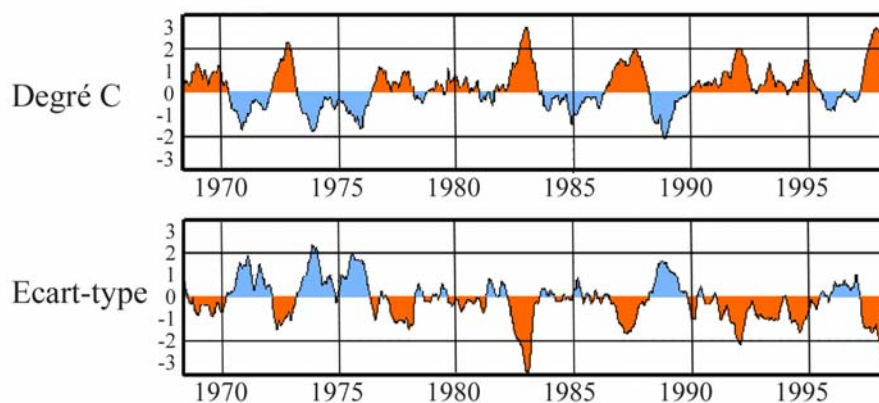


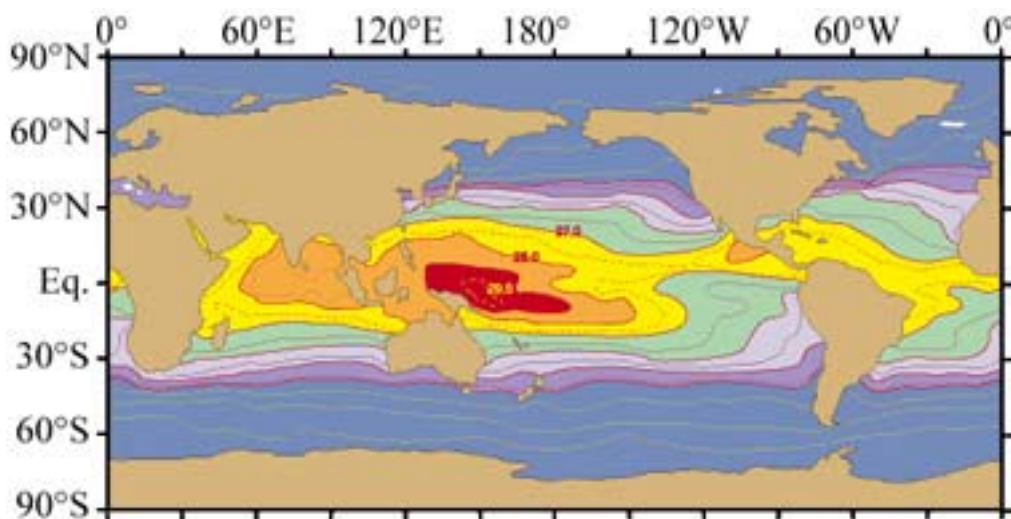
El Niño, un phénomène issu de l'Océan Pacifique tropical par Joël Picaut

D'un point de vue historique, El Niño est un phénomène océanique que les pêcheurs péruviens connaissent depuis longtemps sous la forme d'une renverse de courant de surface qui se produit vers Noël, d'où le nom *El Niño* (en espagnol l'Enfant Jésus). Ce phénomène remplace les eaux habituellement froides des côtes de l'Equateur et du Pérou par des eaux chaudes d'origine équatoriale. Tous les deux à sept ans, ce réchauffement saisonnier se révèle supérieur à la normale. Si cette anomalie est d'amplitude faible, elle attire un peu plus de pluie et El Niño apparaît comme bénéfique pour les habitants de ces régions quasi désertiques. Lorsque le phénomène comme en 1997-98 arrive à son paroxysme, il engendre des pluies qui peuvent atteindre 30 fois la normale. Avec les torrents de boues dévastant les villages, l'effondrement des ponts, les pertes en vies humaines, El Niño apparaît alors comme une catastrophe majeure.

