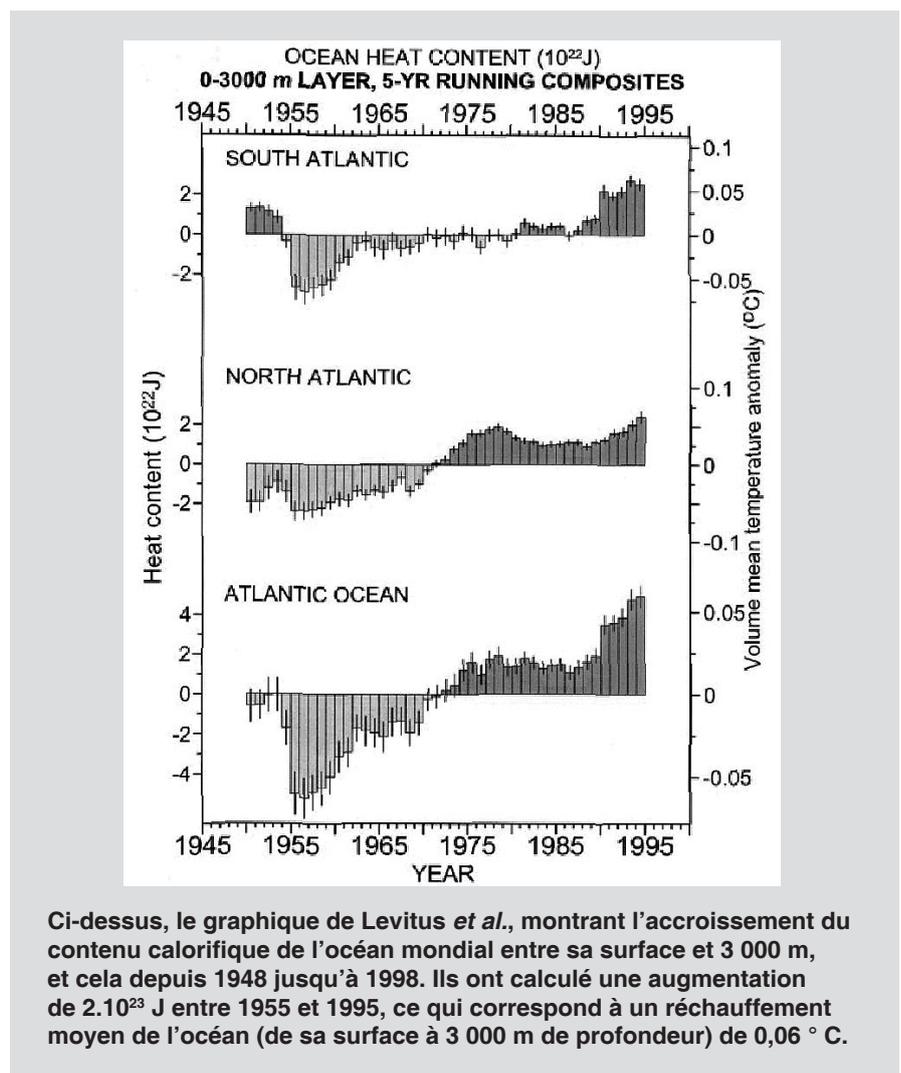
7. Enfin, concernant l'importante modification du stockage de chaleur dans l'Atlantique à des profondeurs de 300 m : il est possible que la convection dans la mer du Labrador, en brassant la colonne d'eau de 2000 m de profondeur, permette de garder relativement faibles les changements de température de surface, malgré un flux important de l'océan vers l'atmosphère. Une telle convection doit être prise en considération, surtout quand un forçage anthropique est évoqué.

## Alors, qu'est-ce que cela signifie pour Hanalei ?

(Sachant que Hanalei est la ville d'Hawaii se trouvant juste à côté d'où j'écris, je tenais à donner une touche de couleur locale à mes commentaires.) J'ai quelques fois l'impression de vivre un « saut dans le temps », comme si certains scientifiques, ou certaines personnes, n'étaient pas au courant qu'une vie rationnelle existait avant leur naissance – ou avant leur terminale. Pourtant, nous, les scientifiques de la marine, ne sommes pas entrés dans la seconde moitié du xx<sup>e</sup> siècle sans une plutôt bonne compréhension de l'océan thermique.

