

La «calibration» des événements ENSO des derniers siècles

Retracer la séquence temporelle de l'ENSO sur les derniers siècles, période qui inclut à la fois la période pré-industrielle, et des épisodes climatiques plus froids (Petit Age Glaciaire) ou plus chauds (Episode chaud Médiéval) que le XXe siècle, est une préoccupation majeure à l'heure actuelle. L'étude des archives historiques de la côte pacifique de l'Amérique du Sud apporte de précieuses informations.

El Niño : un phénomène de variabilité irrégulier

Le phénomène El Niño constitue la première cause de variabilité climatique interannuelle à l'échelle globale, voir l'article précédent «El Niño - et passés». Les enjeux économiques, notamment pour certains pays tropicaux particulièrement exposés, conduisent à mettre l'accent sur une analyse de plus en plus fine des précurseurs et de l'évolution des manifestations El Niño, de manière à pouvoir prédire non seulement la période d'apparition de l'événement suivant mais également l'intensité du phénomène, et les désastres qui l'accompagnent souvent, voir l'article dans ce numéro «El Niño 97 et sa prévision».

La périodicité des événements El Niño n'est pas fixe, même si statistiquement une «quasi-cyclicité» de l'ordre de 3,7 ans a pu être calculée. Le cycle de développement de l'anomalie, également, varie d'un événement à l'autre. Cette variabilité dans les périodes d'apparition, la durée, l'intensité et la récurrence du phénomène compliquent sérieusement les études de prédictibilité. Or, les séries temporelles sur lesquelles travaillent la grande majorité des chercheurs sont limitées aux toutes dernières décennies, les seules pour lesquelles on dispose de données instrumentales suffisamment précises sur les conditions océaniques et atmosphériques. Les séries de données pluviométriques ou de température de l'air peuvent, quant à elles, atteindre un siècle ou un siècle et demi, rarement plus. Ces fenêtres temporelles sont très courtes.

Etendre la séquence temporelle à plusieurs siècles à l'aide d'enregistrements paléoclimatiques continus, à résolution annuelle, de marqueurs de conditions ENSO est donc devenu une nécessité. Cela explique l'intérêt porté ces dernières années pour les séquences coralliennes et les carottes de glaces des zones tropicales. Au niveau international, ces recherches sont regroupées dans le projet ARTS (Annual Records of Tropical Systems) du programme PAGES et commencent à être prises en compte dans CLIVAR. Une autre source d'information importante et mal connue est l'étude des documents historiques.

«Calibration» studies for ENSO events of the last few centuries

The reconstruction of the chronological sequence of ENSO events during the last few centuries, which included altogether the pre-industrial period and cooler (Little Ice Age), or warmer (Medieval Warm Interval), episodes than the twentieth century, became a major preoccupation nowadays. The study of documentary historical archives from the Pacific coast of South America brings out useful data in that matter.

El Niño: an irregular phenomenon of variability

The El Niño phenomenon is considered as the major cause of interannual climatic variability at a global scale, see the previous paper «El Niño, past and present». Economical stakes, of particular importance for some exposed tropical countries, lead to re-assess more precisely the precursors and the evolution of the El Niño manifestations, in such a way that not only the date, but also the intensity of the following event (and the accompanying disasters) can be predicted, see the joint paper «1997 El Niño and its prediction».

The periodicity of the El Niño events is not constant, even if a quasi-cyclicity of the order of 3.7 years could be statistically calculated. The development cycle of the coupled ocean-climate anomaly also varies from one event to the other. This variability in the date of appearance (within the year), the duration, the intensity and the recurrence of the phenomenon seriously hamper the predictability studies. Beside, the historical sequences on which can work most of the researchers are limited to the few last decades, those for which we have access to sufficiently accurate instrumental data on oceanic and atmospheric conditions. Historical series of rainfall and air temperature data seldom exceeds a century or a century and a half. These time windows are very narrow.

To extend the time series of ENSO conditions markers to several centuries, through continuous paleoclimatic records with an annual resolution, thus became a necessity. This explains the recent focus on coral and ice core proxy studies developed in the tropical area. At an international level, this research activity is co-ordinated in the project ARTS (Annual Records of Tropical Systems) within the PAGES programme and begins to be taken into account in the CLIVAR programme. Another important, and ill-known, source of information is the study of historical documentary data.

The historical chronologies of W. Quinn

The earliest research on the variability of the El Niño phe-



Les chronologies historiques de W. Quinn

Les premières recherches sur la variabilité du phénomène El Niño et la définition de son intensité sont à porter au crédit de W. Quinn († 1993) qui dès la fin des années 70 proposa une séquence historique des événements El Niño. Cette chronologie couvrant les quatre derniers siècles et demi fut établie par la compilation de données historiques provenant du Pérou, région où fut définie (en 1891, par L. Carranza) l'anomalie océano-climatique «El Niño». Quinn et ses collaborateurs analysèrent et interprétèrent un grand nombre de documents laissés par les conquistadores du Pérou, diverses chroniques historiques, des archives municipales et provinciales, des récits de marins, et des témoignages rapportés dans des ouvrages et journaux variés. Les indices utilisés d'occurrence d'événements El Niño étaient des descriptions de pluies violentes, d'inondations et de crues de rivières dans le désert côtier du Pérou, des délais anormalement courts de navigation dans le Pacifique oriental, des effets secondaires d'anomalies thermiques (océaniques ou atmosphériques).

Dans la première séquence historique publiée en 1987 l'essentiel des sources d'information provenait de la côte péruvienne, et plus rarement des régions limitrophes. Par la suite, au début des années 90, Quinn compléta cette séquence en incluant d'autres régions (sud-est de la Bolivie, le Chili central, le nord-est brésilien). Parallèlement il élaborait une séquence qualifiée de «globale» qui prenait en compte, en plus, des données documentaires sur les crues du Nil et les anomalies pluviométriques en Inde et en Australie (voir colonnes 4 et 5 du tableau joint). L'intensité de chaque événement était estimée ainsi que le degré de confiance accordé à la reconstitution.

Ces chronologies ont, depuis, joué un rôle très important : la plupart des travaux portant sur la relation ENSO/forçage solaire, les calibrations de divers types d'enregistrements paléoclimatiques (dendroclimatologie, séquences glaciaires et coralliennes, «varves» marines), la variation dans le temps des intensités supposées des événements, ou l'analyse des interactions avec des variations climatiques décennales à séculaires, se sont très largement, sinon exclusivement, reposés sur les chronologies proposées par Quinn et al.

Manifestations historiques d'El Niño au Pérou et au Chili

Une analyse détaillée des sources citées par Quinn et al. a été entreprise dès 1992 dans le cadre d'une collaboration entre chercheurs de l'ORSTOM (renommé IRD), du CNRS, de l'Institut Français d'Etudes Andines (Lima) et de l'Institut de géophysique du Pérou. Une révision critique des archives citées par Quinn montra certaines incohérences et souleva plusieurs problèmes de réinterprétation, et il apparut nécessaire de réexaminer

nomenon and the definition of its intensity must be credited to William Quinn († 1993) who as early as the late seventies began to work on a historical sequence of El Niño events. This chronological sequence that encompasses the last four and a half centuries was established through a compilation of documentary data from Peru, the region where the ocean-climate El Niño anomaly had been defined (in 1891, by L. Carranza). Quinn and collaborators used and interpreted a large number of documents written by conquistadors, historical chronicles, municipal and provincial archives, sailor stories, and a series of testimonies and accounts from varied books and newspapers. Evidence used to reconstruct El Niño occurrences included mentions of strong rainfalls, floods and river swellings in the Peruvian coastal desert, anomalously short trips in the eastern Pacific, secondary effects of temperature rises (both in the nearshore area and in the atmosphere).

In the first sequence published in 1987, most of the historical sources came from the Peruvian coastal region, and in some cases from nearby areas. Later on, in the early nineties, Quinn added to this sequence data from other regions (south-eastern Bolivia, central Chile, north-eastern Brazil). At the same time, he produced a chronological sequence of «global» events that took into account documentary data on the Nile river floods and rainfall anomalies in India and Australia (see columns 4 and 5 in Table). The intensity of every event was tentatively reconstructed, and the confidence in the reconstruction was also evaluated by the authors.

Since then, these chronological sequences played an important role. Most of the studies dealing with the relationship ENSO/solar forcing, different kinds of calibration studies of paleoclimatic records (dendroclimatic studies, ice cores, coral reef sequences, marine "varves"), variation through time of the event intensity or the analysis of the interactions between the decadal to centennial variations, heavily (or exclusively) relied upon the chronological sequences proposed by Quinn et al.

Historical El Niño manifestations in Peru and Chile

A careful analysis of the sources called for by Quinn et al. was undertaken in 1992, in the framework of a collaborative study between ORSTOM (recently renamed IRD), CNRS, the Institut Français d'Etudes Andines and the Geophysical Institute of Peru. A critical review of some of the sources mentioned by Quinn showed various inconsistencies and posed several problems of re-interpretation, to the point that it became necessary to re-examine systematically all these sources. This analysis, occasionally complemented by additional, recently discovered, sources, lead to question the reconstruction of a number of so-called events, and in some cases to document the

Les variations anthropiques du climat sont-elles prévisibles? Can we predict anthropogenic climate changes?

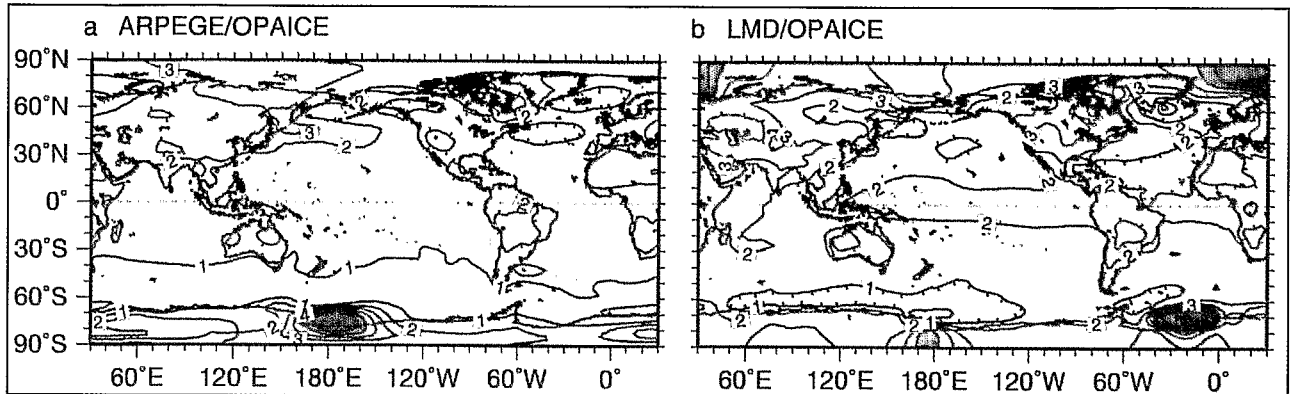


Figure 1: Résultat de modélisation : variation de la température annuelle de surface de l'air (à 2 mètres d'altitude) simulée respectivement par les modèles couplés de l'IPSL et du CNRM/CERFACS (d'après Barthelet et al, 1998). Les modèles sont soumis à une croissance du CO₂ atmosphérique de 1% par an : les résultats correspondent à une différence entre les 20 années qui précèdent le doublement du CO₂, et la simulation de référence correspondant au climat actuel (en degrés). Les deux modèles montrent une forte similitude dans la distribution à grande échelle du réchauffement; cependant de fortes divergences apparaissent à l'échelle régionale.

Change of the annual mean surface air temperature (at 2m height), simulated respectively by the IPSL and CERFACS/CNRM model. The models are forced by a 1% yearly increase of the CO₂. The results correspond to a difference between the 20 years which precedes the CO₂ doubling and the control simulation corresponding to present climate (in degrees). Both models present similar feature of warming at global scale but show large discrepancy at regional scale.