Afin d'identifier le côté anormal de ce phénomène, il est courant de représenter les paramètres météorologiques et océanographiques qui le caractérisent, en termes de déviations par rapport à un cycle saisonnier moyen. La partie supérieure de la **Figure 1** représente les anomalies de températures de surface de la mer de 1968 à 1998, moyennées dans une bande équatoriale couvrant le centre du Pacifique. Sur cette figure, on constate la succession irrégulière d'évènements caractérisés par des températures de surface de la mer anormalement chaudes, El Niño, et d'évènement à températures froides, que l'on a appelé *La Niña* par opposition. Ces variations de température de surface de la mer sont très similaires à celles qui sont relevées le long des côtes d'Equateur et du Pérou, et c'est ainsi que les océanographes ont découvert qu'El Niño ne se limite pas à ces côtes mais qu'il couvre l'ensemble de l'Océan Pacifique tropical. En fait ce système d'oscillations El Niño et La Niña concerne aussi l'atmosphère par l'existence d'une oscillation de pression atmosphérique, appelée Oscillation Australe. Cette oscillation atmosphérique a été découverte par Gilbert Walker, directeur des observatoires de l'Inde entre 1904 et 1920. Elle se situe entre le centre de haute pression, situé entre Tahiti et l'Île de Pâques, et le centre de basse pression situé au nord de l'Australie. Quand la pression augmente à Tahiti, elle diminue à Darwin et vice-versa. Cela a conduit à définir un indice d'Oscillation Australe, appelé SOI pour Southern Oscillation Index. Ces variations dans les champs de pression font que les vents oscillent. Les alizés le long de l'équateur décroissent lorsque les pressions à Tahiti sont inférieures à Darwin et augmentent à l'opposé. L'excellente opposition de phase entre la SOI et les variations de température de surface de l'Océan Pacifique équatorial (**Figure 1**) montre qu'il y a couplage entre l'océan et l'atmosphère à l'échelle du bassin Pacifique tropical.

