

Université de la Méditerranée Aix-Marseille II  
Centre d'Océanologie de Marseille  
Licence Science de la Mer et de l'Environnement  
2011 – 2012

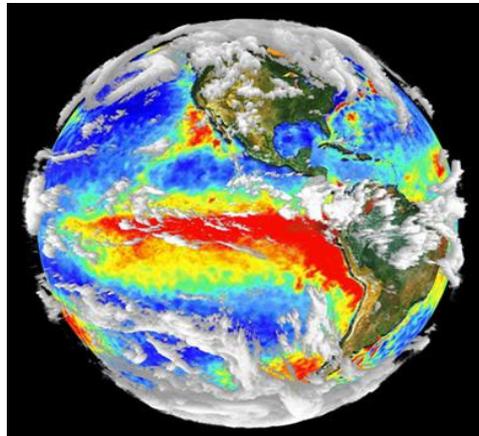
**Jean-Rémy HUGUET et Sébastien LE CLEC'H**  
**Licence 3<sup>ème</sup> année**  
SM14 Océan Atmosphère Climat

---

# **EL NIÑO : INFLUENCE SUR LE CLIMAT ET LES RESSOURCES DE LA CÔTE PACIFIQUE DE L'AMÉRIQUE DU SUD.**

---

[Sebastien.le-clec-h@etumel.univmed.fr](mailto:Sebastien.le-clec-h@etumel.univmed.fr)  
[jean-remy.huguet@etumel.univmed.fr](mailto:jean-remy.huguet@etumel.univmed.fr)



El Niño désigne le phénomène climatique caractérisé par une élévation anormale de la température de l'océan Pacifique, au niveau de l'équateur. Il cause des dérèglements climatiques (ouragans, inondations) et les conséquences sur les ressources peuvent être importantes. Malgré tout, grâce aux observations satellitales et aux simulations mathématiques il est possible de prévenir ce phénomène à court terme et ainsi de minimiser des dégâts potentiels.

El Niño ("l'Enfant Jésus" en espagnol) était utilisé à l'origine par les pêcheurs le long des côtes de l'Équateur et du Pérou. Il s'agit d'un phénomène océanique qui apparaît habituellement au moment de Noël pour ne disparaître que quelques mois plus tard. Avec le temps, l'utilisation de cette expression a été réservée à ces périodes exceptionnelles et marquées, qui modifient les habitudes et perturbe d'innombrables espèces animales et végétales ainsi que des millions d'êtres humains. Cette interaction entre l'océan et l'atmosphère touche particulièrement le climat en Australie, en Afrique, dans l'Asie du Sud et dans les régions tropicales de l'Amérique.

Nous allons ici faire la connaissance de ce phénomène particulier, ce qui nous permettra de comprendre comment il né et fonctionne puis nous analyserons les conséquences sur le climat et les ressources de la côte Pacifique de l'Amérique du sud.

## **1. El Niño : Interaction océan-atmosphère.**

**A - Circulation atmosphérique et océanique normale.**

**B - El Niño.**

**C - Son histoire.**

- Des premières hypothèses à aujourd'hui.

- Les avancées technologiques.

## **2. El Niño : Influence sur le climat.**

## **3. El Niño : Influence sur les ressources.**

## **4. Conclusion et Bibliographie.**

# 1) El Niño : Interaction Océan-Atmosphère.

Pour comprendre le phénomène El Niño, il nous faut d'abord voir comment les circulations atmosphériques et les courants océaniques se comportent quand aucun dérèglement n'intervient.

L'océan Pacifique, qui s'étend sur une surface de 166 241 700 km<sup>2</sup>, est l'océan le plus vaste du globe terrestre. Il est entouré par l'Asie, l'Australie et l'Amérique, alors que sa limite avec l'océan austral au sud est officiellement marquée au 60<sup>e</sup> degré de latitude.

Concentrons nous maintenant sur la région du pacifique au niveau de l'équateur (0° de lat.). A ce niveau, on trouve à l'ouest l'Indonésie, la Papouasie, l'Australie qui forme une sorte de barrage entre l'Océan Pacifique et l'Océan Indien et à l'Est on a la grande chaîne montagneuse des Andes dans l'Amérique du sud.