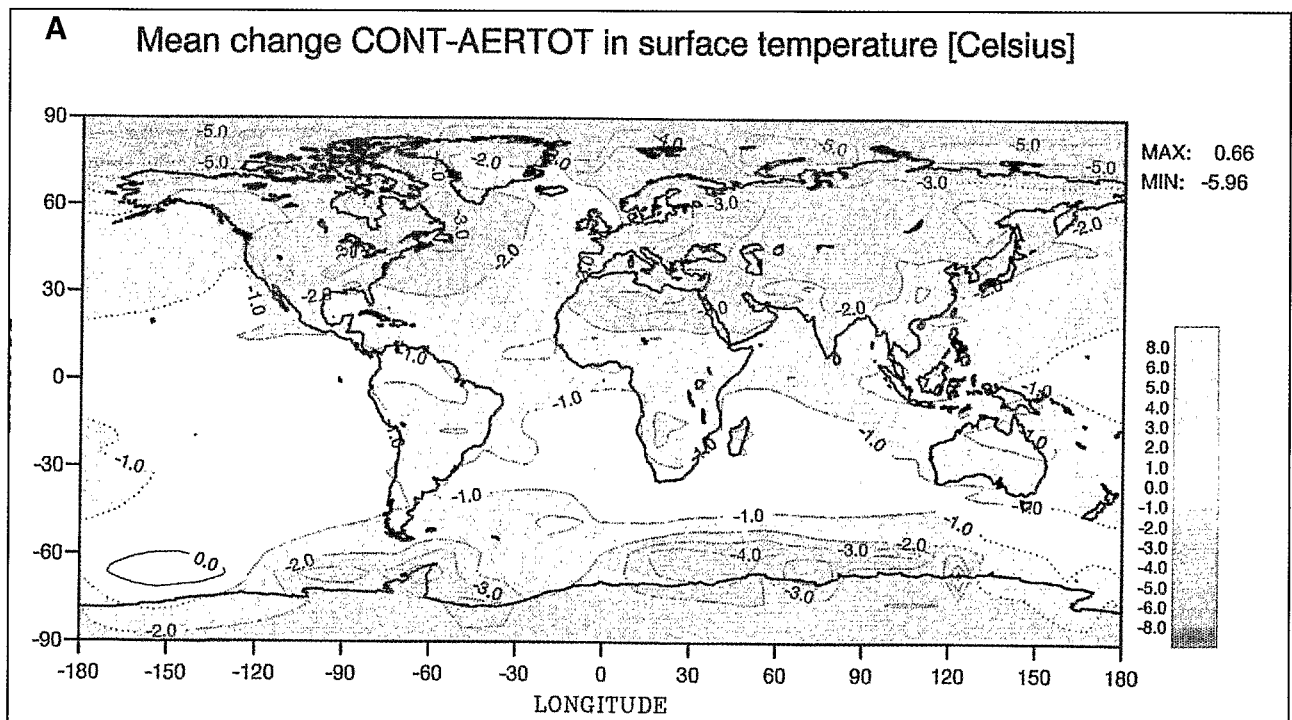
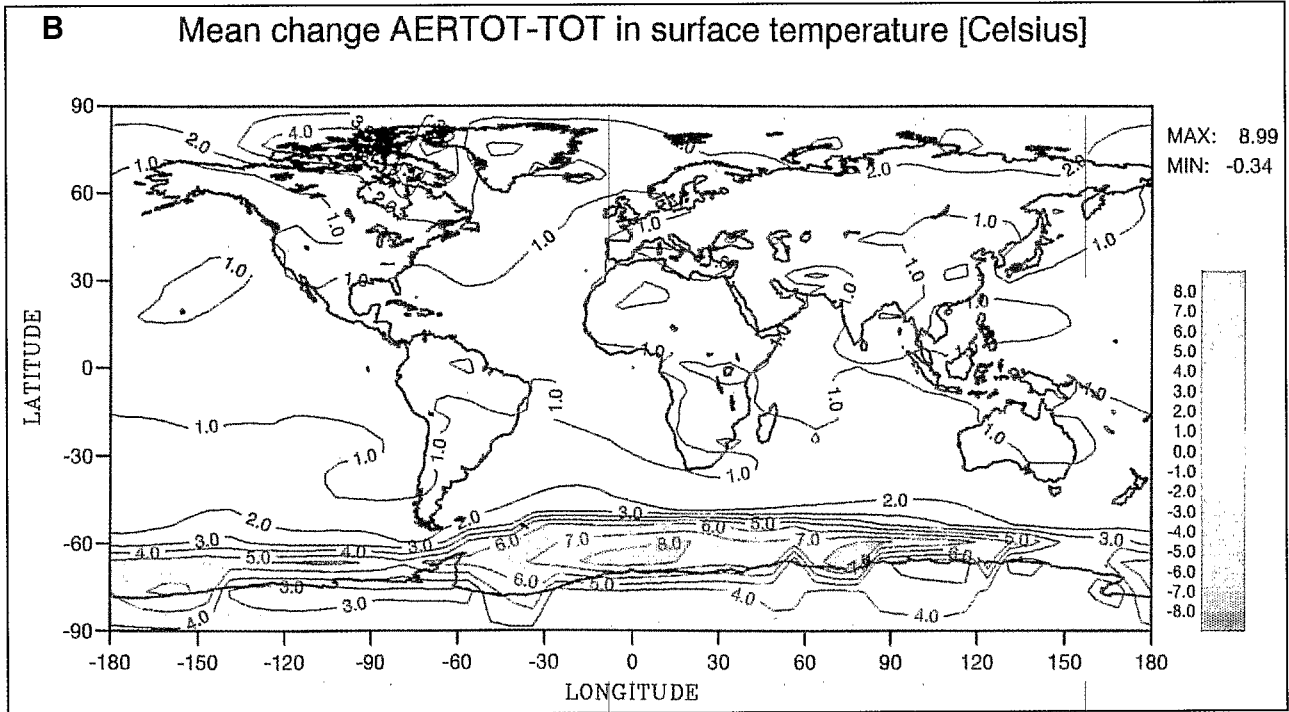
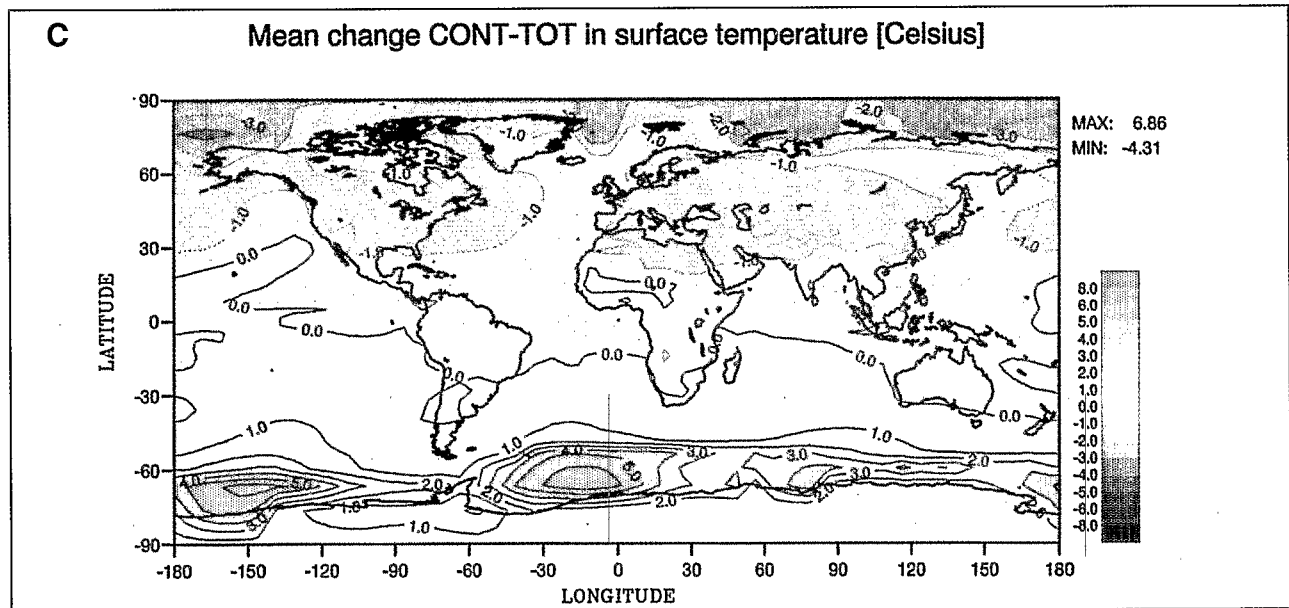


Figure 3: résultat de modélisation : variation de la température de surface associée (a) à l'augmentation des aérosols de type sulfate depuis le début de l'ère industrielle, (b) à l'augmentation de la concentration en CO₂ atmosphérique depuis le début de l'ère industrielle, (c) au deux phénomènes combinés (Le Treut et al, 1998).

Les variations anthropiques du climat sont-elles prévisibles? Can we predict anthropogenic climate changes?



L'augmentation des aérosols se produit essentiellement sur les continents de l'Hémisphère Nord. La réponse du modèle à ce forçage présente néanmoins une structure spatiale très semblable à la réponse à l'augmentation de CO₂, qui, elle, est au contraire distribuée de manière uniforme à la surface du globe. L'océan utilisé ici est très simplifié et ce sont donc les rétroactions atmosphériques qui distribuent géographiquement la réponse climatique à une perturbation radiative. La combinaison des deux forçages produit une réponse non-linéaire, asymétrique entre les deux hémisphères.



- Surface temperature changes associated with
- (a) the increase of sulfate aerosols from preindustrial conditions,
 - (b) the increase of CO₂ concentration from preindustrial conditions,
 - (c) the combination of the two (Le Treut et al, 1998).

The aerosol increase is mainly located over the continents of the Northern Hemisphere. Yet the model response to this forcing present the same spatial structure as the response to the CO₂ increase, which is on the contrary uniformly distributed over the globe. The ocean component is very simplified and this indicates that the atmospheric feedbacks are controlling the geographical pattern of the climate response to a radiative perturbation. The combination of the two forcings generates a non-linear answer, which is asymmetric between the two hemispheres.

L'expérience ACE 2 «Colonne nuageuse» The ACE 2 Cloudy-Column experiment

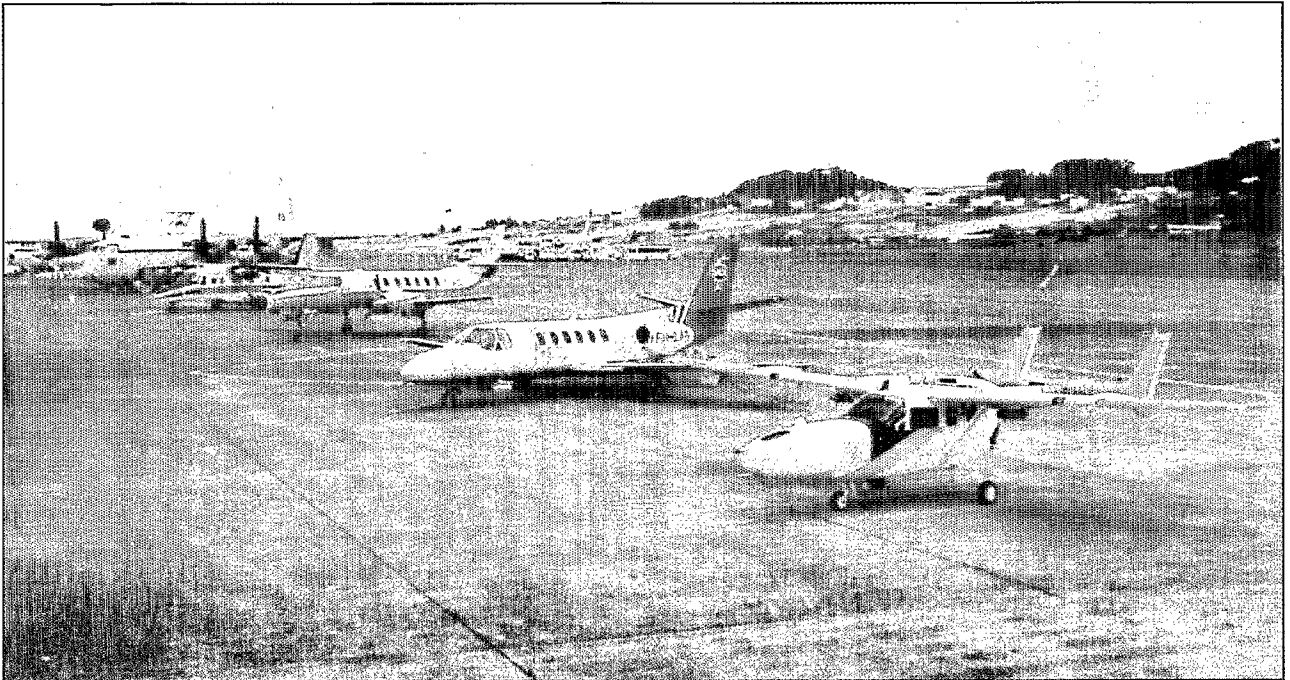


Figure 1

Photo montrant les différents avions utilisés durant la campagne "Aerosol Characterization Experiment" ACE 2 : le Merlin-IV, Météo-France; le C130, D.R.F., Royaume Unis; le Dornier 228, D. F. L., Allemagne; le Pélican, C.I.T., USA.

This photo shows the aircraft used during the ACE-2 (Aerosol Characterization Experiment) campaign : Merlin-IV, Météo-France; C130, D.R.F., United Kingdom; Dornier 228, D. F. L., Germany; Pélican, C.I.T., USA.