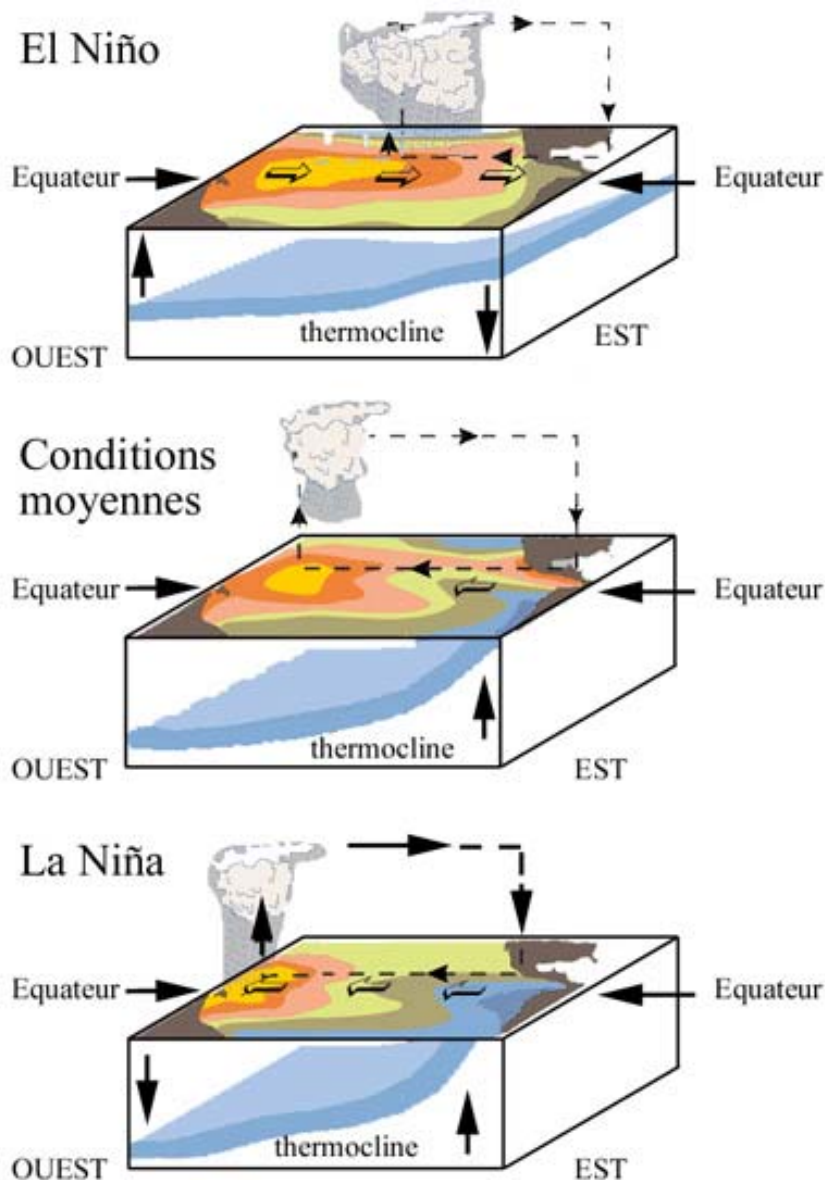


Sur la **Figure 2** sont représentées les températures moyennes de surface de la mer sur l'ensemble de notre globe (climatologie sur près d'un siècle de mesures). Avec l'ensoleillement maximum propre aux tropiques, il est logique d'y trouver des températures de surface de la mer les plus élevées. Mais le plus intéressant, c'est l'existence d'une région où les températures de surface de la mer sont toujours supérieures à 28°C. C'est une région qui recouvre tout l'Ouest du Pacifique tropical en débordant largement sur l'Océan Indien, avec un maximum dépassant légèrement les 29°C dans la partie située au large des Philippines et de la Papouasie-Nouvelle-Guinée. D'une superficie supérieure à celle de l'Europe, ce maximum de température sur une profondeur de l'ordre de la centaine de mètres, forme le réservoir primordial de chaleur du système thermodynamique de notre globe. En effet, cette « bouilloire » évacue constamment de la chaleur de l'équateur vers les pôles par les courants océaniques et par l'atmosphère. Que ce réservoir d'eaux chaudes vienne à être perturbé en température ou en position géographique et c'est le climat de notre planète qui s'en trouve totalement affecté. El Niño et La Niña sont en fait les principaux perturbateurs de ce réservoir d'eaux chaudes et donc du climat mondial aux échelles de temps allant de la saison à quelques années.



La **Figure 3** schématise en trois dimensions les conditions de l'atmosphère et de l'océan superficiel durant les phases El Niño, La Niña et intermédiaire dans le Pacifique tropical. À droite de cette Figure, on aperçoit les côtes de Californie et d'Amérique du Sud et à gauche, la pointe de l'Australie. La thermocline est la séparation entre les eaux chaudes de surface (températures supérieures à 20°C) et les eaux froides (températures de 10° à 0°C) qui s'étendent jusqu'au fond de l'océan. En conditions intermédiaires ou moyennes (milieu de la **Figure 3**), la thermocline est très proche de la surface dans la partie Est du bassin équatorial et elle atteint 150 m dans l'Ouest, siège du réservoir d'eaux chaudes. À la surface de ce réservoir, l'évaporation est maximale. Cela induit un mouvement convectif ascendant important qui, en altitude, condense l'humidité sous forme de pluies intenses. À titre d'exemple, dans les pays avoisinant le réservoir d'eaux chaudes il pleut trois à sept fois plus qu'en Bretagne ou Normandie. Ce mouvement ascendant, libéré de son humidité, se poursuit dans la haute troposphère par un mouvement vers l'Est qui, par subsidence, ramène de l'air sec sur les côtes orientales du Pacifique équatorial. L'ensemble de ces mouvements atmosphériques se boucle avec les alizés de Nord-Est et de Sud-Est qui atteignent le réservoir d'eaux chaudes. Cet ensemble forme la cellule atmosphérique de Walker, en hommage à l'inventeur de l'Oscillation Australe. La surface de l'Océan Pacifique équatorial est donc sujette en moyenne à des vents d'Est. Ces vents engendrent un courant de surface allant vers

l'Ouest, appelé Courant Equatorial Sud. L'effet Coriolis, lié à la rotation de la terre, dévie ce courant vers le Nord dans l'hémisphère du même nom et vers le Sud de l'autre côté de l'équateur. Cela crée, en surface et juste à l'équateur, une divergence qui va être compensée par une arrivée d'eaux froides de sub-surface. C'est le phénomène d'upwelling équatorial, très similaire dans son principe aux upwellings côtiers de la plupart des côtes occidentales des régions tropicales (Californie, Pérou, Chili, Mauritanie, Namibie...). Les eaux refroidies par l'upwelling équatorial sont transportées vers l'Ouest par le Courant Sud Equatorial. Au cours de leur cheminement, ces eaux sont réchauffées par l'ensoleillement maximum. Les alizés accumulent les eaux chaudes dans la partie Ouest du Pacifique tropical, créant ainsi le réservoir d'eaux chaudes. À l'inverse de l'upwelling équatorial qui fait affleurer la thermocline dans la partie Est du bassin, cette accumulation d'eaux chaudes se traduit par une thermocline qui est bien plus profonde dans la partie Ouest. Eaux chaudes et eaux froides se traduisent par, respectivement, une dilatation et une contraction des masses d'eaux, et ce faisant par des variations notables du niveau de la mer dans ces régions. Ainsi, il y a près d'un mètre de différence entre le niveau moyen de la mer au large des côtes des Philippines et celui des Iles Galápagos.