Dans cette partie de l'océan le rayonnement est maximum ; l'eau de surface accumule de la chaleur et chauffe par rapport aux eaux de profondeur. On observe dans cette partie du globe des alizés venants d'Ouest. L'origine des alizés est reliée à «l'appel d'air» qui se met en place là où l'air surchauffé s'élève. Cette dépression est alors comblée par l'air des latitudes proches de l'équateur. Avec la force de Coriolis, ces masses d'air sont déviées vers la droite dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud. (*Schéma 1*)

## **A – Circulation atmosphérique et océanique normale.**

Les alizées ont pour conséquence de repousser les eaux chaudes vers l'ouest. Cette eau chaude (qui peut atteindre les 32°C), accumulée en surface provoque une forte évaporation ce qui crée ainsi une dépression ainsi qu'un climat relativement humide et chaud au dessus de la zone est. Par opposition, l'eau du Pacifique Ouest, près des côtes de l'Amérique du Sud, est presque 8°C plus froide (26-24°). La thermocline baisse à l'ouest où on a accumulation d'eau chaude et elle monte à l'est où l'on a la présence d'un upwelling côtier qui vient combler le déficit d'eau dû aux vents.

Cette eau froide refroidit l'air se trouvant au dessus, cet air dense et froid crée une zone de haute pression. Sachant que les vents sont proportionnels à la différence de pression entre 2 points et qu'ils se dirigent des hautes pressions vers les basses, plus la pression près de l'Indonésie/Australie est basse et plus la pression près des cotes américaines est élevée, plus les alizés, balayant le Pacifique tropical de l'est vers l'ouest, sont puissants. (*Schéma 2*)

Ces vents "accumulent" de l'eau chaude à la surface du Pacifique ouest, à un tel point que la surface de la mer est d'environ 50 cm plus haute près de l'Indonésie qu'en Équateur Est.

## **B – El Niño**

Comme nous venons de le voir les alizés qui balayent l'océan pacifique sont influencés par la différence de pression entre les hautes pressions à l'Est et les basses pressions à l'Ouest. Plus la différence est importante, plus les alizés sont forts.

Mais si la pression près de l'Indonésie vient à augmenter et celle près de l'Amérique du sud diminue, la différence de pression devient moins importante et les alizés commencent à perdre de leur vigueur dans le centre et l'ouest du Pacifique; il arrive même que dans des conditions extrême ils changent de direction et s'inversent (les alizées soufflent dans la direction Est.).

C'est là qu'un le dérèglement commence, El Niño s'installe. Le phénomène prend du temps à se mettre en route et il faut que les alizés s'essouffent au moins plusieurs mois pour voir les premiers changements. L'eau chaude de l'Ouest se déplace alors vers les côtes d'Amériques du sud. Le centre et l'est de l'Océan Pacifique se réchauffent.

Ce déplacement de la Warm Pool joue aussi un rôle important sur les courants. La thermocline à l'Ouest remonte pour arriver presque jusqu'à une même profondeur de part et d'autre de l'Océan. Ce qui cause un arrêt de l'Upwelling le long des cotes américaines. Cette eau chaude à l'Est chauffe ainsi l'air humide qui le surplombe, créant un mouvement ascendant qui fournit à la haute atmosphère de l'humidité. L'atmosphère continue de s'équilibrer : On a une baisse barométrique sur le centre et l'Est du Pacifique, alors que sur l'Australie et l'Indonésie, la pression augmente. Ces changements de pression jouent sur la force des alizés qui continuent à faiblir jusqu'à souffler vers l'est. Puis, El Niño devient de plus en plus important.

Il est alors très difficile de dire qui, du vent ou de la mer, a initié ce phénomène. Et malgré de nombreuses recherches sur le terrain ainsi que des modélisations scientifiques la question reste toujours en suspens. Mais ce qui est sûr, c'est qu'il s'agit d'un jeu d'action-réaction.

El Niño dure généralement environ 9-12 mois. Souvent, il commence à se former au cours de Juin-Août, pour atteindre un pic au cours de Décembre-avril, puis décroît pendant la période de Mai-Juillet de l'année suivante. Cependant, certains épisodes prolongés ont duré 2 ans et même 3-4 ans. Bien que leur périodicité puisse être tout à fait irrégulière, El Niño se produit tous les 3-5 ans en moyenne.