Par exemple, le professeur Hubert H. Lamb, le premier climatologue européen du xx<sup>e</sup> siècle \*, a écrit en 1977 qu'« il y a eu un réchauffement

\* Hubert H. Lamb fut le météorologue le plus renommé pendant et après la Deuxième Guerre mondiale. Ce que les armées de l'air britannique et américaine ont accompli en prévisions météorologiques, elles le doivent à ses travaux. Il a aussi écrit de nombreux articles ainsi que des études exhaustives en histoire de la climatologie.



général des températures de la mer, de l'ordre de  $0,5$  à  $1^{\circ}$  C entre 1880 et 1965, d'après des points dispersés sur une grande partie des océans du monde ». Lamb poursuit : « Ce réchauffement global a été identifié dans le golfe de l'Alaska, l'océan Pacifique Est, l'océan Indien Ouest, l'océan Atlantique Nord et Nord-Est et sous les tropiques des océans Indien et Atlantique. »

Durant ces quatre-vingt cinq ans, Lamb note qu'il y a eu des « minima entre 1915 et 1925 et à nouveau un entre 1940 et 1950 », ce qui veut dire que le taux de croissance des températures s'est établi à zéro mais que les températures ne sont pas descendues à des niveaux plus bas que ceux qu'elles avaient déjà atteints. Pour l'océan Atlantique,  $55^{\circ}$ N à  $40^{\circ}$ S, la température des eaux était plus basse de  $0,8$  à  $1^{\circ}$  C en 1780-1850 que celle en 1950. Il est vrai que les températures fournies par le professeur Lamb ne sont ni aussi nombreuses ni aussi précises

que celles enregistrées ces cinquante dernières années. Toutefois, elles ne sont pas sans valeur.

## Sources des températures océaniques du xx<sup>e</sup> siècle

En 1949, j'ai appris à utiliser des bouteilles Nansen et des thermomètres à renversement pour la prise d'échantillons en mer profonde. Les dix années qui suivirent, je les ai passées en grande partie en mer. Je ne peux pas me souvenir du nombre de lancers de bouteille que j'ai effectués, ni combien de bathythermographes j'ai déployés. Cela doit certainement se compter en milliers sur les côtes californiennes. D'autres étudiants ainsi que des post-docs partaient plus loin, dans le Pacifique Est, à bord du E.W. Scripps. Dans la partie la plus à l'ouest de l'Atlantique, un

cadre similaire travaillait à bord de l'Atlantis.

Dans les années 60, d'autres bateaux étaient en mer : ceux des Laboratoires de pêche, de l'US Coast and Geodetic Survey (maintenant la NOAA) et ceux des instituts de recherche de Scripps (La Jolla, Californie), de Woods Hole (Massachusetts), de Miami et de Texas A&M (dans le golfe du Mexique). Les Britanniques faisaient naviguer le New Discovery, les Allemands le New Meteor, et d'autres petits navires étaient armés par le Danemark, le Japon et la France. Nombre d'embarcations étaient destinées à l'étude géophysique du plancher océanique, alors que les échantillonnages d'eau et de température de l'océan profond étaient rares.

Des échantillons d'eau de surface étaient pris de façon systématique, mais avec des seaux depuis le pont et la soupape d'admission d'eau des machines du bateau. La plupart des thermomètres étaient calibrés au quart de degré Fahrenheit et provenaient de l'US Navy. Les seaux en acier galvanisé étaient préférés car ils duraient plus longtemps que ceux en bois ou en toile. Leur désavantage était qu'ils refroidissaient vite sous le vent, ce qui nécessitait d'enregistrer rapidement les températures.

Je tendrais à penser que si une mesure de température effectuée avec un seau s'approche de moins 0,5° de la température réelle, il s'agit soit d'un accident soit d'une bonne estimation. A l'époque, personne n'a jamais su si une mesure était bonne ou mauvaise. Chacun s'est toujours demandé quelle correction a été apportée aux mesures pour les rendre précises, et on se le demande encore aujourd'hui. Les données archivées par Levinus, et une pléthore d'autres océanographes, ont été prises par moi-même, des étudiants, des post-docs ainsi que des marins techniciens. Ceux d'entre nous qui ont obtenu ces données, ne se laisseront pas impressionner par ceux qui affirment que ces « données historiques trouvées enfouies dans des archives poussiéreuses » sont d'une grande précision.