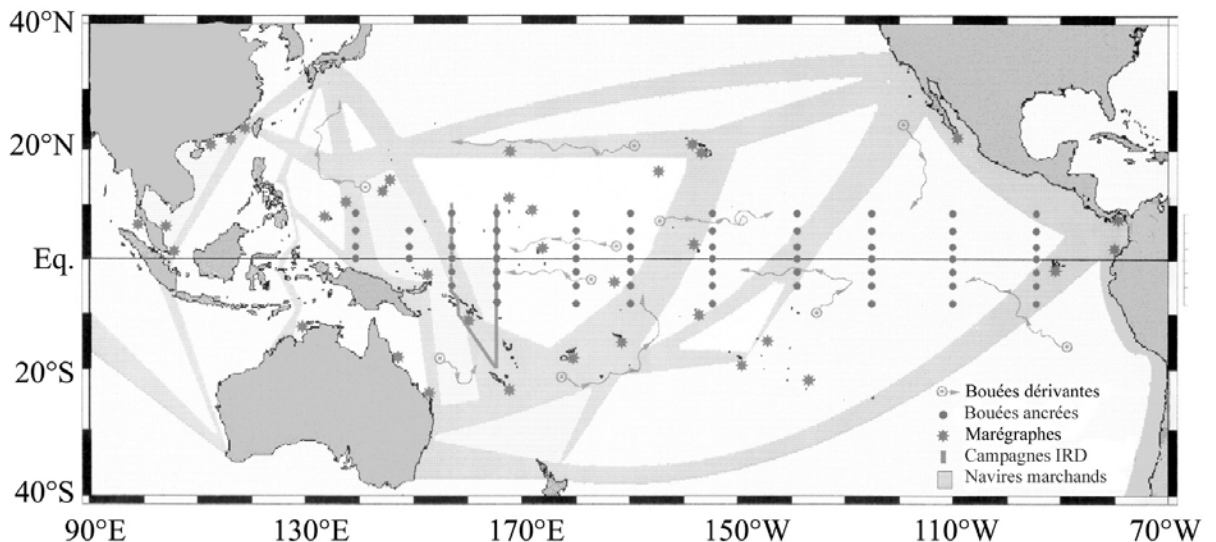


Durant El Niño (haut de la **Figure 3**), les alizés faiblissent, voire s'inversent. L'accumulation du réservoir d'eaux chaudes n'est plus retenue par les alizés. Les eaux chaudes se répandent vers l'Est du bassin, déplaçant avec elles les zones de convection atmosphérique. Ainsi il pleut beaucoup moins sur l'Indonésie et beaucoup plus sur les Îles Galápagos. La thermocline quant à elle pivote puisque les masses d'eaux superficielles se déchargent de l'Ouest vers l'Est du bassin équatorial. Le grand intérêt scientifique du phénomène El Niño, c'est qu'il révèle le caractère de couplage entre l'océan tropical et l'atmosphère. C'est Jacob Bjerknes qui, dans les années 60, a mis en évidence la cellule de Walker et ce faisant le couplage entre les températures de surface de la mer dans le Pacifique équatorial et l'Oscillation Australe (**Figure 1**). D'un point de vue océanographique, ce sont les alizés qui génèrent les courants et donc la différence notable de température de surface de la mer entre les deux bords du bassin (5° à 10°). D'un point de vue atmosphérique, c'est cette différence de température de surface de la mer qui engendre des variations de pression atmosphérique et donc les alizés. On se retrouve ainsi devant le problème de « qui fait qui » de l'œuf et de la poule. Avec leur caractère turbulent et chaotique, les mouvements atmosphériques ont une mémoire faible, de l'ordre d'une dizaine de jours. Par contre, l'océan tropical superficiel a une mémoire de plusieurs années avec une capacité thermique environ mille fois plus grande que celle de l'atmosphère et avec le déplacement relativement lent d'énormes masses d'eaux sur plusieurs milliers de kilomètres. L'Océan Pacifique tropical est donc la mémoire des variations de type El Niño ou de son contraire La Niña. À l'origine, El Niño était considéré comme un phénomène purement océanique. En fait El Niño et La Niña sont des phénomènes couplant les couches superficielles de l'Océan Pacifique tropical avec l'Oscillation Australe, d'où leur dénomination récente d'ENSO pour « El Niño-Southern Oscillation », avec une phase chaude El Niño et une phase froide La Niña.

La Niña peut être considéré comme l'accentuation des conditions intermédiaires ou moyennes (bas de la **Figure 3**). Les alizés soufflent plus forts que la normale, et l'upwelling équatorial est à son maximum avec une thermocline qui affleure la surface. De l'autre côté du bassin, le réservoir d'eaux chaudes est poussé encore plus vers les côtes des Philippines, avec une thermocline pouvant atteindre 200 m de profondeur. La zone de convection atmosphérique associée déborde alors sur l'Indonésie. Il pleut encore plus dans cette région et encore moins dans l'Est Pacifique.