## **C - El Niño : Son histoire.**

Il a fallu du temps aux scientifiques pour comprendre comment s'assemblaient les différents morceaux du puzzle El Niño. De nombreux scientifiques ont contribué à la compréhension des relations entre courants océaniques et vents.

– Des premières hypothèses à aujourd'hui :

Pendant les années 20, Walker s'aperçut d'une corrélation remarquable entre les relevés barométriques de l'est et de l'ouest du pacifique. Il utilisa l'expression "*Southern Oscillation*" (*oscillation australe* en français) pour caractériser ce mouvement de balançoire visible dans les données barométriques.

Ayant ses recherches sur l'oscillation australe, Sir Walker réussit à déterminer, un index auquel il donna son nom. Ce dernier aurait pour fonction de mesurer l'écart de pression entre l'est et l'ouest de l'Océan Pacifique. Pendant les phases d'indice haut de ce mouvement oscillant, la pression est élevée dans l'est du Pacifique et basse dans l'ouest. Pendant les phases d'indice bas, la différence de pression entre les deux extrémités du bassin s'atténue.

Walker se rendit compte que les saisons de mousson associées à un indice bas étaient souvent caractérisées par des sécheresses en Australie, en Indonésie, en Inde et dans différents secteurs de l'Afrique. Il énonça aussi le fait que ces indices bas étaient également associés à des hivers particulièrement doux dans le Canada occidental. D'autres scientifiques l'attaquèrent dans des revues scientifiques pour oser suggérer que des conditions climatiques dans des régions du globe aussi distantes pouvaient être liées. Cependant, Walker prédit correctement qu'une explication devait exister mais qu'elle devait vraisemblablement exiger une connaissance des structures du vent à des niveaux autres que le sol (ce qui était à l'époque difficilement observable par manque de moyen technique).

Pendant les décennies qui suivirent, les chercheurs ont ajouté de nouveaux morceaux au puzzle de l'oscillation australe.

C'est vers la fin des années 60 que le professeur Jacob Bjerknes mit en place une nouvelle pièce importante du puzzle. En fait, alors qu'il était jeune chercheur, Bjerknes a établi sa renommée en publiant la première explication qui repose sur un couplage de deux voies, entre l'atmosphère et l'océan. Il fut le premier à voir une connexion entre les températures de surface anormalement chaudes, les alizés faibles et les fortes chutes de pluie qui accompagnent les conditions d'indice bas. C'est donc Bjerknes qui, le premier, établit que El Niño et l'oscillation australe étaient deux parties d'un même phénomène, souvent désigné par ENSO.

A partir des années 1980 différents scientifiques ont invoqué un système d'ondes équatoriales qui se réfléchissent sur les bords Ouest et Est du bassin. Les ondes de Kelvin vers l'Est se réfléchissent par une onde de Rossby planétaire plus lente qui se propage en 2-3 ans en direction de l'Ouest à des latitudes plus élevées (20°). Ces ondes de Rossby se réfléchissent à leur tour sur les bords Ouest du Pacifique et génèrent de nouveau une onde de Kelvin, réinitialisant ainsi un nouveau cycle ENSO qui s'étend sur une période de 3-4 ans.

Mais d'autres scientifiques proposèrent plutôt un retour de l'onde de Rossby plus proche de l'équateur. Le jeu complexe des ondes de Kelvin et de Rossby à l'équateur même fut appelé l'oscillateur retardé, qui repose sur la faculté de la frontière Ouest à réfléchir les ondes. Toutes ces hypothèses ne sont pas toujours acceptées par toute la communauté scientifique.

De nos jours encore, les origines du phénomène El Niño restent méconnues, et seule l'observation à long terme pourra nous aider à mieux les comprendre.

– Les avancées technologiques.

Grace à l'avancée des techniques, les scientifiques ont mis au point différents moyens d'observer l'océan et l'atmosphère afin d'améliorer la compréhension des phénomènes et leur prévision . L'océan Pacifique est surveillé, mesuré, par différents moyens de surface et satellitaires.