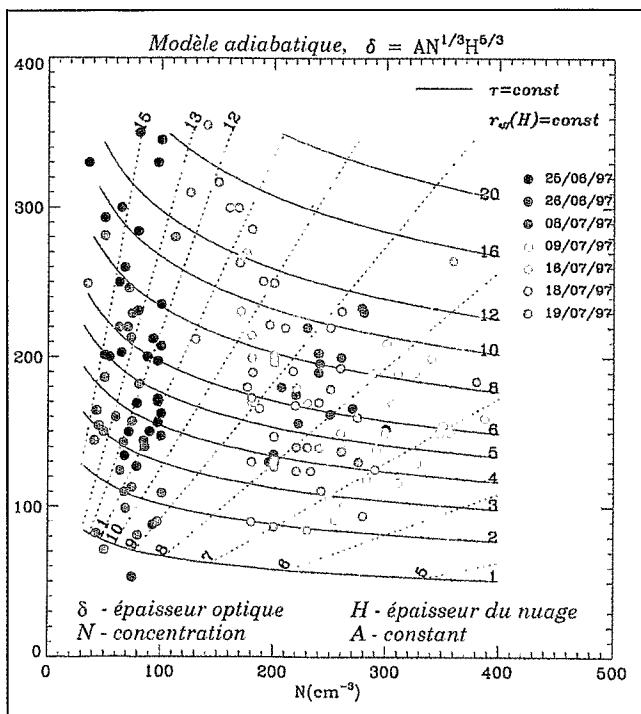


Figure 3

Cette figure montre les distributions statistiques de réflectances mesurées dans le visible (abscisse) et dans le proche infrarouge (ordonnée), pour le cas le plus marin et le cas le plus pollué. Les isolignes représentent les valeurs correspondantes de l'épaisseur géométrique et de la concentration des gouttelettes, dérivées d'un modèle de transfert radiatif. La différence entre les deux distributions reflète les variations des propriétés radiatives dues aux variations de la concentration des gouttelettes (plus forte réflectance dans le proche infrarouge pour le cas pollué).

This figure shows the statistical distribution of the measured reflectances in the visible (X axis) and near infra-red (Y axis) for the most marine case and the most polluted one. The isolines represent the corresponding values of cloud geometrical thickness and droplet concentration, as derived from a radiative transfer model. The difference between the two distributions reflects the change in radiative properties due to the change in the droplet concentration (higher reflectance in the near infra-red for the polluted case).

ext 1.22

El Niño - Présent et passés. Les coraux archives paléoclimatiques

El Niño : Present and past. Corals as paleoclimatic archives

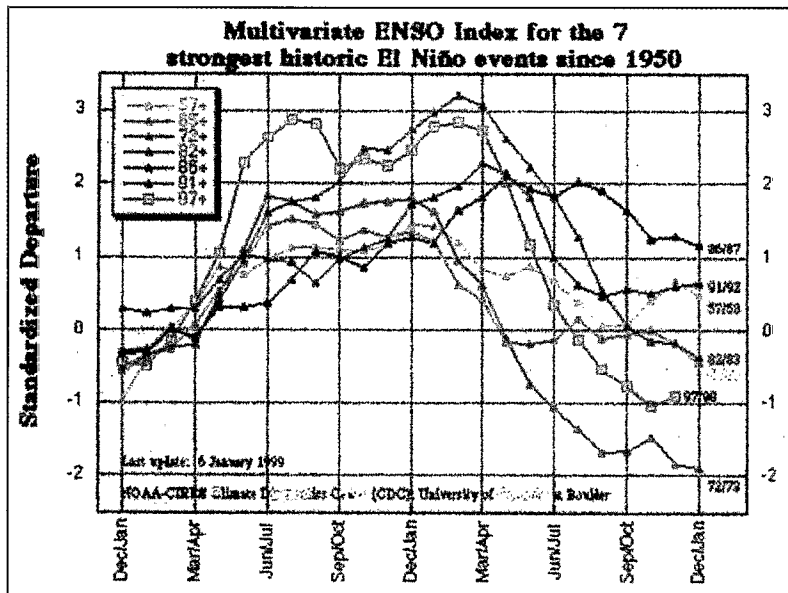


Figure 1

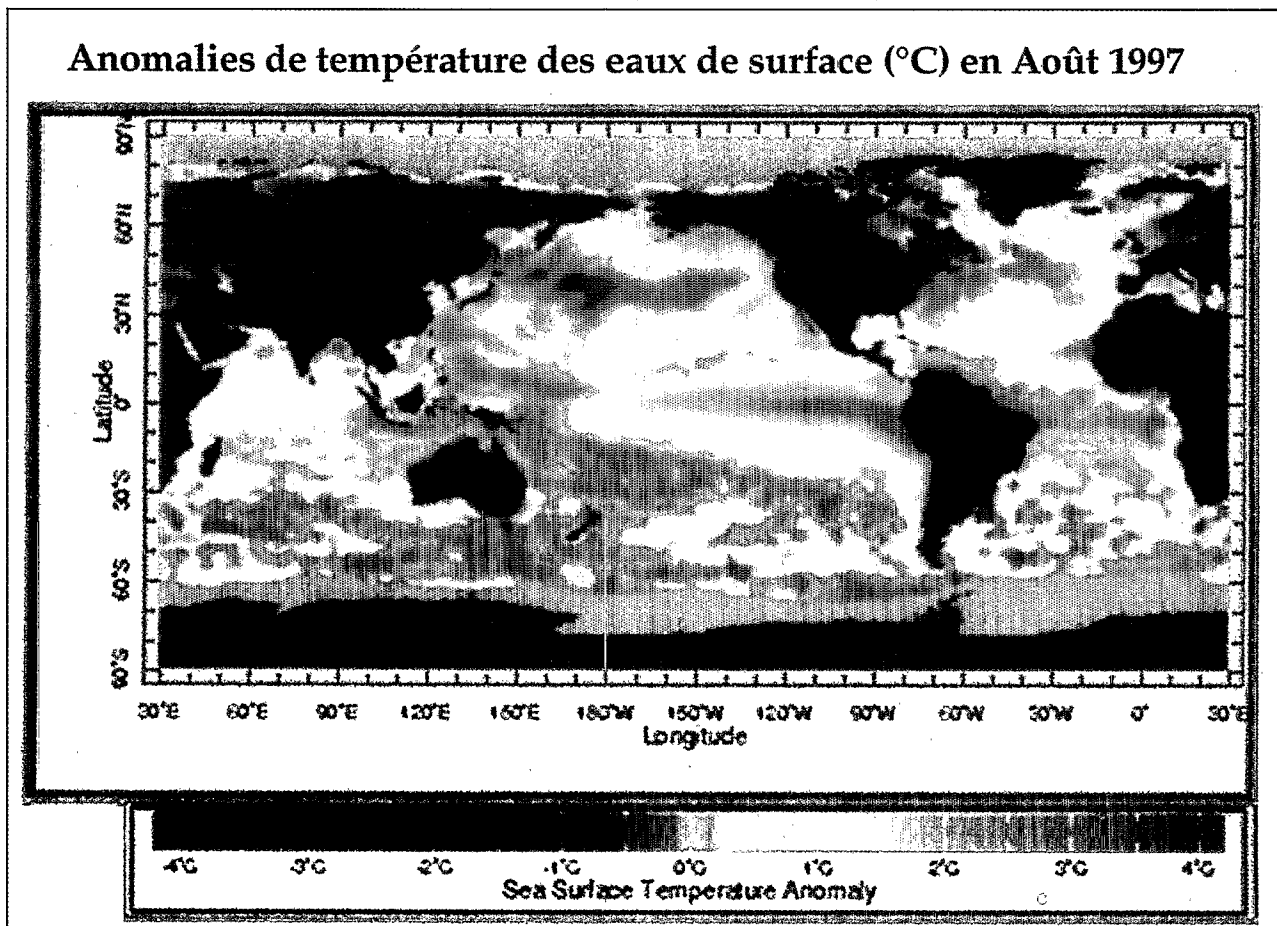
L'index qui caractérise chacun des événements enregistrés au cours du temps dans la partie Est de l'Océan Pacifique est représenté depuis 1950, les particularités de l'El Niño de 1997-1998. On remarquera deux anomalies d'intensité similaire qui se suivent, égalant presque «l'anomalie du siècle» de 1982-1983, la première en Juillet-Août 1997 est très précoce par rapport aux autres enregistrements, l'autre en Février 1998 prolonge cette période anormale.

site internet de la NOAA: <http://www.cdc.noaa.gov>.

The MEI of the last El Niño events are reported from 1950. We observe in 1997-1998 two anomalies of similar intensity (just below the 1982-1983 El Niño intensity): the first one in July-August 1997 occurs very early compared with the other events, the second in February 1998.

from NOAA internet site, <http://www.cdc.noaa.gov>.

Anomalies de température des eaux de surface (°C) en Août 1997



El Niño - Présent et passés. Les coraux archives paléoclimatiques *El Niño : Present and past. Corals as paleoclimatic archives*

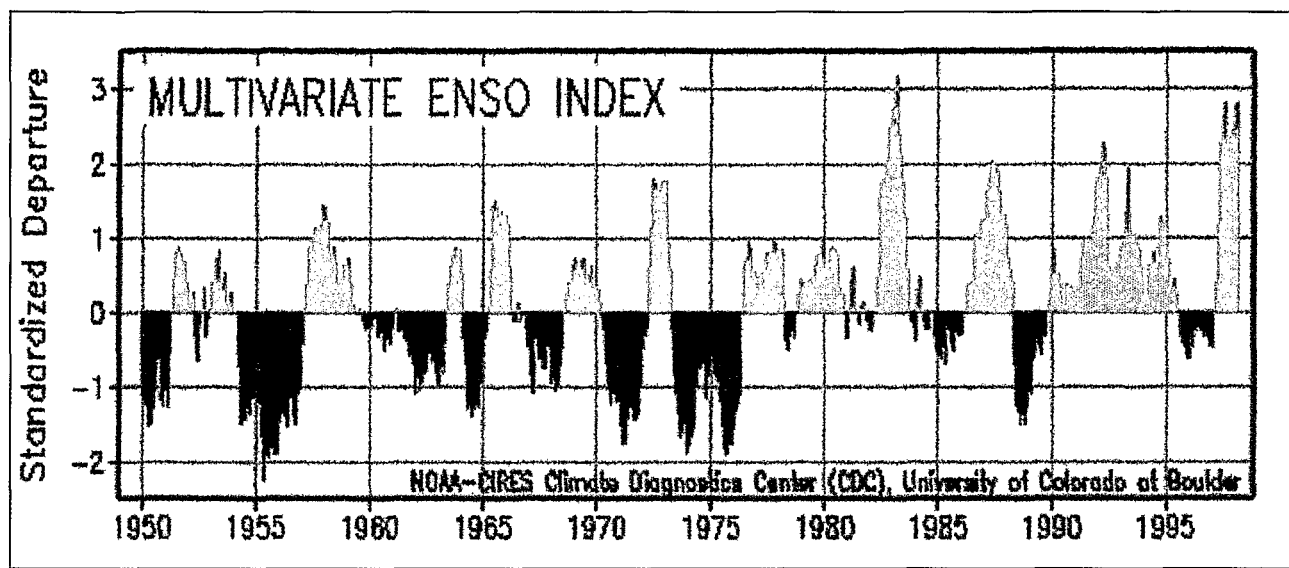


Figure 2
 En Août 1997 les anomalies positives de température de forte intensité sont observées à la fois dans l'Océan Pacifique, dans les océans Indien et Atlantique, au Sud du Groenland ainsi qu'au large de la Terre de Feu.
 site internet de la NOAA: <http://www.cdc.noaa.gov>.

We remark high temperature anomalies in April-May 1998, in Pacific Ocean but also in Indian and Atlantic oceans, around the southern part of Groenland as at the south of America.
 from NOAA internet site, <http://www.cdc.noaa.gov>.