Suite à la découverte du couplage océan-atmosphère par Bjerknes, le phénomène El Niño et son contraire La Niña a commencé à réunir la communauté des océanographes et des atmosphériciens. Mais il a fallu l'arrivée inattendue de l'El Niño de 1982-83 (à l'époque dit du siècle) avec sa chaîne de catastrophes, pour réaliser que les mécanismes de ce système couplé étaient fort loin d'être compris. En 1985, a été lancé un programme international de 10 années, appelé TOGA pour « Tropical Ocean and Global Atmosphere ». Ce programme avait pour but de mieux décrire le couplage entre l'océan tropical et l'atmosphère globale, afin de déterminer dans quelles mesures ce système couplé pouvait être prédictible aux échelles de temps de quelques mois à quelques années. Pour cela il fallait développer un ensemble de modèles numériques de l'océan et de l'atmosphère et les coupler. Surtout il fallait mettre en place un système d'observations *in situ*, avec transmission des données en temps réel. Les principaux éléments d'observations océaniques de ce programme sont représentés sur la **Figure 4**. De nombreuses bouées dérivantes de surface ont été larguées, donnant les températures et les courants de surface, grâce au système de positionnement et de collecte de données ARGOS. Les marégraphes existant dans les îles du Pacifique ont été pourvus de systèmes ARGOS, et complétés par des marégraphes supplémentaires. Des navires marchands ont été équipés de sondes thermiques à tête perdue, mesurant en marche un profil de température de la surface jusqu'à 700 m de profondeur. Le cœur de ce réseau d'observations océaniques a été la mise en place progressive de 70 bouées d'une tonne, ancrées par 3 000 à

5 000 m de profondeur, dans le cadre d'une coopération entre les Etats-Unis, la France, le Japon, Taiwan et la Corée du Sud. Ces bouées mesurent le vent, la température de l'air, et celle de la mer entre 0 et 500 m de profondeur. Parallèlement de nombreuses campagnes océanographiques ont été effectuées. Mon laboratoire d'océanographie physique du Centre IRD de Nouméa, à lui seul, a effectué durant TOGA 21 campagnes avec les navires de recherche de la Flotte Nationale, pour un total de 23 mois à la mer.



Ces mesures *in situ*, transmises en temps réel ou échangées très rapidement au sein de notre communauté scientifique internationale, ont été complétées par des mesures satellitaires (température de surface, rayonnement, vent...). En août 1992 a été lancé le satellite franco-américain, TOPEX/Poseidon, coopération exemplaire entre le CNES et la NASA. Ce satellite, volant à une altitude de 1 300 km et une vitesse de trace au sol de 5 km/s, s'est avéré capable de mesurer, après de multiples corrections, les dénivellations moyennes de la surface de la mer avec une précision atteignant 2 cm. Sachant que les anomalies d'eaux chaudes durant El Niño se traduisent par une augmentation du niveau de la mer de l'ordre de 30 cm, ce satellite s'est révélé être un outil formidable pour étudier ce phénomène. Cela a justifié en partie la prolongation de ce type de mesure avec la série de satellites franco-américain Jason, dont le premier devrait être lancé en 2001.

Le programme TOGA s'est officiellement terminé à la fin 1994. La problématique d'El Niño est toujours aussi intéressante, mais elle a débordé de son cadre avec la recherche de ses variations à plus long terme (10 années, voire plus). La poursuite de ces recherches se fait maintenant dans le cadre du programme international CLIVAR pour « Climate Variability and predictability ». Ce programme plus général, qui cherche à comprendre la variabilité du climat de l'ensemble de notre planète à des échelles de temps allant de la saison à plusieurs centaines d'années, s'étend de 1995 à 2010.