Les premiers réseaux de mesures furent le réseau des navires marchands qui mesurent le profil de température de la mer sur 700m (en 1979) et celui des marégraphes. Ensuite, ces réseaux furent complétés, lors du programme international TOGA (*Tropical Océan and Global Atmosphère*), par un réseau de nouvelle conception qui suit les processus le long de l'équateur grâce à des bouées dérivantes. Puis le réseau TAO (*Tropical Atmosphère Océan*), qui lui, est constitué de mouillages instrumentés qui mesurent en continu les conditions atmosphériques (vent, température de l'air, humidité) et la température dans les premiers niveaux de l'océan jusqu'à 400 mètres de profondeur.

Depuis 1972, soixante neuf mouillages qui couvrent l'océan tropical entre 8°S à 8°N. S'ajoutent aussi les données des satellites indispensables pour obtenir une image globale de l'évolution climatique. Les années 90 correspondent en particulier au lancement des satellites dédiés à l'océanographie. Dès 1992, les satellites ERS1 puis ERS2 permettent de déterminer le vent soufflant à la surface des océans. Et surtout, depuis 1992, le satellite TOPEX-POSEIDON dont le radar altimétrique mesure les variations du niveau de la mer avec une précision centimétrique.

Ces réseaux d'observation permettent de suivre étape par étape le déroulement des anomalies *El Niño*, conjointement dans l'océan et dans l'atmosphère.

Ainsi, grâce à un ensemble de campagnes à la mer et à la mise en place de réseaux d'observations, il a été possible de décrire les variations temporelles des océans tropicaux et d'appréhender leurs interactions avec l'atmosphère globale. Sans pouvoir prétendre être arrivé à la connaissance précise des mécanismes d'ENSO, des progrès ont été réalisés dans ce sens, avec en particulier l'étude des ondes équatoriales. Et différentes théories ont été mises en place afin d'expliquer les cycles d'El Niño par la circulation d'onde de Kelvin et d'onde Rossby qui se déplacent dans l'océan pacifique.

De nombreux modèles océaniques et atmosphériques ont été développés, et certains modèles couplés arrivent à prévoir la plupart des événements ENSO six mois voire un an à l'avance. Ce succès a été rendu possible par une coopération remarquable entre l'ensemble des scientifiques impliqués et les états touchés par ce phénomène.

## 2) El Niño : Les effets climatiques

Les effets d'El Niño sont nombreux et peuvent toucher le climat planétaire. Mais les régions Est et Ouest du bassin pacifique sont le lieu des plus forts changements. Les milieux naturels et les populations subissent des conditions climatiques particulières. Mais grâce aux technologies modernes il est maintenant possible de prévoir le phénomène afin d'y préparer la population et de gérer les problèmes naturels.

La circulation atmosphérique dans les Tropiques correspond à la cellule de Hadley, soit une circulation directe de l'air en surface vers l'équateur où la convergence crée une bande orageuse appelée la zone de convergence intertropicale. La force de Coriolis est faible à ces latitudes mais assez pour créer une déviation vers l'ouest de la circulation créant les alizés (du nord-est dans l'hémisphère nord et du sud-est dans celui du sud). Au niveau océanique, la gyre du pacifique sud qui tourne dans le sens horaire inverse créé un upwelling le long des cote de l'Amérique du sud. Donc généralement le climat dans cette partie de l'océan pacifique est plutôt sec et froid.

Lorsqu'El Niño est en place, les conditions changent radicalement. Le niveau de la mer dans le Pacifique est s'élève de près de 25 cm sur près de 6000 km entre l'Équateur et la cote pacifique. Le long des côtes qui s'étendent du Chili à la Colombie Britannique les températures de la mer deviennent supérieures à la normale ce qui produit des effets dramatiques sur les continents. Alors que la température des eaux de surfaces augmente, l'évaporation augmente aussi, créant ainsi la formation d'énorme formation de nuage qui passe au dessus des côtes Pacifique de l'Amérique du sud. Cette atmosphère humide vient directement déverser des quantités d'eau importantes (en Équateur et dans le nord du Pérou environ 250 cm de pluie tombèrent pendant 6 mois) transformant le désert côtier en prairie, avec même l'apparition de lacs.