Figure 3
 La fréquence et l'intensité d'El Niño semble avoir significativement augmenté depuis 1977. Cette intensification brutale amène les météorologues à s'interroger sur une possible interaction entre le phénomène naturel El Niño et le réchauffement qui a eu lieu ces dernières décennies (les valeurs positives de l'Index correspondent aux conditions El Niño).
 site internet de la NOAA: <http://www.cdc.noaa.gov>.
 The variables included in MEI depend upon both warming effect and El Niño, implying a bad discrimination of the respective effects of these phenomenon (positive MEI values correspond with El Niño occurrence).
 from NOAA internet site, <http://www.cdc.noaa.gov>.

ant. 1.29

La « calibration » des événements ENSO des derniers siècles

« Calibration » studies for ENSO events of the last few centuries

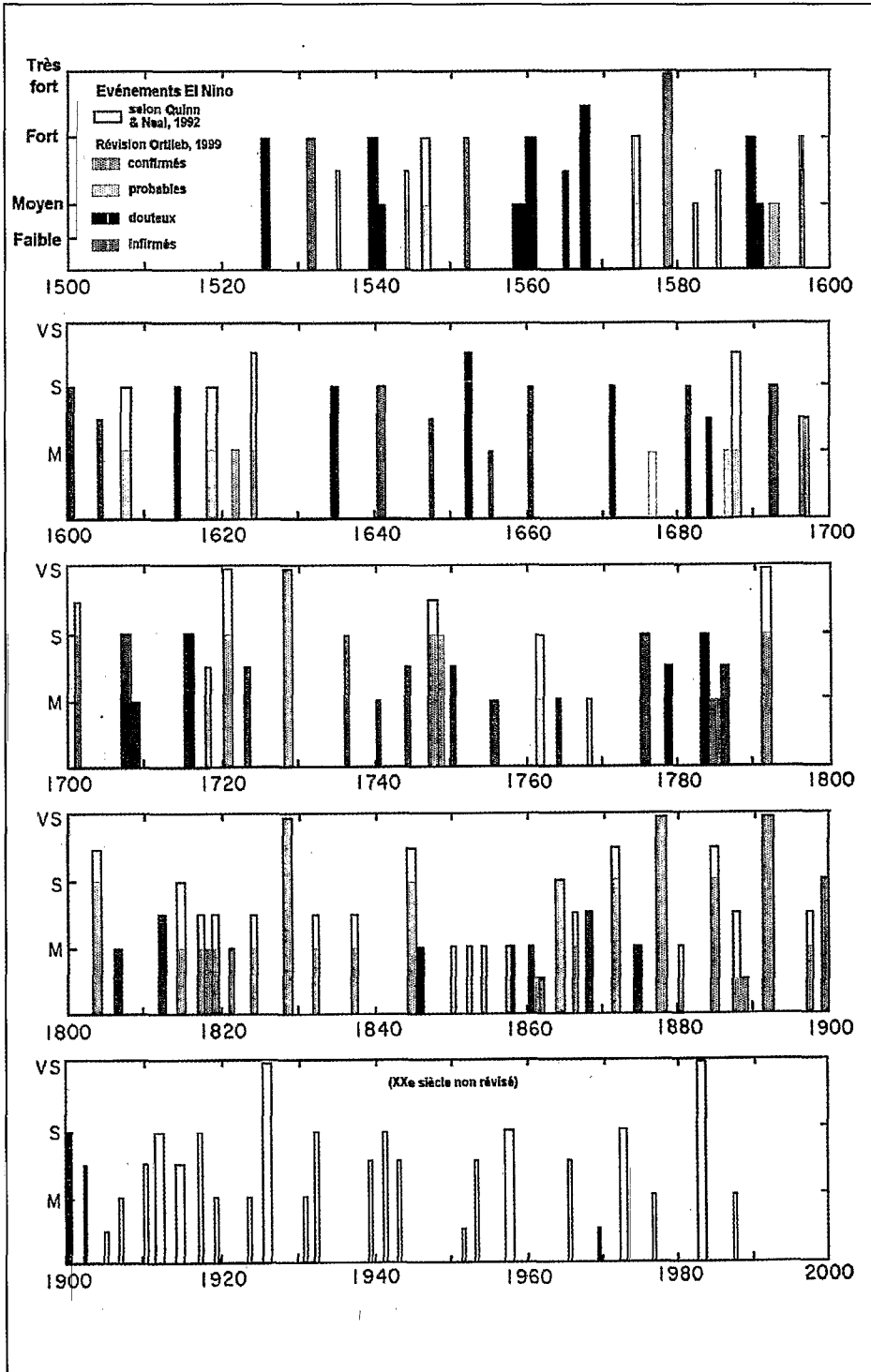


Figure 1

Révision selon Ortlieb (1999) de la chronologie des événements historiques El Niño au cours des quatre derniers siècles et demi établie Quinn & Neal (1992). Cette révision est basée sur les informations climatiques historiques du Pérou et du sud de l'Equateur, véritable zone-clef pour l'étude du phénomène El Niño. Les intensités sont portées en ordonnée (VS : très fort, S : fort, M : moyen). Les événements représentés par un cadre noir sont ceux répertoriés initialement par Quinn et al. Ceux répertoriés après réexamen des archives historiques sont représentés par différentes couleurs selon le degré de confiance accordé (confirmés : rouge, probables : orange, douteux : violet). Ainsi par exemple l'El Niño de 1720 répertorié très intense par Quinn et al. apparaît probable mais seulement intense.

A critical review of documentary data on climatic information from Peru and Southern Ecuador, i.e. from the core area for the study of the El Niño phenomenon, led to re-interpret and modify the chronology of to Quinn & Neal (1992) for the sixteenth to nineteenth centuries (Ortlieb, 1999). Intensity scale is VS (very strong), S (strong), M (medium). The El Niños recorded by Quinn et al. are represented with a black frame; after re-interpretation of historical data the events are represented in color depending on the degree of confidence (confirmed : red, probable : orange, or doubtful : violet).

Les virus : un élément important de la boucle microbienne dans l'Océan Viruses: an important component of the microbial food web in the ocean

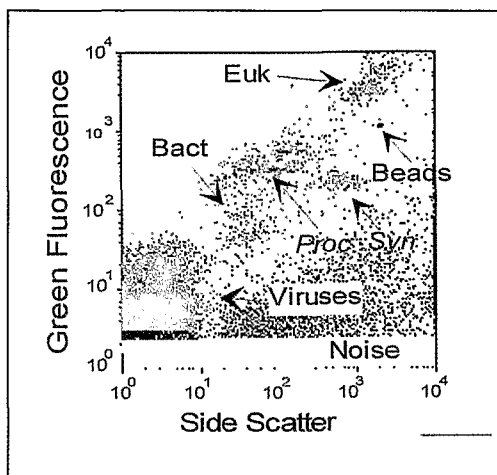


Figure 1 : Cytogramme composite obtenu par cytométrie en flux, représentant les différentes populations que l'on peut trouver dans un échantillon naturel, en fonction de leur indice de réfraction (side scatter) et de leur contenu en ADN (green fluorescence), et constitué de virus, bactéries (Bact), Prochlorococcus (Proc), Synechococcus (Syn) and eucaryotes (Euk). Des billes (Beads) fluorescentes sont ajoutées à l'échantillon pour normaliser les différents paramètres (données Marie, Roscoff), analysés au laboratoire à partir d'échantillons.

Composite flow cytogram displaying the different populations that are present in a natural sample as a function of their side scatter and their DNA content (green fluorescence): viruses, bacteria, Prochlorococcus, Synechococcus, and eukaryotes. Beads are added to the sample as internal standards (data: D. Marie, Roscoff).

El Niño 97 et sa prévision El Niño 97 and its predictability

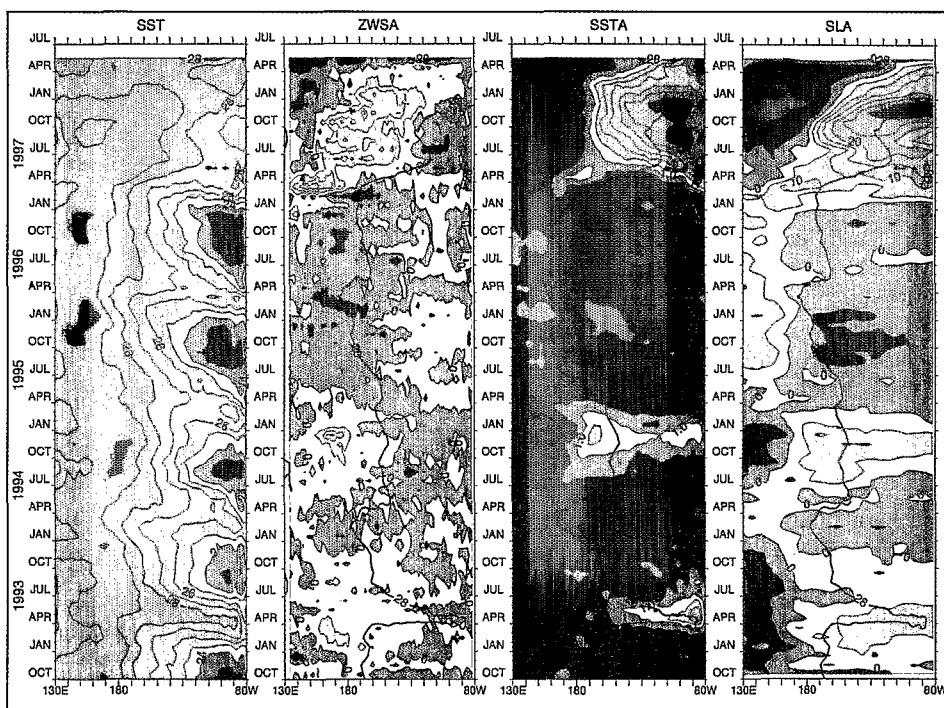


Figure 1 : Observation dans le Pacifique équatorial de 1993-1997 montrant le déroulement de l'El Niño 1997.

De gauche à droite, sections zonales, moyennées entre 2°N et 2°S, des champs suivants : SST, la température mensuelle de la surface de la mer provenant du Climate Analysis Center (intervalle de contour de 1°C); ZWSA, les anomalies interannuelles de vent zonal mensuel, extrait des données du satellite ERS (intervalle de contour de 0.02 N/m²); SSTA, les anomalies interannuelles de la température mensuelle du Climate Analysis Center (intervalle de contour de 0.5°C) montrant un réchauffement des eaux d'environ 4°C dans la zone 120W- 90W lors due l'El Niño 97; SLA, les anomalies interannuelles du niveau de la mer mensuel extrait des données de TOPEX-POSEIDON (intervalle de contour de 5 cm) montrant une élévation de plus de 30 cm dans la zone 120W- 90W lors due l'El Niño 97. Les anomalies sont calculées par

rapport au cycle saisonnier moyen de la période 1993-96. L'isotherme 28°C est superposée sur chaque figure (de Boulanger et Menkes, 1999).

From left to right, zonal sections averaged between 2°N and 2°S of : monthly temperature from the Climate Analysis Center (contour interval of 1°C), interannual anomalies of the monthly zonal wind, from the satellite ERS data (contour interval of 0.02 N/m²), interannual anomalies of the monthly sea surface temperature from the Climate Analysis Center (contour interval of 0.5°C), interannual anomalies of the monthly sealevel from TOPEX-POSEIDON data (contour interval of 5 cm). Anomalies are computed around the mean seasonal cycle for the period 1993-96. The 28°C isotherm is superimposed on each figure (from Boulanger et Menkes, 1999).

ant. p 44

El Niño 97 et sa prévision

El Niño 97 and its predictability

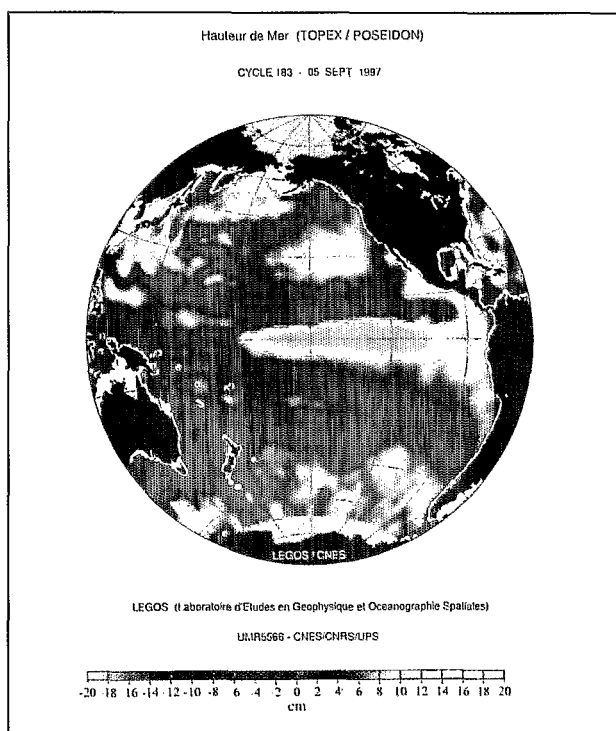
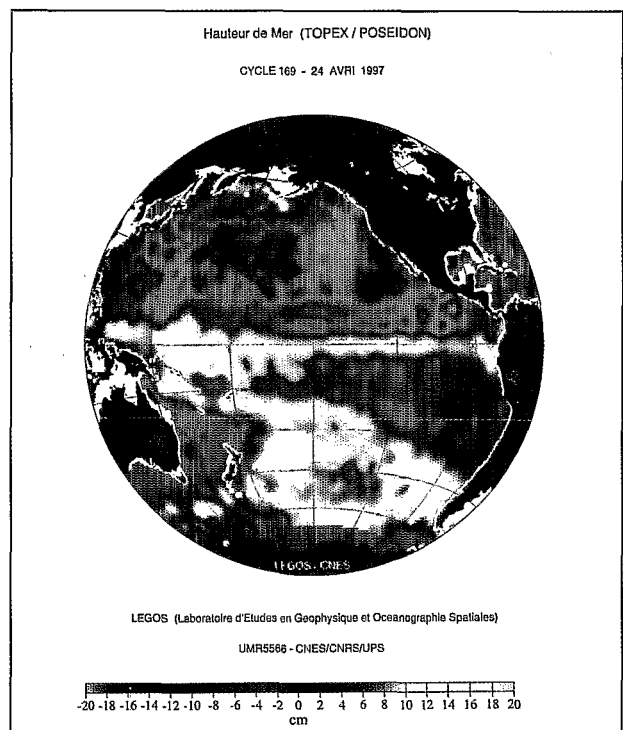
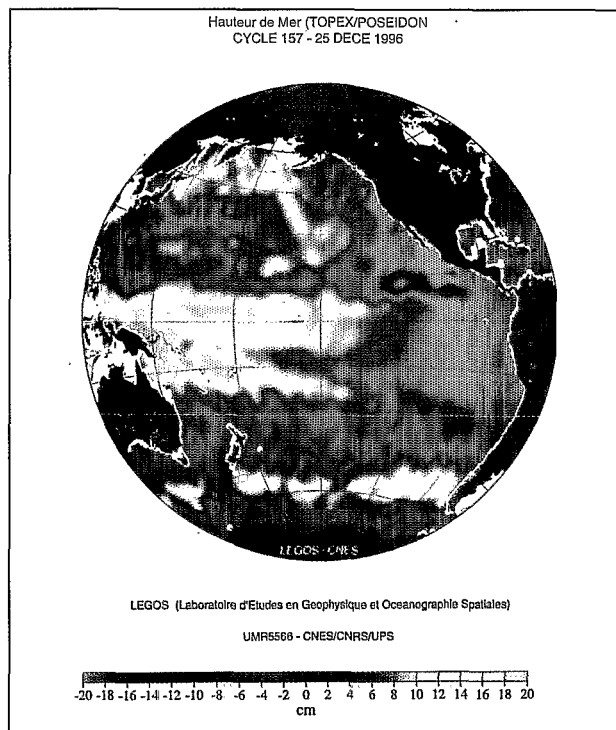