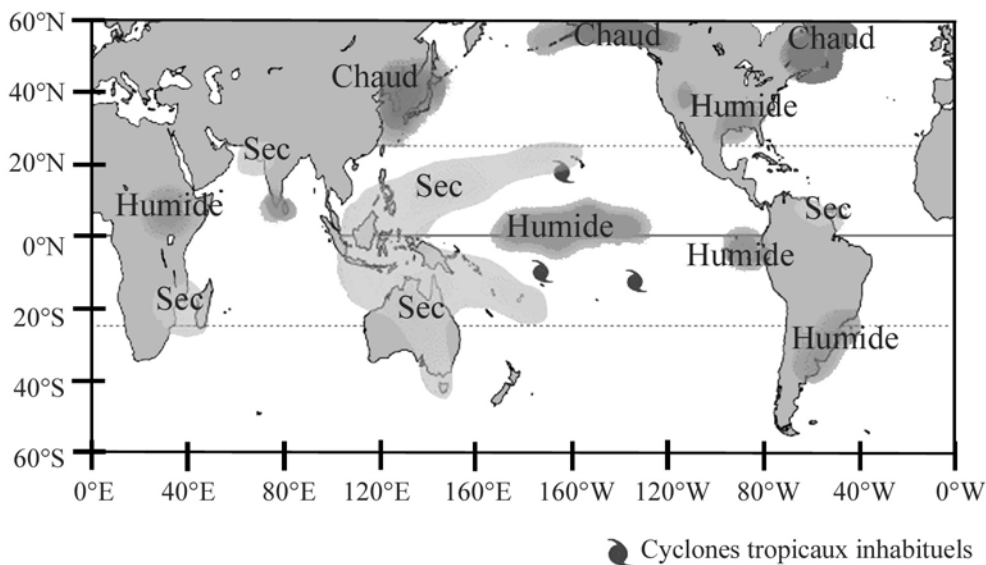
Les recherches sur les variations à plus long terme d'El Niño ont été justifiées par l'arrivée en 1997 du second El Niño du siècle. Des modèles dynamiques couplant l'océan à l'atmosphère et quelques modèles statistiques ont bien prédit l'arrivée d'un événement chaud dès novembre 1996. Malheureusement ces modèles ont été incapables de prévoir sa très forte intensité avant que les premiers éléments de ce phénomène aient été détectés au printemps 1997 par les réseaux d'observations *in situ* et satellitaires. En particulier le réseau de bouées ancrées et le satellite TOPEX/Poseidon ont permis de détecter et de suivre dans le détail le signal initiateur de l'El Niño de 1997. En mars 1997, un fort coup de vent d'Ouest issu de l'Océan Indien a généré un courant de surface intense vers l'Est. Ce courant a commencé à déplacer le réservoir d'eaux chaudes vers l'Est. À l'inverse des alizés, vents d'Est qui

gènèrent l'upwelling équatorial, ce coup de vent d'Ouest crée un enfoncement rapide de la thermocline, appelé downwelling. Avec l'inversion de la force de Coriolis des deux cotés de l'équateur, ce signal de downwelling est piégé le long de l'équateur et il se propage sous la forme d'une onde équatoriale dite de Kelvin à environ 200 km par jour. En deux mois, ce signal de downwelling est arrivé dans la partie Est du bassin Pacifique équatorial, arrêtant l'upwelling local et ce faisant induisant un réchauffement. Arrivée sur les côtes d'Equateur, cette onde s'est réfléchiée sous la forme d'ondes côtières de Kelvin qui se propagent vers le Nord et le Sud. Ces ondes côtières de downwelling à leur tour ont arrêté les upwellings locaux et apporté des eaux chaudes le long des côtes de Californie et d'Amérique du Sud. Dès juin 1997, le réservoir d'eaux chaudes a été déplacé sur plus de 5 000 km. Il a rejoint le réchauffement dans l'Est, et à la fin 1997 toute la bande équatoriale du Pacifique était couverte d'eaux supérieures à 29°. Les ondes de Kelvin de downwelling se produisent à chaque El Niño et participent à son développement au même titre que le déplacement vers l'Est du réservoir d'eaux chaudes. Mais c'est le caractère exceptionnel du signal de mars 1997, en déplaçant fortement le réservoir d'eaux chaudes vers l'Est et en générant une puissante onde de Kelvin de downwelling, qui a très probablement aidé à faire de cet El Niño, l'égal sinon le supérieur de celui de 1982-83.

Étant donné le manque de données scientifiques et socio-économiques précises à l'échelle du globe, il est impossible de déterminer avec précision les conséquences dévastatrices (mais aussi bénéfiques) de l'El Niño de 1997-98. De plus l'hyper médiatisation de cet événement a généré tout un ensemble de rapports non scientifiques, où El Niño devenait le responsable de tout ce qui a été anormal dans le monde en 1997 et 1998. Rappelons par quelques exemples qu'El Niño n'est pas toujours synonyme de catastrophes. L'exportation des crevettes d'élevage par l'Equateur a augmenté de 40 % en 1997 ; l'activité cyclonique dans les Caraïbes et la côte Est des Etats-Unis a été considérablement réduite en 1997 ; les factures de chauffage au Nord des Etats-Unis et dans une partie du Canada ont été minimales en hiver 1997. Sur la base d'un rapport de l'Organisation Mondiale de la Météorologie, les conséquences dévastatrices de ce phénomène peuvent se résumer ainsi. Plus de 24 000 personnes auraient perdu la vie à cause de tempêtes et inondations. Plus de 110 millions de personnes auraient été affectées par cet El Niño, dont six millions obligées de quitter leur lieu d'habitation. Une estimation grossière du coût des pertes dépasserait les 40 milliards d'Euros. Des inondations répétées dans maintes régions du globe ont entraîné des pertes sensibles au niveau de l'agriculture. L'effet négatif sur l'agriculture s'est retrouvé dans d'autres régions avec l'apparition de sécheresses notables, qui de plus ont causé des problèmes sérieux d'approvisionnement en eau potable. À cause des sécheresses, les feux de brousse et de forêt se sont considérablement accentués dans les régions indonésienne et amazonienne. Ces changements climatiques et humains ont entraîné la contamination des eaux potables et créé des conditions favorables pour le développement de maladies comme la malaria et la dengue. Plus notable est la disparité de pertes entre les pays industrialisés et les pays en voie de développement. Ces derniers sont situés majoritairement dans la ceinture tropicale où El Niño a le plus d'impacts. Mais la vulnérabilité humaine de ces pays n'a rien à voir avec celle des pays industrialisés. À titre d'exemple, la perte en vies humaines aux Etats-unis se serait élevée à 560 personnes alors que pour l'Afrique le total dépasserait 13 000 personnes. À l'inverse, le coût économique serait de 5 milliards d'Euros pour les Etats-unis contre 0,1 milliard pour l'Afrique. Les coûts d'une hutte et d'une maison climatisée ne sont certes pas les mêmes.