Je suis un peu curieux (le mot est faible) à propos de cette grande « chasse au trésors » menée par les gens de la NOAA-NESDIS (National Environmental Satellite Data Information System). En 1970, avec la

mise en place de l'International Decade of Ocean Exploration, toutes les institutions sous contrat avec les agences gouvernementales ainsi que toutes les agences gouvernementales ont été sollicitées pour faire parvenir leurs données au National Ocean Data Center ; y compris les données d'avant 1970. Ils ont eu un certain délai pour faire cela – environ cinq ans si je me souviens bien. Ces données ont été rendues plus accessibles grâce à l'ensemble de données GISST (Global Ice and Sea Surface Temperature), rassemblées par Folland et Powell en 1994 à partir du Hadley Center en Angleterre, ainsi que grâce aux ensembles de données de bathythermographe (BTs), rassemblées par la Scripps Institution. Presque tous les derniers BTs ont été menés lors de programmes coordonnés par la NOAA ; je pense donc qu'ils n'ont pas dû aller bien loin pour trouver ces données.

## Éléments de base de climatologie océanique

C'est en 1958 que j'ai écrit mon premier papier sur l'influence des océans sur le climat. L'année suivante, je l'ai passée en Angleterre à travailler pour la Navy afin d'établir si oui ou non les « microclimats », comme nous les appelions alors, le long des côtes de la mer du Nord, étaient déterminés par l'océan adjacent. Durant un an, j'ai visité tous les laboratoires maritimes et centres de recherche d'Europe occidentale.

C'est en Allemagne, au Seewetteramt (branche du Bureau météorologique allemand dépendant de la Marine), que j'ai rencontré pour la première fois deux climatologues remarquables, Martin Rodewald et Hans Markgraf, ainsi que leur directeur, le Dr Hans U. Roll, le premier météorologue de marine de l'époque. Ils étudiaient des zones bien plus grandes que je ne le faisais – l'Atlantique Nord et les mers polaires – ainsi que leur influence climatique sur l'Europe du nord-ouest. J'ai appris beaucoup de choses en collaborant avec eux, en particulier, les processus par lesquels l'océan et l'atmosphère fonctionnent ensemble.

Ces interactions commencent es-

sentiellement là où se rencontrent les océans et l'atmosphère. Plus de 70 % de la surface de la Terre sont couverts par les océans, les mers et les lacs, et cinq autres pour-cent le sont par les glaciers et les calottes glaciaires. Plus des deux tiers de cette surface d'eau se trouve dans l'hémisphère Sud, et les océans ont une profondeur de 4 à 5 km.

L'atmosphère ne peut se réchauffer avant que la surface sous-jacente ne se soit elle-même réchauffée. L'atmosphère basse est transparente aux rayons directs du Soleil, ce qui l'empêche de se réchauffer de façon significative par la seule action du Soleil. L'atmosphère de surface se réchauffe donc de trois façons : par contact direct avec les océans, par le rayonnement infrarouge émis à partir de la surface de l'océan et par la restitution de chaleur latente d'évaporation de l'eau. En conséquence, la température de la basse atmosphère est en grande partie déterminée par la température de l'océan.

Les terres intérieures sont moins sujettes à l'influence des océans, et elles subissent des variations de températures bien plus importantes qu'au-dessus des océans. La terre ne peut conserver sa chaleur bien longtemps ; ceci explique pourquoi les journées chaudes des régions désertiques sont vite suivies de nuits froides. Toutefois, en ce qui concerne presque l'ensemble de notre planète, les températures dominantes de l'océan fixent la température de l'air.

Cela peut se produire de différentes façons :

1. Les océans transportent de la chaleur à travers le globe par d'importants courants qui traversent les différents bassins océaniques. De ce fait, les tropiques sont plus froids qu'ils ne devraient l'être, et les terres de hautes latitudes sont plus chaudes. La circulation de chaleur dans les océans modère les températures de l'air sur l'ensemble du globe.

2. A cause de la grande densité et chaleur spécifique de l'eau de mer, la totalité de la chaleur de l'atmosphère recouvrant les océans est contenue dans les premiers deux mètres de ceux-ci. Cette énorme capacité de stockage permet aux océans de jouer le rôle de « tampon » lors d'écart importants de température, modérant aussi bien les vagues de froid que celles de chaleur.