Figure 2 : Anomalies de niveau de la mer extraite des données de TOPEX-POSEIDON pour le 25 décembre 1996, le 24 avril 1997 et pour le 5 septembre 1997 (en provenance du LEGOS, Toulouse) montrant la naissance et le développement de El Niño 1997. L'augmentation du niveau de la mer se propage très rapidement vers l'est, le long de l'équateur, pour atteindre un maximum d'amplitude sur la côte de l'Equateur en septembre 1997.

Figure 2 : Sea level anomalies from TOPEX-POSEIDON data for December 25, 1996, April 24, 1997 and September 5, 1997 (from the LEGOS, Toulouse)

Sea level anomalies from TOPEX-POSEIDON data for December 25, 1996, April 24, 1997 and September 5, 1997 (from the LEGOS, Toulouse)

systématiquement l'ensemble de ces sources. Cette analyse, parfois complétée par des textes complémentaires récemment découverts, a conduit à remettre en question la reconstruction de nombre d'événements, ou, dans quelques cas, à mettre en évidence l'occurrence d'événements non identifiés auparavant (figure 1 pages couleur). Elle est basée sur une recherche documentaire tant au Pérou, qu'au Chili, en Equateur et en Bolivie.

Les «proxies» pertinents?

L'un des principaux problèmes soulevés lors de l'étude critique des sources citées par Quinn tient à la définition des indicateurs de conditions El Niño et leur distribution géographique. Par exemple, des témoignages d'averses exceptionnelles dans la région côtière désertique du Sud Pérou, ou des crues de la rivière Rimac qui traverse Lima, ou encore la mention de tempêtes électriques sur la côte du Pérou central, furent souvent utilisés par Quinn comme des indicateurs de situations El Niño, même en l'absence de toute autre information sur la climatologie du reste du pays durant la même année. Or, l'analyse de données climatologiques des quatre dernières décennies et un certain nombre d'exemples historiques bien documentés montrent que des pluies sur la côte méridionale du pays, et dans le bassin versant du Rimac, peuvent ne pas avoir de rapport avec des situations El Niño, voire être des manifestations de situations «La Niña». Ainsi, semble-t-il justifié de ne pas conclure à l'occurrence d'événements El Niño dans les nombreux cas pour lesquels on ne dispose pas d'informations précises sur les conditions météorologiques passées au nord-Pérou. Et lorsqu'il existe des évidences de sécheresse durant les mois d'été sur la côte nord du pays, il est même possible de nier les reconstructions d'occurrence du phénomène.

Intensité des événements passés

Les catastrophes et grandes destructions provoquées par des pluies exceptionnelles sur la côte péruvienne, naturellement décrites par les chroniqueurs, permettent d'identifier sans risques d'erreur les événements El Niño les plus forts. Pour les manifestations d'événements d'intensité moyenne, les sources sont souvent plus difficiles à trouver et à interpréter, notamment lors des périodes les plus anciennes (XVI-XVIII siècles). En fait, même dans les cas de destruction de villes ou de ponts due à de fortes pluies, il n'est pas toujours justifié de se reposer sur des arguments de proportionnalité, pour évaluer les rapports d'intensité des événements. Le ré-examen des sources fournies par Quinn et al. a cependant conduit à questionner les évaluations de «forte» intensité dans les cas où les seules manifestations documentées étaient, par exemple, un orage électrique, une averse isolée, la faible durée d'un voyage Panama-Lima, ou une épidémie de variole. Dans d'autres cas, en se basant parfois sur de nouvelles sources provenant du sud de l'Equateur, il a été possible de modifier l'intensité des événements El Niño passés (voir tableau ci-contre).

occurrence of events that had not been previously identified (see figure 1, color pages). This was based on documentary investigations carried on in Peru, Chile, Ecuador and Bolivia.

Selection of pertinent proxies

One of the major problems raised in the critical review of the sources used by Quinn deals with the definition and the geographic distribution of the indicators of El Niño conditions. For instance, testimonies of exceptional rainfalls in the arid coastal region of Southern Peru, or floods of the Rimac river that crosses Lima, or yet the mention of electric thunderstorms in the central Peru coastal region, were often used by Quinn as indications of El Niño occurrences, even if no other climatic data from other parts of the country were available for that year. However, the analysis of climatic data covering the last forty years, as well as several well-documented historical cases, show that rainfall events on the coast of Southern Peru, or in the Rimac watershed, may not be related with El Niño situations, or may even be linked to opposite "La Niña" conditions. Thus it seems justified not to conclude that El Niño events did occur whenever precise data on the meteorological conditions in northern Peru were lacking. When evidence on summer time drought conditions is available from the coast of northern Peru, it is even possible to deny the occurrence of any El Niño event.

Intensity of former events

Disasters and large destruction provoked by exceptional rainfalls on the Peruvian coast, naturally described by chroniclers, allow the identification of the strongest El Niño events. For the manifestations of the moderate events, the sources are generally more difficult to find and to interpret, particularly during the earliest (sixteenth to eighteenth) centuries. Actually, even in the cases of city or bridge destruction, it is not always justified to rely upon proportional effects to evaluate the intensity of the former events. The critical review of the sources used by Quinn et al. lead to question the evaluation of a "strong" intensity whenever the only documented manifestations consisted in an electric thunderstorm, an isolated rainfall episode, a fast Panama-Lima ship travel, or a smallpox epidemic. In other cases, when newly discovered data from Southern Ecuador was gathered, it became possible to modify the intensity of former El Niño events (see Table).

Reliability of sources

Quinn et al. tended to measure the reliability of their reconstruction of past events according to the number of available sources. This approach may be criticised. In any historical research, an evaluation of the reliability of the documents and of the liability of the authors is truly

El Niño au Chili	El Niño au Pérou	El Niño aux Galapagos	El Niño régionaux	ENSO « globaux »	El Niño au Chili	El Niño au Pérou	El Niño aux Galapagos	El Niño régionaux	ENSO « globaux »
Ortlieb 1994 (a)	Ortlieb 1999 (b)	Dunbar et al., 1994 (c)	Quinn, 1993 (d)	Quinn 1993 (e)	Ortlieb 1994 (a)	Ortlieb 1999 (b)	Dunbar et al., 1994 (c)	Quinn, 1993 (d)	Quinn 1993 (e)
			1525- M -E1526	1525- M -E1526	?			1695 M	-1695
			1531- M -E1532	1531- M -E1532	1697			1697 M+	1697 M
			1535 M+	1535 M+		1701		1701 S+	1701 M
			1539- M/S -1540- -1541	1539- S -1540- -1541			1703 0.47	1704 M	1703- S -1704
1544	? 1546? 1547?		1544 M+	1544 M+				1707- M/S -1708- -1709	1707- M -1708- -1709
			1546- S -1547	1546- S -1547				1713 M	1713- M+ -1714
			1552 S	1552 S -1553				1715- S -1716	1715- S+ -1716
			1558- M/S -1559- -1560- -E1561	1558- S -1559- -1560- -E1561		?		1718 M+	1718 M
			1565 M+	1565 M+		1718		1720 YS	1720 M+
			1567- S+ -1568	1567- S+ -1568		1720		1723 M+	1723 S
1574	1574?		1574 S	1574 S				1725 M	1725 M
			1578- YS -E1579	1578- S -E1579				1728 YS	1728 M
			1581- M+ -1582	1581- M+ -1582				1731 M+	1731 M+
			1585 M+	1585 M				1734 M	1734 M
			1589- M/S -1590- -1591	1589- S -1590- -1591				1737 S	1737 S
			1596 M+	1596 M				1744 M+	1744 M+
			1600 S	1600- S -1601				1747 S+	1747 S
			1604 M+	1604 S				1748	1748
1607	1607?	1607 0.47	1607 S	1607 S				1751 M+	1751 M+
1609	1609?		1614 S	1614 S				1754- M -1755	1754- S -1755
			1618 S	1618 M				1758 M	1758 M
			1619 S	1619 S				1761 S	1761 S
			1621 M+	1621 S				1762 0.34 1763 0.28	1762- S -1762
			1622					1765 M	1765- M+ -1766
			1623 0.35	1624 S+	1624 M+			1768 M	1768- M+ -1769
			1630 M	1630- S+ -1631				1772 M	1772- M -1773
			1633 0.35	1635 S	1635 M			1776- S -1777- -E1778	1776- M+ -1777- -E1778
			1640- M -1641	1640- S+ -1641				1779 0.25	1779- S -1780- -1781
			1647 M+	1647 M				1785	1785- M+ -1786
1647			1650 M	1650 S+				1791	1791- M+ -1792- -1793
1650			1652 0.32	1652 S+	1652 M			1791 0.23	1791 YS
			1655 M	1655 M					1790- YS -1791- -1792- -1793
			1661 S	1661 YS				1795 0.25	1794- M+ -1795- -1796- -1797
			1670 0.23	1671 S	1671 M+			1800 0.28	1799 M
			1674 0.28	1681 S	1681 S				1802- S+ -1803- -1804
			1681 S	1683- M+ -1684				1803 S+	1803- S+ -1804
			1684 M+	1687 S	1687 S			1806 M	1806- M -1807
1687	1687?	1687 0.23	1687 S+	1687 S				1807 0.23	1810 M
1688	1688?		1692 S	1692 M+					1812 M+
			1692 S	1692 M+					1812 M+
			1694- YS						

Tableau 1

Comparaison de chronologies historiques d'événements El Niño/ENSO pour les quatre derniers siècles élaborées sur des bases documentaires au Chili central (a), au Pérou (b), dans l'ensemble de l'Amérique du Sud (d) et à une échelle «globale» (Amérique du Sud + Inde + Egypte)(e), avec la séquence corallienne des Iles Galapagos (c). Cette dernière est fondée sur les excursions de composition isotopique de l'oxygène (valeur de l'écart par rapport à la moyenne de $\delta^{18}O$ des couches annuelles du corail *Pavona clavus* (Dunbar et al. 1994). L'intensité des événements, déduite de l'intensité des impacts ou de la valeur de l'écart $\delta^{18}O$, est indiquée de la façon suivante : Faible (entre parenthèses, «W»), Moyenne (non-gras, «M»), Forte (gras, «S») et très forte (gras souligné, «YS»).

En grisé, sont soulignées les années identifiées El Niño tant au Chili central et au Pérou (Nord) comme dans les séquences de Quinn. A noter la faible corrélation entre les occurrences identifiées entre Chili et Pérou au XVI-XVIII siècle, et la très faible corrélation entre la séquence corallienne et les données documentaires (voir texte).