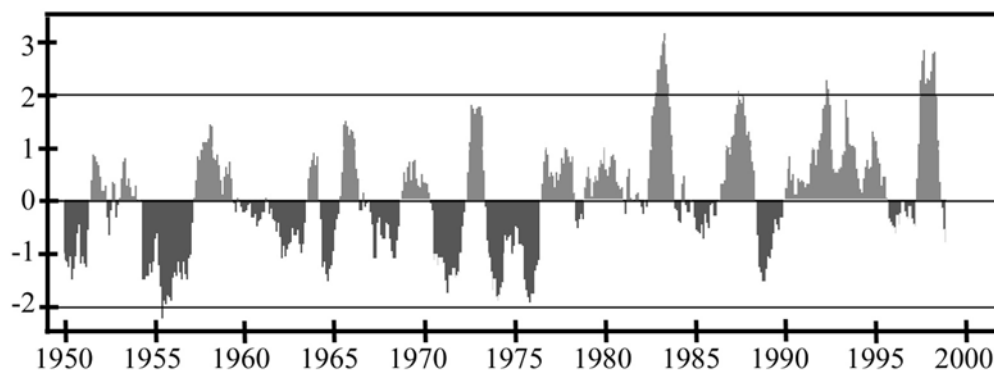
Pour comprendre un peu mieux comment ce phénomène affecte le climat de notre planète, sur la **Figure 5** a été reporté les principales zones d'anomalies de pluies et de températures de l'air, déduites de statistiques sur les El Niño depuis 1900. Bien entendu, les El Niño de 1982-83 et 1997-98 ont largement débordé de ce cadre. Au niveau du bassin

Pacifique tropical, nous avons déjà noté que les zones de convection atmosphérique, et avec elles les pluies sont déplacées vers le centre et l'Est du Pacifique. Le Nord de l'Australie, ainsi que les Philippines, la Malaisie et l'Indonésie sont alors affectés par des sécheresses. Le dérèglement de la circulation atmosphérique concerne toute la ceinture intertropicale. Il se fait surtout sentir sur le Nord du Brésil, l'Argentine, l'Afrique de l'Est et du Sud, l'Inde. Plusieurs courroies de transmissions permettent à El Niño d'affecter les régions tempérées. La principale consiste en une série de trains d'ondes atmosphériques, allant des zones anormalement chaudes du centre du Pacifique tropical par-dessus le pôle Nord. Située dans la haute troposphère, elle dérègle le climat de l'Amérique du Nord et du Canada, exceptionnellement celui de l'Europe. Le jet-stream subtropical est attiré vers l'équateur, permettant aux tempêtes de l'hiver boréal d'atteindre la Californie, et bloquant l'arrivée des cyclones sur les Caraïbes et la côte Est des Etats-Unis. Dans le Pacifique, les zones de formation des cyclones se trouvent elles aussi déplacées avec le réservoir d'eaux chaudes. En effet, la condition nécessaire (mais pas suffisante) pour la formation d'un cyclone est une température de surface de la mer au moins égale à 28°. Lors d'El Niño importants, les cyclones du Pacifique Ouest peuvent atteindre Hawaï et la Polynésie Française. Le touriste Français qui s'inquiète des saisons cycloniques n'a qu'à retenir que durant El Niño la Martinique et la Guadeloupe sont quasiment épargnées, alors qu'un risque existe en Polynésie Française. Les statistiques s'inversent durant La Niña.