3. L'évaporation a lieu en perma-

nence à la surface des mers. Elle est au plus fort dans les tropiques et au plus faible aux pôles. L'effet de l'évaporation est de refroidir les océans ainsi que l'atmosphère de surface.

## Comment l'océan se réchauffe

Réchauffer l'océan n'est pas une simple affaire, et cela n'a rien à voir avec réchauffer un verre d'eau. La première chose à retenir est que *l'océan n'est pas réchauffé par l'air qui le recouvre.*

Commençons avec deux sources de chaleur : la lumière du Soleil et le rayonnement infrarouge, ce dernier étant émis par les gaz à « effet de serre » dans la basse atmosphère (vapeur d'eau, dioxyde de carbone, méthane, etc.). La lumière du Soleil pénètre la surface de l'eau et réchauffe facilement et directement l'océan jusqu'à une certaine profondeur. Environ 3 % des rayons du Soleil atteignent une profondeur de quelque 100 m.

Jusqu'à cette profondeur, la

couche supérieure de l'océan se réchauffe facilement par les rayons du Soleil. Cependant, au-delà de 100 m, il reste un peu d'énergie radiante. Au fur et à mesure que l'on descend, l'océan devient progressivement plus froid et plus sombre. (La température de l'océan à Hawaii est, en général, de 26 °C en surface, et 15 °C à une profondeur de 150 m.)

Le rayonnement infrarouge ne pénètre que quelques millimètres dans l'océan. Cela signifie que le rayonnement d'effet de serre de l'atmosphère n'affecte que les premiers millimètres de l'océan. Au-delà de quelques centimètres de profondeur, l'eau ne reçoit plus aucun effet direct de l'énergie thermique infrarouge de l'atmosphère ! De plus, c'est dans ces quelques millimètres en surface qu'a lieu l'évaporation. Ainsi, quelle que soit l'énergie infrarouge transmise à l'océan à cause de l'effet de serre, elle est vite dissipée.

Selon un concept proposé dans certains modèles de prévision, toute anomalie de chaleur dans la couche de mélange océanique (les premiers 100 m), pourrait être absorbée par l'océan profond. De nombreuses études traitent de ce processus

(Nakamura, 1997 ; Tanimoto, 1993 ; Trenberth, 1994 ; Watanabi, 1994 ; et White, 1998). Il est clair que les variations de températures dues au Soleil dans la couche de mélange pénètrent jusqu'à 80-160 mètres, la profondeur moyenne de la principale pycnocline (ligne de changement de densité). Au-delà de ces profondeurs, les fluctuations de températures ne sont plus corrélées avec les signaux solaires, une pénétration plus profonde étant empêchée par la barrière stratifiée de la pycnocline.

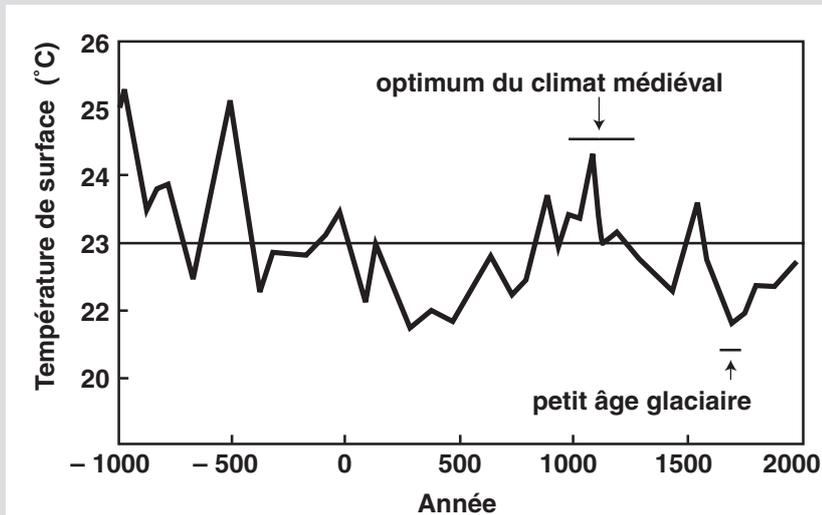
En conséquence, l'anomalie de chaleur due au changement du rayonnement solaire se trouve stockée dans ces premiers 100 m. Le bilan thermique est maintenu par la perte de chaleur vers l'atmosphère, et non dans l'océan profond.