El Niño au Chili	El Niño au Pérou	El Niño aux Galapagos	El Niño régionaux	ENSO « globaux »
Ortlieb 1994 (a)	Ortlieb 1999 (b)	Dunbar et al., 1994 (c)	Quinn, 1993 (d)	Quinn 1993 (e)
	1814		1814 S	1814 S
	1817		1817 M+	1817 M+
	1818			
	1819		1819 M+	1819 M+
	1820			
	1821		1821 M	1821 M
	1824?	1823 0.24	1824 M+	1824-1825 S
	1827			1827 VS
	1828		1828 VS	1828
	1829			
		1831 0.27	1830 M	1830 M
	1832		1832 M+	1832 VS
				1833 M
	1837		1837 M+	1837 VS
		1840 0.43		1835-1836 M
	1841			1837-1838 S
	1843			1839
	1844		1844	1844 VS
	1845		1845 S	1845 VS
			E1846	E1846
	1850		1850 M	1850 S
	1851			
	(1852)		1852 M	1852-1853 M
	(1854)	1853 0.28	1854 M	1854 S
	1855			1855
	1856		1857 M	1857 VS
			1858	1858 M+
				E1859
	1860		1860 M	1860 M
	(1861)			
	1862		1862 M-	1862 M-
	1864		1864 S	1864 S+
	1866	1865 0.27	E1866 M+	L1865-1866 M+
	1868		L1867-1868 M+	L1867-1868 S+
				E1869
	1871		1871 S+	1871 M
				1873-1874 M+
	1877		1877 VS	1877 VS
	1878		1878	1878
	1880		1880 M	1880 M+
				1881
	1884		1884 S+	1884 M+
				1885
	(1887)	1887 0.24	L1887-1888 M	L1887-1888 S
	1888	1888 0.46	E1889	E1889
	1891		1891 VS	1891 M
				1896-1897 M+
	1899		1899 S	1899 VS
	1900		E1900	E1900
		1902 0.28		L1901-1902 S+
			1902 M+	1902 S
	1904		1904 M-	1904 S

El Niño au Chili	El Niño au Pérou	El Niño aux Galapagos	El Niño régionaux	ENSO « globaux »
Ortlieb 1994 (a)	Ortlieb 1999 (b)	Dunbar et al., 1994 (c)	Quinn, 1993 (d)	Quinn 1993 (e)
?		1905 0.31		-1905
				1907 M+
				1910 M+
				1911-1912 M
				1911-1912 M+
1914			1914-1915 M+	M1913-1914 S+
				M1915
			1917 M+	
			1918-1919 M	1918-1919 S+
1919				E1920
			1923 M	1923 M
		1925		1925 VS
				1926 S
	1929			L1929-1930 M+
?	1930		L1930-1931 M	-E1931 M+
			1932 S	1932 M+
			1939 M+	1939 M
		1940 0.28		1940 VS
1941	1941	1941 0.36		1941
				1943 M+
				1943-1944 M
				1951 M-
				1951-1952 M+
1953		1953 0.28		1953 M

Table 1

Comparison of historical chronological sequences of El Niño -ENSO events during the last four centuries and a half based on documentary data from central Chile (a), Peru (b), South America (d), global comparisons (South America + India + Egypt) (e) and on coral-reef data from Galapagos Islands (c). The latter reflects the excursions of oxygen isotopic composition (value of the standard deviation with respect to the mean $\delta^{18}O$) of annual growth increments of the coral *Pavona clavus* (Dunbar et al., 1994). The event intensity, as deduced from the intensity of the impacts or from the $\delta^{18}O$ deviation, is indicated in the following way: Weak (in parenthesis, «W»), Moderate (not bold, «M»), Strong (bold, «S»), Very strong (bold and underlined, «VS»).

The grey boxes show the years that were identified as El Niño years in Chile central as well as in northern Peru and in Quinn's series. Notice the weak correlation between the events of the sixteenth to eighteenth centuries as they were identified in Chile on one hand and in Peru on the other, and between the coral sequence and the series based on documentary data (see text).

Fiabilité des sources

Quinn et al. ont eu tendance à évaluer la fiabilité de leurs reconstructions d'événements passés en fonction du nombre de sources utilisées. Cette approche est critiquable. En matière de recherches historiques, il est inévitable de se livrer, d'abord, à une évaluation de la fiabilité des textes et de la crédibilité de leurs auteurs. Les simples reprises d'informations antérieures, par des compilateurs, doivent être décelées et appréciées comme telles dans l'évaluation du degré de confiance dans la validité des reconstructions. C'est ainsi que la relecture critique des sources mêmes citées par Quinn et al. a amené à modifier assez substantiellement le degré de confiance des reconstructions de nombre d'événements El Niño (voir le nombre de «?» du tableau joint).

Corrélation Chili central -Nord Pérou

Un autre problème mis en évidence par les récentes recherches sur les documents historiques concerne la téléconnexion entre les manifestations El Niño au Chili central et au Nord Pérou. Depuis la première moitié du XIXe siècle, il existe une bonne corrélation entre les anomalies positives de précipitations entre la côte nord-péruvienne (en été austral) et le Chili central (au début de l'hiver austral), ainsi qu'entre ces anomalies et les indices négatifs de l'Oscillation Australe. Or les données documentaires recueillies jusqu'à présent tendent à montrer que les coïncidences entre excès pluviométrique entre le Chili central et le nord-Pérou étaient rarement vérifiées durant les XVIIe et XVIIIe siècles. Aucun des événements de forte ou (très forte) intensité (sauf en 1746-48), n'ont été enregistrés comme tels dans les deux régions à la fois (voir 2 premières colonnes du Tableau joint). Cette constatation suggère que le système de téléconnexion qui actuellement régit les anomalies climatiques le long de la bordure est-Pacifique de l'Amérique du Sud pouvait être alors différent de l'actuel. Si tel était effectivement le cas, les variations de conditions de circulation atmosphérique impliquées dans la zone intertropicale pourraient refléter des modifications significatives liées probablement au refroidissement global du Petit Age Glaciaire.

Privilégier les indicateurs El Niño du Nord Pérou?

En tout état de cause, du point de vue de l'établissement d'une séquence chronologique de référence des événements El Niño, la rareté des coïncidences entre les manifestations du phénomène au Chili central et au nord-Pérou pour les XVI-XVIIIe siècles, pose un problème fondamental. Est-il justifié, comme le fit implicitement Quinn, d'utiliser indifféremment des indications provenant du Pérou et/ou du Chili, (voire même du Nordeste brésilien, dans les versions les plus récentes de sa chronologie "régionale" El Niño) pour identifier l'occurrence d'événements El Niño? On peut au contraire défendre l'idée que seules les années ayant été marquées par des anomalies

compelling. Repetitions of previous written data, by second hand sources, must be identified and considered as such when the confidence rating in the event reconstruction is evaluated. The critical review of Quinn's sources thus lead to modify substantially the confidence rating in a large number of El Niño events (see the number of "?" in the Table).

Correlation between central Chile and northern Peru

Another problem brought out by the recent research on historical documents deals with the teleconnection between El Niño manifestations in central Chile and northern Peru. Since the early nineteenth century, there is a good correlation between the positive rainfall anomalies in the coast of northern Peru (during austral summer) and in central Chile (at the beginning of austral winter), as well as between these anomalies and the negative indices of the Southern Oscillation. However, the available documentary data tend to show that rainfall excess in these two regions were seldom coincident in the period sixteenth to eighteenth centuries. None of the strong (or very strong) events were registered as such in both regions (with the sole exception of 1746-48) (see the first two columns, at left, in the table). This observation suggests that the teleconnection system that controls the climatic anomalies along the South American coast of the eastern Pacific, might have been different between that time and the Present. If that is the case, the variations in the atmospheric circulation conditions might reflect significant modifications probably linked to the global cooling of the Little Ice Age.

Favouring the El Niño indicators from northern Peru?

Anyway, from the view point of the establishment of a reference chronological sequence of El Niño events, the scarcity of coincidences between manifestations of the phenomenon in central Chile and northern Peru, during the sixteenth-to-eighteenth centuries, poses an important problem. Is it justified, as implicitly done by Quinn, to rely upon indications from either Peru or/and Chile (or even from north-eastern Brazil, in the most recent versions of his "regional" El Niño chronology) to identify the occurrence of former El Niño events? On the contrary one may support the idea that only the years during which rainfall excess are documented on the coast of northern Peru and/or warmer than usual water along the Peruvian coast, may properly be identified as El Niño years. The last option leads to reduce significantly the number of confirmed El Niño events during the sixteenth to eighteenth centuries (see Table).

Galapagos coral reef data and documentary evidence

The recollection, by an US group, of a coral reef sequence which encompassed the last four centuries, in

positives de pluviométrie sur la côte nord du Pérou, et/ou des anomalies thermiques notables des eaux qui baignent le Pérou, peuvent être proprement qualifiées d'années «El Niño». Or cette option conduit à réduire singulièrement le nombre des événements El Niño confirmés des XVI-XVIII siècles (voir tableau joint)!

Données coralliennes des Iles Galapagos et données documentaires

L'obtention dans l'archipel des Galapagos par une équipe nord-américaine d'une carotte corallienne couvrant les quatre derniers siècles, permet d'envisager la reconstitution des événements ENSO à partir des anomalies isotopiques. En effet, ces îles, proches des côtes équatorienne et nord-péruvienne, sont situées dans une zone où se font sentir les plus fortes variations thermiques liées à El Niño : les coraux qui y vivent sont susceptibles d'avoir enregistré des variations positives de température, pouvant dépasser 2°C durant plusieurs mois d'affilée, lors des événements de forte intensité. Des études préliminaires de calibration faisant intervenir divers indicateurs géochimiques (Ba, Cd, Mn, Sr, isotopes stables de l'oxygène et de carbone) dans les couches de croissance laissaient espérer que les récifs des Galapagos constitueraient un excellent enregistreur des anomalies ENSO des derniers siècles.

En 1994, Dunbar et al. publièrent les résultats d'une étude sur les variations de $\delta^{18}\text{O}$ des bandes annuelles d'un récif de *Pavona clavus* qui couvrait la période 1587-1953. Les excursions négatives de la composition en $\delta^{18}\text{O}$, reflétant des anomalies positives de température, étaient en principe assimilables à des indices d'occurrence du phénomène El Niño. Sur la base d'une chronologie effectuée par comptage des bandes, les auteurs fournirent une liste des années marquées par les excursions les plus importantes. Ces années, et la valeur de la déviation $\delta^{18}\text{O}$ par rapport à la moyenne des mesures annuelles effectuées, sont indiquées colonne 3 du tableau joint. La comparaison de cette séquence chronologique déduite de l'enregistrement corallien avec celles documentées par les textes historiques soit au Chili central, soit au Pérou, met en évidence une très mauvaise corrélation : il n'existe aucune coïncidence entre les épisodes ENSO les plus intenses des XVI-XIX^e siècles.

L'une des explications possibles de cette non-corrélation tient à d'éventuelles erreurs dans le comptage des bandes (provoquant des décalages de plusieurs années). Une autre explication est indiquée dans l'article précédent «El Niño présents et passés»: la composition isotopique des coraux, utilisée seule, ne peut fournir un enregistrement fiable des paléotempératures moyennes annuelles. Un troisième élément à prendre compte est le pas d'échantillonnage qui doit être au moins saisonnier, voire mensuel, pour que puisse être reconstituée une

the Galapagos islands, lead to many expectations several years ago : the isotopic anomalies measured in the coral should provide a chronological sequence of ENSO events. The Galapagos islands are located close to the coasts of Ecuador and northern Peru, where the strongest ENSO-related SST variations are observed. Thus the corals should have recorded positive temperature variations, exceeding 2°C during several consecutive months, during the strongest events of the past. Preliminary calibration studies which involved different geochemical indicators (Ba, Cd, Mn, Sr, oxygen and carbon stable isotopes) within the most recent growing layers centuries supported the idea that the Galapagos corals would provide an excellent record of the ENSO anomalies of the last few centuries.

*In 1994, Dunbar et al. published the results of a study on the $\delta^{18}\text{O}$ variations measured on annual growth layers of a *Pavona clavus* reef that spanned the period 1587-1953. The negative excursions of the ^{18}O composition, which reflected positive temperature anomalies, were assimilated to an indicator of ENSO occurrences. Thus, by layers counting, the authors produced a chronological list of the years with the strongest excursions. These years, as well as the value of the $\delta^{18}\text{O}$ deviation with respect to the mean of the annual measurements, are indicated in the third column of the table. The comparison between this chronological sequence deduced from the coral record and those based on documentary data from either central Chile or Peru, points to a very bad correlation. There is no coincidence for the strongest ENSO episodes in the period sixteenth to nineteenth centuries.*

One of the possible explanations of this lack of correlation is related to probable errors in the layers counting, that provoked time-lags of several years between the chronologies. Another explanation is indicated in the preceding paper "El Niño Past and present": the isotopic composition of the coral reefs cannot by itself provide a reliable record of the mean annual paleo-temperatures. A third element to take into account is the sampling resolution which should be at least seasonal, if not monthly, for a proper reconstruction of the anomalies typical of ENSO events (see the inset «Beware with spectral analysis»). Dunbar's team is about to publish a new series of isotopic analyses from the Galapagos corals, which were done at a much smaller time interval.

Prospective

On-going studies at IRD (ex-ORSTOM) bear on documentary investigations in regional archives of northern Peru, the characterisation of the climate variability during the twentieth century in coastal Peru, the quantification and localisation of precipitation anomalies with respect to the ENSO intensity (calibration studies on present condi-

Attention à l'analyse spectrale!