Ce dernier exemple illustre l'intérêt de pouvoir prévoir El Niño ou La Niña et leurs intensités de manière fiable plusieurs mois à l'avance. Les services météorologiques conçus pour la prévision du temps à court terme, ne sont pas vraiment adaptés à la prévision d'anomalies climatiques six mois à l'avance. Notre société a encore beaucoup de chemin à faire pour en tirer les bénéfices. Les premiers essais d'applications de prévision ont permis à l'Etat du Ceara dans le Nord-Est du Brésil de ne perdre que 10 % de sa production agricole durant l'El Niño de 1991-92 à la suite de sécheresse. Par comparaison, cette même région avait perdu 75 % de sa production agricole lors de l'El Niño de 1986-87. Mais les habitants de cet Etat gardent aussi en mémoire la mauvaise prédiction de l'El Niño de 1993-94. Quant à l'El Niño de 1997-98, son intensité extraordinaire n'avait pas été prévue, avant que l'effet du coup de vent de mars 1997 ait été ingéré dans les modèles de prévision. Un souci majeur de notre communauté scientifique est la croissance en fréquence et en intensité des El Niño depuis 20-30 ans. La **Figure 6** représente l'index multivarié d'ENSO, qui intègre les

variations de pression atmosphériques, les composantes du vent, les températures de surface de la mer et la couverture nuageuse sur le Pacifique tropical depuis 1950. L'index d'Oscillation Australe mesuré depuis 1882 montre une répétition à peu près régulière (tous les 4 à 7 années) d'El Niño et de La Niña. La **Figure 6** suggère un changement de tendance depuis 1976, avec des El Niño plus intenses et rapprochés. Parallèlement à ces changements, la taille du réservoir d'eaux chaudes s'est accrue depuis 20-30 ans. Faute de mesure fiable de longue durée, il est difficile de savoir si ces accroissements ne sont que le reflet d'un changement naturel d'ENSO ou d'un changement dû au réchauffement global. Des équipes de modélisateurs essaient de simuler les variations d'El Niño et de La Niña avec des changements dans la teneur en gaz à effet de serre. D'autres chercheurs mesurent la pousse des arbres et des coraux plusieurs fois centenaires pour reconstruire des séries chronologiques du passé. S'ils retrouvent dans ces séries des variations rapides dans la fréquence et l'intensité d'ENSO, le changement récent pourrait être naturel.



Par le fait qu'il est le siège du plus grand réservoir de chaleur de notre planète, l'Océan Pacifique tropical est la source de dérèglements climatiques pluriannuels très importants, connus maintenant sous le nom d'El Niño et de La Niña. Le programme international TOGA a été un grand succès scientifique avec la démonstration, pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, qu'il était possible de prévoir, six mois à un an à l'avance, l'arrivée de certains de ces dérèglements climatiques. La mise en place et le développement de réseaux d'observations océaniques opérationnels *in situ* et satellitaires, et l'assimilation de ces observations dans des modèles numériques, devraient améliorer les prévisions. Notre société devrait donc être capable d'anticiper et de réduire l'impact néfaste de ces dérèglements climatiques, si elle s'en donne les moyens. Reste que cette même société pourrait être la cause d'une augmentation dans la fréquence et l'intensité d'El Niño.

Pour en savoir plus :

Anonyme : The 1997-1998 El Niño event : A scientific and technical retrospective. *Organisation Mondiale de la Météorologie, Genève*, 96 pp., 1999.

Glantz, M. H. : Currents of change, El Niño impact on climate and society. *Cambridge University Press*, 194 pp., 1996.

Philander, S. G. : El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation. *Academic Press, San Diego*, 293 pp, 1990.

Voituriez, B., et G. Jacques : El Niño, Réalités et fiction. *Editions UNESCO, Paris*, 116 pp., 1999.

Légendes des figures :

Figure 1. Haut : Anomalies de température de la surface de la mer dans la région de l'Océan Pacifique située 5°N et 5°S et 170°W et 120°W. Bas : écart type des différences de pression atmosphérique entre Tahiti et Darwin (Index de l'Oscillation Australe).

Figure 2 : Température de surface de la mer moyenne à l'échelle de notre planète.

Figure 3 : Interactions entre l'Océan Pacifique tropical et l'atmosphère durant les conditions d'El Niño (haut), moyennes (milieu) et de La Niña (bas).

Figure 4 : Réseau d'observations océaniques mis en place dans le Pacifique à la fin du programme international TOGA en 1994.

Figure 5 : Effets climatiques d'un El Niño moyen à l'échelle de notre planète. Dans une assez bonne approximation, l'effet est inversé durant La Niña.

Figure 6 : Index multivarié d'El Niño et de La Niña de 1950 à 1998.