## Que dire de la circulation thermohaline ?

Le fait que l'océan de surface puisse devenir plus dense que les eaux sous-jacentes, plongeant ainsi à des profondeurs d'« équilibre de densité », est débattu depuis la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle avec les premières études physiques de l'océan. Le concept était sans doute connu avant le voyage du HMS Challenger en 1873, lors de sa fameuse expédition. Une des nombreuses suggestions émises par les membres de la Royal Society de l'époque, était d'examiner « *le retournement des eaux de surface provoqué par des différences de densité* ».

La circulation thermohaline est responsable de la formation des masses d'eau profondes de l'océan : l'eau profonde nord-atlantique (EPNA) provient principalement de la région du Labrador ; l'eau profonde antarctique circumpolaire trouve sa source dans la mer de Weddell ; et l'eau profonde du Pacifique provient de la mer de Ross. Dans beaucoup d'autres endroits des océans, de même que dans les mers, les eaux de surface s'écoulent vers le fond par la circulation thermohaline.

Il n'est donc pas surprenant que ces modélisateurs qui ont « besoin » d'avoir des eaux de surface chaudes s'enfonçant dans les profondeurs des océans, et devant rester séquestrées là pour de longues périodes



Températures de surface de la mer des Sargasses (de 1000 avant J.-C. à 2000 après J.-C.). Les températures de surface de la mer des Sargasses ont été déterminées par les rapports isotopiques des organismes marins qui sont restés dans les sédiments au fond de la mer. La ligne horizontale correspond à la température moyenne pour cette période de trois millénaires. Notez les deux plus récents écarts de température par rapport à la moyenne, tous deux d'origine naturelle : le petit âge glaciaire et l'optimum du Moyen Age. Les données proviennent du Dr Cesare Emiliani de l'université de Miami.

de temps, se soient orientés vers le mécanisme physique de ce système de circulation verticale. Leur espoir (affirmation) est qu'il arrive que la salinité, plutôt que la température, soit le facteur déterminant de la densité des eaux de surface. Alors, l'eau chaude, rendue dense par un accroissement de la salinité, sombrerait.

Mais ce n'est pas le cas !

Le facteur physique fondamental qui détermine la densité de l'eau de mer est la *température* (Sverdrup, Johnson et Flemming, 1943). Les différences de salinité de l'océan, en surface ou en profondeur, se mesurent en quelques parties pour mille. La circulation thermohaline a lieu quand les eaux de surface deviennent plus froides que celles se trouvant juste en dessous. De grands écoulements verticaux d'eau se produisent dans les eaux polaires, où la perte radiative accélérée rend les eaux de surface beaucoup plus froides que les eaux profondes.

Les eaux de surface sont alors de  $-1,9^{\circ}\text{C}$ , la salinité de l'eau l'empêchant de se transformer en glace. Les eaux profondes, étant plus chaudes que les eaux de surface, remontent à la surface, tandis que les couches supérieures sombrent lentement dans les profondeurs sombres de l'océan. Du fait que seule l'eau de surface très froide soit susceptible de sombrer, il est facile de comprendre pourquoi l'océan profond ne peut jamais se réchauffer, quelle que soit la chaleur de l'océan de surface. Aucun « décalage thermique » profond ne surgira. C'est clair qu'aucun Phœnix ne viendra nous hanter.

## Le grand bleu profond

D'une manière ou d'une autre, j'ai participé ces cinquante dernières années à tout ce qui touche aux relations océan-climat. En 1987, je suis devenu le secrétaire général de l'IAPSO, travaillant étroitement avec les institutions sœurs de météorologie (IAMAP), d'hydrologie (IAHS), et de volcanologie (IAVCEI), toutes au sein de l'« institution mère » l'IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics). C'est alors que j'ai dû faire face pour la première fois aux affirmations de la World Meteorological Organization (WMO) et

du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE). Ils prétendaient qu'un réchauffement global de l'atmosphère était en pleine expansion, induit par un excès d'enthousiasme de l'humanité à vouloir voyager, se tenir au chaud et se nourrir. Par leur désir de vouloir améliorer leur sort, les êtres humains étaient en train d'accroître, hors de toutes limites, la teneur en  $\text{CO}_2$  de la « serre » terrestre. Je fus franchement surpris par cette affirmation, et n'en croyais pas un mot.