• Le théorème de Shannon indique qu'un signal est correctement échantillonné si, F_e , la fréquence d'échantillonnage est supérieure ou égale à deux fois la fréquence maximum présente dans le signal. Si cette condition n'est pas respectée, le spectre du signal ne sera pas correct : les fréquences supérieures à $F_e/2$ (Fréquence de Shannon ou de Nyquist) seront repliées vers les basses fréquences (phénomène comparable à la stroboscopie). La fréquence $F > F_e/2$ se retrouvera à la position $F_e - F$ du spectre observée. Le spectre d'un signal correctement échantillonné doit décroître (tendre vers zéro) quand on se rapproche de la fréquence de Shannon. Si ça n'est pas le cas, cela indique que l'échantillonnage a fait apparaître des fréquences non présentes dans le signal initial. Ceci est valable quand la cadence d'échantillonnage est parfaitement connue et que la largeur de l'impulsion d'échantillonnage est faible devant le pas d'échantillonnage.

Qu'en est-il pour les signaux climatiques ?

• Généralement la mesure représente la valeur moyenne sur une durée égale au pas d'échantillonnage. Une erreur commune consiste souvent à penser que cette moyenne a annulé les fréquences supérieures à la fréquence d'échantillonnage. Il n'en est rien. L'atténuation pour les fréquences situées à $3F_e/4$ ne dépasse pas 13 dB soit une amplitude divisée par 4,5. La puissance de ces fréquences sera additionnée à celle des fréquences situées à $F_e/4$.

• Ainsi, dans l'exemple suivant le signal est une moyenne annuelle (croissance annuelle d'un animal, composition isotopique moyenne d'une couche de sédiment...) et la fréquence d'échantillonnage (F_e) est de un an. Dans ce cas du quart au cinquième (13dB) de l'énergie du signal (bruit ou autre) qui se trouvait entre 1 an (F_e) et 2 ans ($F_e/2$, ou fréquence de Nyquist) est repliée (i.e. reportée) au voisinage d'une période de 4 ans ($F_e/4$).

• La datation des signaux climatiques n'est pas une datation avec un pas régulier. Cela tient, par exemple, à la variabilité naturelle de l'accumulation pour les signaux déduits des carottes de glace, des sédiments etc... Dans ce cas, la théorie montre que le pas moyen d'échantillonnage doit respecter le théorème de Shannon. Comme le pas d'échantillonnage n'est pas régulier, il se produit des distorsions dans le spectre. Les modifications apportées au spectre dépendent de la nature aléatoire de l'échantillonnage.

• Si l'échantillonnage n'est pas correcte, il n'y a aucun moyen de corriger les données : il faut refaire les mesures.

Carefull with spectral analysis!

• Shannon's theorem shows that a signal is correctly sampled if F_e , the sampling frequency, is higher or equal to maximum frequency of the signal. A consequence is that only band limited signal can be sampled. When this condition is not satisfied, spectrum will be incorrect : frequencies higher than $F_e/2$ (Shannon's or Nyquist's frequency) will be replicated (aliased) in the frequencies lower than $F_e/2$. This phenomenon can be compared to stroboscopic effect. Signal correctly sampled has spectrum which decreases (tends to zero) as we approach Shannon's frequency. If the spectrum increases for frequencies nearby Shannon's frequency, sampling is incorrect and has brought frequencies higher than $F_e/2$ in the band $0, F_e/2$. This theorem is valid for perfectly known sampling rate and sampling impulsion very short compared to the sampling step.

What happens with climatic signals ?

• Generally, the measures are means on duration equal to the sampling step. A classic error consists to think that this mean eliminates all the frequencies higher than $F_e/2$. This is not true : attenuation for frequency nearby $3F_e/4$ is not higher than -13 dB which corresponds to amplitude divide by a factor 4.5. Power of these frequencies will be added to power of frequencies nearby $F_e/4$.

• In the above example, signal is an annual mean (annual growth of an animal, isotopic composition of sedimental strata...) and sampling frequency is one year. In this case, between 20% to 25% of power (noise or others components) in the band limited by $F_e/2$ (2 years, Nyquist's frequency) and F_e (1 years) will be transferred in the band limited by $F_e/4$ (4 years) and $F_e/2$ (2 years).

• The datation of climatic signals is not a datation with a perfectly regular sampling interval. For example, this can be due to natural variability of accumulation rates for signal deduced from ice cores or marine cores... In this case, the theory shows that the mean sampling interval must satisfy Shannon's theorem. As the sampling frequency is not regular, some distortions can appear in spectrum. Such modifications depend on the random nature of sampling.

• If sampling is not correct, there is no mean to correct the data : measurements have to be done again.

Contact : Jean-Pierre Benoist
LGGE, BP 96, 38402 St Martin d'Hères
benoist@glaciog.ujf-grenoble.fr

anomalie représentative d'un événement ENSO (voir l'encart ci contre «Attention à l'analyse spectrale»). L'équipe de Dunbar doit d'ailleurs publier prochainement une nouvelle série d'analyses sur les coraux des Galapagos effectuée avec un pas de temps nettement inférieur.

Prospective

Des travaux en cours à l'IRD (ex ORSTOM) portent à la fois sur la recherche de documents dans des archives régionales du nord-Pérou, la caractérisation de la variabilité climatique au XXe siècle dans les régions côtières péruviennes, la quantification et localisation des anomalies de précipitations par rapport à l'intensité des phénomènes El Niño (calibration actuelle et problèmes d'extrapolation vers le passé). En parallèle est développée également la recherche d'autres indicateurs de manifestations ENSO dans les régions les plus sensibles (laisses de crues historiques, analyse d'enregistrements glaciaires et lacustres, etc.). Ces travaux sont réalisés dans le cadre de programmes en coopération et de conventions passées avec des climatologues et historiens du Pérou, du Chili, de Bolivie, d'Argentine, du Brésil et d'Equateur.

Une synthèse des études évoquées ici, prenant en compte la quasi-totalité des sources documentaires citées par Quinn, et mettant l'accent sur les données historiques du Pérou et régions limitrophes, fait l'objet d'un chapitre dans le volume à paraître (*El Niño and the Southern Oscillation, Multiscale variability, global and regional impacts*, H. Diaz & V. Markgraf, eds, Cambridge Univ. Press).

tions and problems of extrapolation to the past). At the same time research activity is developed toward the search for other ENSO proxy indicators in the most sensitive areas (historical flood deposits, glacial and lacustrine records, etc.). These projects are undertaken in the framework of collaborative programmes and scientific agreements which involve climatologists and historians from Peru, Chile, Bolivia, Argentina, Brazil and Ecuador.

*A synthesis of the studies mentioned here, which take into consideration most of the documentary sources used by Quinn, and which put a special emphasis on historical data from Peru and neighbouring regions, is developed in a chapter of a volume to be published (*El Niño and the Southern Oscillation, Multiscale variability, global and regional impacts*, H. Diaz & V. Markgraf, eds., Cambridge Univ. Press).*

● **Contact : Luc Ortlieb**

Programme PVC (Paléoclimatologie
et Variabilité Climatique), UR1
Institut de Recherche pour le Développement
(IRD, ex-ORSTOM)
32 Av. H. Varagnat - F 93143 Bondy
lortlieb@bondy.orstom.fr

Les ENSO enregistrés dans les neiges du Pôle Sud?

ENSO registered in the South Polar snow?

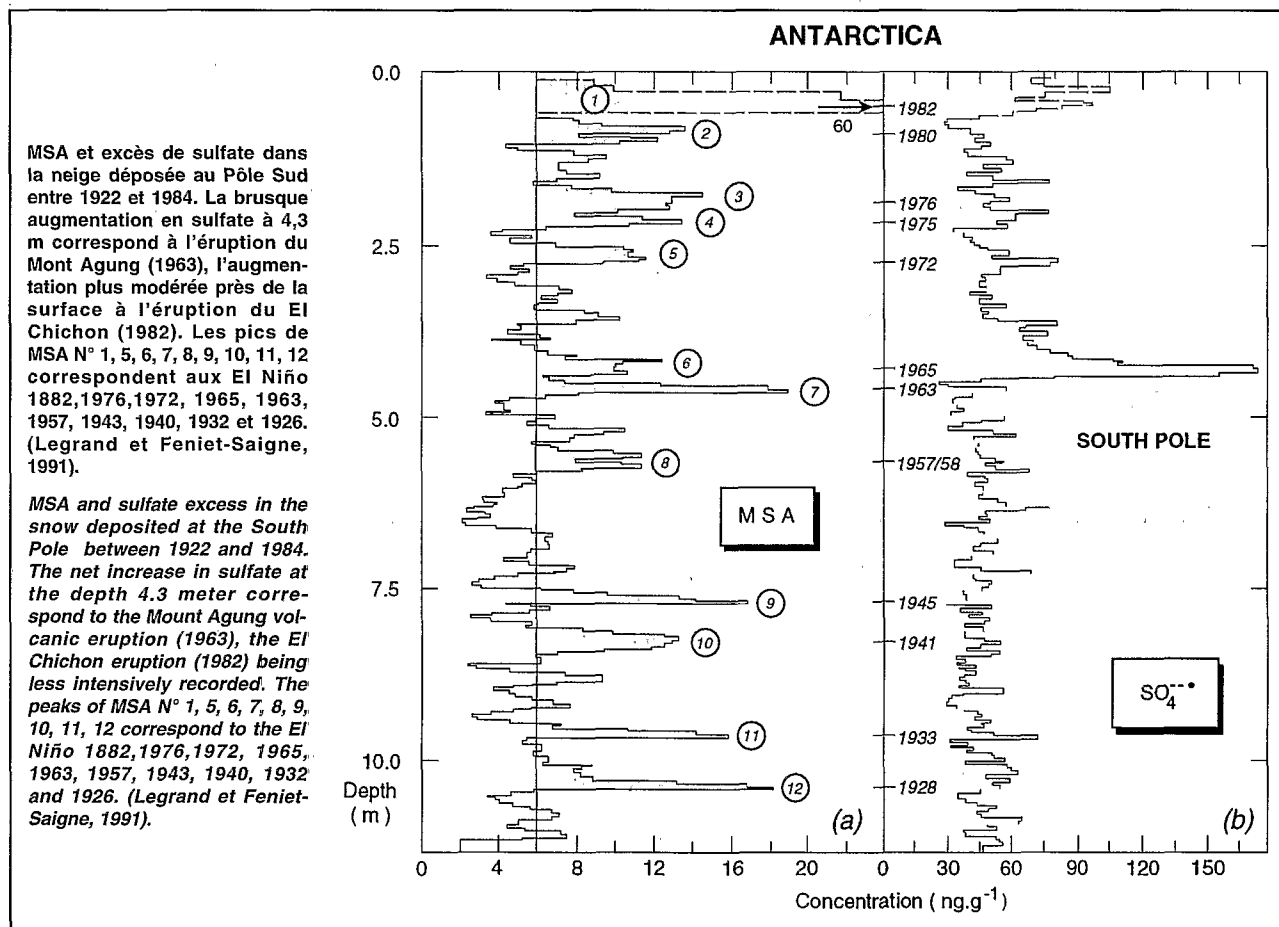
Les années ENSO dans les neiges de l'Antarctique

L'étude détaillée des espèces solubles présentes dans la neige déposée au Pôle Sud entre 1922 et 1984 montrent que la chimie de certaines couches a brusquement changé d'une année sur l'autre. En plus de la brusque augmentation des concentrations en sulfate visible dans certaines couches de neige qui est attribuable aux injections de dioxyde de soufre d'origine volcanique ayant eu lieu dans le passé, la figure ci-dessous montre que les concentrations en acide méthanesulfonique (MSA) de la neige au Pôle Sud a beaucoup varié au cours 60 dernières années. La présence de MSA dans l'atmosphère est exclusivement due à l'oxydation du sulfure de diméthyle émis par le phytoplancton marin.

La figure ci-dessous montre des concentrations élevées en MSA dans les couches de neige correspondant à des années El Niño : notons par exemple la concentration

The detailed study of soluble species in snow layers deposited at South Pole over the 1984-1992 time period has shown several sporadic changes of the snow composition. Beyond sudden increases of non sea-salt sulfate which can be related to direct SO₂ emission into the atmosphere by past volcanic eruptions, MSA concentrations exhibit large changes over the last 60 yrs (see figure). DMS oxidation by phytoplankton is the only known atmospheric source of MSA.

As shown in the figure, MSA profile shows sporadic increases which seem to be correlated to major ENSO events : see for instance the very high MSA concentration (60 ng/g) measured in the 1982-1983 snow layer. The causal relationship linking past developments of ENSO and an atmospheric compound of marine biogenic origin at high southern latitudes is not yet cleared up. Indeed, there are many mechanisms likely to influence the MSA deposition rate over south polar area.