En tant qu'océanographe ayant plusieurs fois parcouru le monde, j'étais plutôt convaincu de bien connaître les facteurs influençant le climat de notre planète. Les océans, grâce à leur énorme densité et capacité de stockage de chaleur, constituent le facteur dominant pour notre climat. C'est le bilan thermique ainsi que les échanges d'énergie des océans qui déterminent fondamentalement la température moyenne de l'atmosphère globale. Ces interactions, ajoutées à l'évaporation, sont tout à fait capables d'annuler les faibles effets de la production de  $\text{CO}_2$  par l'homme.

En 1991, lors de l'assemblée générale de l'IUGG à Vienne, les présidents et secrétaires généraux des quatre associations mentionnées ci-dessus, ont discuté du programme que nous souhaitions proposer à l'International Commission of Scientific Unions (ICSU) en vue de la conférence internationale de Rio de Janeiro de 1992. D'un commun accord, nous avons décidé de ne préparer aucun programme !

Je paraphrase ici notre déclaration commune : « *Pour ne vouloir tenir compte que d'une seule variable, à savoir le rayonnement traversant l'atmosphère et l'« effet de serre » qui lui est associé, devant jouer le rôle moteur en ce qui concerne le climat atmosphérique et océanique, on présente une vue simpliste et absurde des interactions complexes de forces entre la terre, l'océan, l'atmosphère et l'espace.* »

De plus, nous ajoutons que « *les modèles climatiques se sont concentrés sur l'atmosphère avec seulement une représentation peu élaborée de l'océan* ». En réalité, certains des premiers modèles décrivaient les océans comme presque stagnants. L'approche logique aurait été de modéliser d'abord les océans (des

modèles raisonnables étaient déjà disponibles), et d'y ajouter ensuite les facteurs atmosphériques.

Eh bien, aucun à l'ICSU ni au PNUE-WMO n'était en extase devant notre suggestion. Au contraire, ils ont simplement continué à développer des modèles climatiques à partir de leurs anciens modèles. En faisant de la sorte, ils ont imposé une approche entièrement atmosphérique là où, en fait, les processus sont principalement dominés par l'océan.

Alors, que vient faire l'article de la NOAA ?

J'étais plutôt impatient de lire l'article de Syd Levitus et ses collègues. J'étais assez déconcerté par les titres sur le « réchauffement manquant », mais je me disais que c'était le batin habituel des médias.

Pourtant, je me trouve au milieu de l'océan Pacifique, entouré d'articles (revus par des pairs, devrais-je ajouter) qui concluent :

1. Pour au moins les deux dernières décennies, et sans doute pour les sept dernières, la vraie température de l'air en surface ne semble pas avoir connu de changement net.

2. Il y aurait dû avoir un accroissement assez important du forçage radiatif de l'atmosphère induit par le  $\text{CO}_2$ , mais tel ne fut pas le cas. Cela doit signifier qu'une suite de rétroactions compensatoires a brisé l'élan de l'« effet de serre » dans son rôle de réchauffement.

3. Ceci implique alors que la planète ne se réchauffera pas par un quelconque accroissement de production de  $\text{CO}_2$  par l'homme.

4. Ceci indique que tout accroissement de température s'inscrira dans la tendance des  $+0,048^{\circ}\text{C}$  par décennie, soit environ  $0,5^{\circ}\text{C}$  ce siècle. Cette taux de réchauffement est celui qui prévaut depuis le petit âge glaciaire qu'ont connu, vers 1750, l'Europe, l'Amérique du Sud et la Chine.

5. Ceci suggère que le stockage de chaleur dans l'océan de surface se fait dans les premiers 100 m, et que son amplitude donne une hausse de température à ces profondeurs de  $0,5^{\circ}\text{C}$  pour les cinquante dernières années (en ce qui concerne les parties de l'océan dont on possède des données).

6. Ce réchauffement (et refroidissement) global de l'océan se produit suivant des échelles de période bisannuelle, ENSO, décennale et

interdécennale.

7. Par conséquent, ces changements thermiques de l'océan qui se produisent à des échelles centennaires et qui reflètent la tendance de réchauffement de ces dernières cin-

quante à cent années, peuvent être expliqués par des modes internes intrinsèques à la Terre poursuivant leur cycle normal de réchauffement et de refroidissement, indépendant aussi bien des influences radiatives

qu'anthropiques.

En fait, la question que je me pose vraiment, c'est : « Quelle était la motivation première de Syd Levitus et ses associés pour écrire cet article ? » ■

## Références

- N. Andersen, 1974. « On the calculation of filter coefficients for maximum entropy spectral analysis », *Geophysics*, Vol. 39.
- J.I. Antonov, *et al.*, 1998. « World Ocean Data Atlas, Atlantic Ocean temperature fields », Vol. 1, *NOAA Atlas*, NESDIS 27.
- J. Bjerknes, 1966. « A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperatures », *Tellus*, Vol. 18.
- C. Deser, et M. Blackman, 1993. « Surface climate variation over the North Atlantic Ocean during winter : 1900-1999 », *J. Clim.*, Vol. 6.
- C. Deser, M.A. Alexander, et M.S. Timlin, 1993. « Upper-ocean thermal variations in the North Pacific during 1970-1991 », *J. Clim.*, Vol. 9.
- D.K. Folland, D.E. Parker, et F.E. Kates, 1984. « Worldwide marine temperature fluctuations 1856-1981 », *Nature*, Vol. 310.
- D.K. Folland et D.P. Powell, 1994. « The Standard GISST Data Sets : Version 1 and 2 », *Clim. Res. Tech. Note 56*, Bracknell, England : Hadley Center.
- P. Foukal, et J. Lean, 1990. « An empirical study of total solar irradiance variation between 1874-1988 », *Science*, Vol. 247.
- J.G. Graham, 2000. « The formation and propagation of North Atlantic heat content anomalies », *Eos*, Trans. AGU, Vol. 80.
- N.E. Graham, W.B. White, et A. Pares-Sierra, 1990. « Low frequency ocean-atmosphere interactions in the tropical Pacific, in Air-Sea Interactions in the Tropical Western Pacific », In *Air Sea Interactions in the Tropical Western Pacific*, Eds. C. Jiping and J. Young (Beijing : China Ocean Press).
- S.L. Howard, et R. D. Muench, 2000. « Upper ocean stability and water mass formation northwest Weddell Sea winter », *Eos*, Trans. AGU, Vol. 80.
- Z. Jaworowski, 1996. « Greenhouse Gases in Polar Ice-Artifacts or Atmospheric Reality ? », *Umseit und Chemie*, (Ulm : Gesellschaft Deutscher Chemiker, Oct. 7-10).
- Z. Jaworowski, T.V. Segelstad, et V. Hisxdal, 1992. « Atmospheric CO<sub>2</sub> and Global Warming », *Oslo Norsk Polarinstittut*, Meddeleiser, Vol. 119.
- R.E. Kaylor, 1977. « Filtering and decimation of digital time series », *Tech. Rep. Note BN 850*, Inst. Phys. Sci. and Tech. (College Park, Md. : Univ. of Maryland).
- L.D. Keigwin, 1996. « The Little Ice Age and Medieval Warm Period in the Sargasso Sea », *Science*, Vol. 274.
- K.A. Kelly, 2000. « Interannual-to-decadal variations in the upper ocean heat budget in the Western North Pacific », *Eos*, Trans. AGU, Vol. 81.
- Y. Kushnir, 1994. « Interdecadal variations in the North Atlantic sea surface temperature and associated atmospheric conditions », *J. Clim.*, Vol. 11.
- M. Latif, et T.P. Barnett, 1994. « Causes of decadal climate variability over the North Pacific and North America », *Science*, Vol. 266.
- J.L. Lean, O.R. White, et A. Skumanich, 1995. « The solar ultraviolet irradiance in the Maunder Minimum », *Glob. Biogeochem. Cycles*, Vol. 28.
- S. Levitus, J.L. Antonov, T.P. Boyer, et Cathy Stephens, 2000. « Warming of the world ocean », *Science*, Vol. 287.
- M.E. Mann, J. Park, et R.S. Bradley, 1995. « Global interdecadal and century-scale climate oscillations during the past 5 centuries », *Nature*, Vol. 378.
- A.J. Miller, D.R. Cayan, et W.B. White, 1998. « A decadal change in the North Pacific thermocline and gyre-scale circulation », *J. Phys. Ocean.*, Vol. 27.