- GCTE Soil Erosion Network: Gully Erosion** 31 July-4 August, Rio de Janeiro, Brazil
Contact: Tony Guerra, Avenida Canal de Marapendi, 1100, apto. 608, Bloco II, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro - RJ, CEP 22.631-050, Brazil. Fax: (+55-21) 598 3280,
- Workshop on freshwater resources in sub-Saharan Africa** TBA, Niamey, Niger
with emphasis on regional scale interactions of land use and climate
Contact: Michael Fosberg, BAHC IPO, Potsdam Institute for Climate Impact Research, PO Box 60 12 03, 14412 Potsdam, Germany. Fax: (+49-331) 228 2547. E-mail: bahc@pik-potsdam.de
- LUCC Data Expert Meeting on Indo-Gangetic Plains** September, New Delhi, India
organized by LUCC/IGBP-DIS
Contact: Inder Pal Abrol, Facilitation Unit, Rice-Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains, New Delhi, India. Fax: (+91-11) 581 9287, E-mail: abrol@nda.vsnl.net.in
- Second International Symposium on Non-CO2 Greenhouse Gases (NCGG-2): Scientific Understanding, Control, and Implementation organized by the Dutch Association of Environmental Professionals (VVM)** 8-10 September, Noordwijkerhout, Netherlands
Contact: Joop van Ham, c/o VVM Section on Clean Air in the Netherlands (CLAN), P.O. Box 6013, NL-2600 JA Delft, The Netherlands; Fax: (+31-15) 261-3186; Email: j.vanham@plant.nl
- 6th IGAC Scientific Conference jointly organized by IGAC, the European Commission, and Consiglio Nazionale delle Ricerche Istituto FISBAT** 13-17 September, Bologna, Italy
Contact: <http://www.fisbat.bo.cnr.it/IGAC99/>
- *GCTE Focus 3 Science Conference** 20-23 September, Reading, UK
Contact: John Ingram, GCTE Focus 3 Office, Center for Ecology and Hydrology, McLean Building, Crowmarsh Gifford, Wallingford OX19 8BB, UK. Fax: (+44-1491) 692 313, E-mail: j.ingram@ioh.ac.uk
- GCTE Focus 1 Workshop on effects of global change on fine root physiology and turnover** 19-22 October, Townsend TN, USA
Contact: Richard Norrby, E-mail: rjn@ornl.gov
- Focus 2.2 and Canadian Forest Service Workshop on Landscape fire modelling** 15-16 November, Victoria BC, Canada
Contact: Mike Flannigan, E-mail: mflannig@nrcan.gc.ca
- Hydrological and geochemical processes in large-scale river basins** 16-19 November, Manaus, Brazil
Contact: Jean Loup Guyot, ORSTOM, CP 7091, Lago Sul, 71619-970 Brasilia DF, Brazil. Fax: (+55-61) 312 5881, E-mail: jean.guyot@apis.com.br
- DAPLARCH 4 LUCC Data Systems Workshop** December, Barcelona, Spain
organized by LUCC/IGBP-DIS
Contact: Caroline Nunes, LUCC IPO, Institut Cartogràfic de Catalunya, Parc de Montjuïc, 08038 Barcelona, Spain. Fax: (+34-93) 426 7442, E-mail: lucc@icc.es
- *4th LOICZ Open Science Meeting** TBA, Bahia Blanca, Argentina
Contact: LOICZ IPO, NIOZ, PO Box 59, NI-1790 AB Den Burg, Netherlands. Fax: (+31-222) 369 430, E-mail: loicz@nioz.nl
- 2000**
- *JGOFS Science Conference** 13-18 April, Bergen, Norway
Contact: Roger B. Hanson, Centre for Studies of Environment and Resources, University of Bergen, High-Technology Centre, N-5020 Bergen, Norway. Fax: (+47-55) 58 96 87, E-mail: Roger.Hanson@jgofs.uib.no
- JGOFS SSC Meeting** 11-12, 19 April, Bergen Norway
Contact: Roger B. Hanson, Centre for Studies of Environment and Resources, University of Bergen, High-Technology Centre, N-5020 Bergen, Norway. Fax: (+47-55) 58 96 87, E-mail: Roger.Hanson@jgofs.uib.no

Lettre pigb-pmrc France

Directeur de la publication : Jean-Claude Duplessy

Rédaction : Marie-Antoinette Mélières

e-mail : melieres @glaciog.ujf-grenoble.fr

Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement du CNRS (LGGE) BP 96

38402 Saint-Martin-d'Hères cedex Tél : 04 76 82 42 00. Fax : 04 76 82 42 01

Maquette : Catherine Masson (Cellule Information Scientifique et Technique INSU-CNRS)

Mise en page, numérisation et flashage : CNRS - service de l'imprimé du Siège

Imprimé par le Service central de la communication et la commercialisation de Météo-France

Cette Lettre est réalisée sous l'égide du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

ISSN : 1261- 4246

.....

Pour recevoir la Lettre pigb-pmrc, remplir le bon ci-dessous et l'envoyer à l'adresse suivante :

M.-A. Mélières - Lettre pigb-pmrc

INSU/CNRS, BP 287 - 75766 Paris Cedex 16

Lettre pigb-pmrc France

Nom Prénom

Organisme de rattachement

Laboratoire

Adresse complète

.....

Téléphone Fax

double

Lettre pigb-pmrc-france

Changement global

PROGRAMME INTERNATIONAL GÉOSPHERE BIOSPHERE (PIGB)
PROGRAMME MONDIAL DE RECHERCHES SUR LE CLIMAT (PMRC)

INTERNATIONAL GEOSPHERE BIOSPHERE PROGRAMME (IGBP)
WORLD CLIMATE RESEARCH PROGRAMME (WCRP)

French IGBP-WCRP/News Letter

avril 1999
n° 9

Edito

Jean-Claude André

Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée
en Calcul Scientifique - CERFACS Toulouse

Sommaire

Editorial.	1
Les variations anthropiques du climat sont-elles prévisibles ? <i>Can we predict anthropogenic climate changes ?</i>	5
L'expérience ACE 2 « Colonne nuageuse » <i>The ACE 2 Cloudy-Column experiment</i>	11
Les eaux modales de l'Atlantique nord-est : Projet multidisciplinaire POMME <i>Mode waters in the north-east Atlantic : Multi-disciplinary POMME</i>	16
El Niño - Présent et passés. Les coraux archives paléoclimatiques <i>El Niño - Present and past. Corals as paleoclimatic archives</i>	22
La « calibration » des événements ENSO des derniers siècles <i>« Calibration » studies for ENSO events of the last few centuries</i>	29
Les ENSO enregistrés dans les neiges du Pôle Sud ? <i>ENSO registered in the South Polar snow</i>	38
Les anomalies de température et la vie des oiseaux de l'Océan Austral. Liens avec El Niño ? <i>Temperature anomalies and seabirds life in the Austral Ocean. Links with El Niño ?</i>	40
El Niño 97 et sa prévision <i>El Niño and its predictability</i>	44
Les virus : un élément important de la boucle microbienne dans l'océan <i>Viruses : an important component of the microbial food web in the ocean</i>	51
Compte rendu du JSC/WCRP <i>Notes from the JSC/WCRP</i>	53
Annonces	57

Le climat, de la science physique aux besoins socio-économiques

Les trois piliers de la sagesse ... Qu'est-ce qui fait habituellement marcher (courir) un chercheur ?

- tout d'abord, et en premier lieu, le fait de travailler sur un problème scientifiquement passionnant. Les chercheurs ne s'ennuient pas, leur sujets d'études ne leur en laissent pas le temps;
- ensuite, et très souvent de façon tout aussi déterminante, le fait de travailler à la résolution de questions ayant un contact fort avec la réalité. Quoi de plus reconfortant en effet que de savoir le résultat de ses propres recherches susceptible de trouver un débouché dans un domaine concret;
- enfin, la possibilité de travailler sans rester enfermé dans sa stricte discipline. Ceux qui l'ont pratiqué savent à quel point c'est souvent aux interfaces entre disciplines que se trouve un grand potentiel de progrès, le plus souvent rapide.

Climate research, from physical science to the needs of society

The three pillars of wisdom ... What makes scientists run ?

- *firstly, the fact that they are working on a scientifically stimulating problem. Scientists are never bored, they have no time for that !*
- *secondly, and this is very often as important as the above, the fact that they work on scientific issues which are closely related to real-life problems,*
- *finally, the fact that they can work in contact with other disciplines. Those who have tried it already know how much reward, progress and satisfaction can be gained by working at the interface between various scientific fields.*

We are lucky enough to satisfy these various conditions when working on the study of climate dynamics, climate change and climate-change impacts. In the foreword to the previous issue of the «French IGBP-WCRP / News Letter», Jean-François Minster developed the rationale concerned with the physical part of climate science. I would like here to enrich this presentation by calling attention towards the many possibilities which are offered to scientists interested in trespassing the limits of only the physical system and in addressing other aspects of climate science.

It is probably not necessary to point out all that has been done by the scientific community with respect to the solution of the climatic questions of interest to

Nous avons la chance de pouvoir concilier et conjuguer ces différents aspects lorsque nous travaillons à l'étude du climat, de sa dynamique, de ses modifications et de ses impacts. Dans l'éditorial du précédent numéro de la «Lettre PIGB-PMRC» Jean-François Minster a présenté la problématique relative à la partie la plus physique des études climatiques. Je voudrais ici enrichir cette présentation en attirant l'attention sur toutes les possibilités qui s'offrent aux chercheurs de «déborder» ces seuls domaines physiques, et de s'ouvrir vers d'autres aspects.

Est-il nécessaire d'attirer l'attention sur tout ce que la communauté climatique au sens large peut, et doit, apporter aux questions climatiques qui traversent notre société. Il est habituel de regretter que le monde anglo-saxon "truste" la plupart des participations dans les organes de réflexion et de proposition, qui, aux niveaux européen et mondial, analysent la situation climatique, l'état de l'art des connaissances, et, plus encore, la discussion des méthodes à mettre en œuvre pour atténuer les impacts de l'effet de serre additionnel. Le GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Etude du Climat, ou «Intergovernmental Panel on Climate Change») fait souvent l'objet d'une telle analyse critique, certes assez fondée si l'on se limite à la considération de la liste des auteurs principaux de ses différents rapports. Peu, trop peu, de chercheurs français se trouvent assez de temps pour s'investir dans les travaux du GIEC. Pourtant, depuis maintenant plusieurs années, les recherches françaises, en particulier mais pas uniquement au niveau de la modélisation globale, ont atteint un niveau qui doit leur assurer la pleine reconnaissance internationale. De façon plus modeste, pour avoir cherché moi-même mais malheureusement sans succès, à motiver des participations françaises dans une action concertée européenne du même type, je sais la difficulté qu'il y a à convaincre un collègue de libérer le pourcentage de son temps qui lui permettra d'être scientifiquement présent, et écouté, dans ces débats.

Comment aller au-delà de cette analyse à la tonalité un peu trop pessimiste ? Il semble en effet que ce n'est ni l'intérêt de la problématique qui fait défaut, ni la qualité et les compétences des chercheurs français, ni les occasions de se faire reconnaître et de se mettre en valeur. Une explication possible est que, pour beaucoup d'entre eux, cette participation représente encore un trop «grand écart» entre la réalité de leur travail de recherche et l'élargissement de perspective nécessaire pour contribuer au niveau international.

Si c'est bien de cela qu'il s'agit, la mise en place du programme GICC (Gestion et Impacts du Changement Climatique), sous l'égide du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE), est de nature à apporter des solutions. Ce programme, bien doté et actif sur une durée de plusieurs années, a en effet retenu comme un de ses

our society. In France one usually complains about the fact that our anglo-saxon colleagues are much better represented than we are ourselves in the European and international advisory committees and task forces which analyze the climate situation, the state of the art in scientific knowledge, and, much more importantly, which discuss the methods to be implemented for mitigating climate change due to greenhouse warming. The IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) is indeed often criticized this way, which might be appropriate if one only refers to the number of French lead authors of reports. Too few French scientists are willing to make the effort to devote some time for participating in the IPCC work. Nevertheless, French research has for a number of years been at the international level, especially, but not only, in the field of global modelling. At a more modest level, I have personally tried, although unsuccessfully, to motivate colleagues of mine to participate in European concerted actions of this type. I do appreciate the difficulty in convincing a colleague to devote part of his time in order to be present and active in these international debates.

Is there a way to overcome this pessimistic analysis ? One can indeed safely assume that neither the interest for these questions, nor the qualities and skills of the French scientists are lacking, nor finally the opportunities for recognition through these debates. A possible explanation could be that for many of them participation in these debates represents too much of a jump from their day-to-day research work to the broadening of perspective which is necessary to efficiently contribute at the international level.

If this is really the reason, the launch of the new programme GICC (Gestion et Impacts du Changement Climatique, for "Management and Impacts of Climate Change"), under the Ministry for Environment (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, MATE), may offer solutions. This multi-year, well funded programme has indeed an objective to gather scientists from the different disciplines dealing with climate change to address concrete questions such as regionalization, physical, biological, economic and social impacts, legal aspects, integrated modelling, ... This will hopefully represent an opportunity for very many scientists to extend their research themes and to contribute signifi-