- S. Minobe, 2000. « Pacific Pentadecadal Oscillation », *Eos*, Trans. AGU, Vol. 218.
- J.R. Moisan, et P.P. Niiler, 1998. « The seasonal heat budget North Pacific ; Net heat flux and storage rates (1950-1990) », *J. Phys. Ocean.*, Vol. 28.
- \_\_\_\_\_, 1998. « Decadal climate variability in the North Pacific during recent decades », *Bull. Am. Met. Soc.*, Vol. 78.
- N.E. Newell, R.E. Newell, J. Hsuing, et W. Zhongxiang, 1989. « Global marine temperature variation ; the solar magnetic cycle », *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 16.
- D.E. Parker, P.D. Jones, C.K. Folland, et A. Bevan, 1994. « Interdecadal changes of surface temperature since the late nineteenth century », *J. Geophys. Res.* Vol. 99.
- E.S. Posmetier, W.H. Soon, et S.L. Baliunas, 1998. « Correlations from Solar Irradiance, in Global Warming – The Continuing Debate », *European Science and Environment Forum*.
- R.W. Preisendorfer, et C.D. Mobley, 1988. *Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography* (New York : Elsevier).
- A. Sarkisyan, et S. Levitus, 2000. « Ocean Climate Characteristics by Amalgamating WOCE-Levitus Hydrographic Data », *Eos*, Trans. AGU, Vol. 80.
- I.D. Schroeder, B.L. Lipphardt, T.C. Royer, A.D. Kirwan, et C.E. Grosch, 2000. « Normal mode analysis of North Pacific SSTs », *Eos*, Trans. AGU, Vol. 80.
- T.V. Segelstad, 1996. « Carbon Isotope Mass Balance of Atmospheric CO<sub>2</sub> », in *The Global Warming Debate*, Ed. J. Emsley, (London).
- R.E. Stevenson, 1962. « Climatic amelioration in Southern California, 1955-1960 », *J. Applied Met.*, Vol. 1.
- \_\_\_\_\_, 1964. « The influence of a ship on the surrounding air and water temperatures », *J. Applied Met.*, Vol. 3.
- \_\_\_\_\_, 1996. « An oceanographer looks at the non-science of global warming », *21<sup>st</sup> Century*, Vol. 9.
- R.E. Stevenson, et R.S. Armstrong, 1965. « Heat loss from the surface waters, northwest Gulf of Mexico from Hurricane Carla », *Geophys. International*, Vol. 5.
- H. Svensmark, et E. Friis-Christensen, 1997. « Cloud suppression by solar winds », *J. Atmos. Sol-Terrest. Phys.*, Vol. 59.
- H.U. Sverdrup, M.W. Johnson, et R.H. Fleming, 1942. *The Oceans : Their Physics, Chemistry and General Biology* (New York : Prentice Hall).
- Y. Tanimoto, N. Iwasaka, K. Kananwa, et Y. Tobe, 1993. « ENSO signals in global upper ocean temperature », *J. Clim.*, Vol. 6.
- K.E. Trenberth, et J.W. Hurrell, 1994. « Decadal atmospheric-ocean variations in the Pacific », *Clim. Dyn.*, Vol. 9.
- F. Vauclair, et Y. Du-Penhoat, 2000. « Interannual Variability in the Tropical Atlantic Ocean between 1979 and 1999 from a Gridded Data Set », *Eos*, Trans. AGU, Vol. 80.
- T. Watanabe, et K. Mizuno, 1994. « Decadal changes in the thermal structure of the North Pacific », *Int. WOCE Newsl.* Vol. 15.
- W.B. White, R. L. Bernstein, G. McNally, R. Dickson, et S. Pazan, 1980. « The thermocline response to the transient atmospheric forcing in the interior mid-latitude Pacific Ocean », *J. Phys. Ocean.*, Vol. 10.
- W.B. White, et D.R. Cayan, 1998. « Quasi-periodicity and global symmetries in interdecadal upper ocean temperature variability », *J. Geophys.*, Vol. 103.
- W.B. White, J. Lean, D.R. Cayan, et M.D. Dettinger, 1997. « Response of global upper ocean temperature to changing solar irradiance », *J. Geophys. Res.*, Vol. 102.
- T. Wigley, et P.M. Kelly, 1992. « Solar cycle length, greenhouse forcing and global climate », *Nature*, Vol. 360