L'interaction entre l'océan et l'atmosphère dans le Pacifique peuvent affecter par ondes de choc les conditions climatiques dans les régions les plus éloignées du globe. Ce message d'échelle planétaire est convoyé par des déplacements des régions de pluies tropicales, qui affectent ensuite les structures de vent sur toute la planète. Les nuages tropicaux porteurs de pluie déforment l'air qui les surplombe (8 à 16 km au dessus du niveau de la mer), Les ondes qui sont formées dans l'air au dessus de ces nuages vont déterminer les positions des moussons, les routes des cyclones et la ceinture des vents intenses qui les surplombent, les Jet-stream, séparant les régions chaudes et froides à la surface de la Terre causent des anomalies climatiques sur de nombreuses régions du globe.

### 3) El Niño : Influence sur les ressources.

En temps normal, lorsque la thermocline est assez proche de la surface, le brassage induit par les vents est capable de mélanger l'eau profonde (riche en nutriments et en gaz carbonique) avec l'eau de surface. Ce qui a pour effet de développer le phytoplancton et donc le zooplancton ce qui attire les poissons, les oiseaux et, logiquement, favorise l'activité de la pêche .Mais en période El Niño , lorsque Les eaux froides sont remplacées par des eaux plus chaudes et les poissons disparaissent des côtes ,en recherche d'eaux plus froides. Cela a une conséquence immédiate sur l'activité des pêcheurs et sur l'économie côtière de manière générale.

Après les augmentations de niveau de la mer aux Îles Christmas, les oiseaux de mer abandonnèrent leur progéniture et se dispersèrent sur tout l'océan en quête désespérée de nourriture. De nombreuses espèces de poisson connurent un sort équivalent du a l'appauvrissement des eaux de surface. Le long des côtes qui s'étendent du Chili à la Colombie Britannique les températures de la mer étaient supérieures à la normale, et les poissons qui vivent habituellement dans les eaux tropicales ou subtropicales avaient migré vers les pôles.

Mais El Niño a aussi produit des effets dramatiques sur les continents. En Équateur et dans le nord du Pérou environ 250 cm de pluie tombèrent pendant 6 mois, transformant le désert côtier en prairie, avec même l'apparition de lacs. L'apparition d'une nouvelle végétation a entraîné l'arrivée de nouvelles espèces, permettant l'expansion d'autres colonies. Dans certains estuaires inondés le nombre de cas de malaria (induits par la recrudescence des moustiques).

Ainsi pour les gouvernements des pays touchés il était important de prévoir ce phénomène. C'est dans cette optique qu'il a été fait de nombreuses campagnes en mer ainsi que de nombreuses simulations.

Des progrès considérables ont été réalisés au cours des 30 dernières années, essentiellement grâce à l'utilisation de nouveaux moyens d'observation, aussi bien satellitaires que terrestres, et de calcul. Depuis les années 1990, un système d'observation *in situ* a été mis en place dans le Pacifique et de nouveaux satellites scrutent en permanence l'ensemble des océans. Il a ainsi été possible d'établir des cartes de courants marins pour l'ensemble du globe.

El Niño 1997-1998 a été le premier événement à être suivi de très près par satellite. TOPEX/POSEIDON a ainsi observé très tôt les premières manifestations du phénomène : la propagation d'une bosse d'eau chaude, surélevée de 20 à 30 cm par rapport au reste de l'océan. La preuve que l'altimétrie spatiale permet de détecter les signes précurseurs d'un tel phénomène de manière précoce et une avancée majeure qui doit répondre à des préoccupations grandissantes.

## 4) Conclusion et Bibliographie

A l'évidence, aucune technique ne pourra jamais enrayer un phénomène naturel d'une telle ampleur, mais la prévention et l'information sont indispensables afin d'en limiter l'impact et les effets néfastes sur la population, les infrastructures et les cultures.

De nombreux pays utilisent déjà avec succès les prévisions de El Niño pour une planification stratégique dans des secteurs comme l'agriculture, la gestion des ressources en eau ou encore les réserves de blé et de pétrole (utilisé à des fins de chauffage).

La capacité d'anticiper les changements climatiques d'une année sur l'autre conduira à une meilleure gestion des productions agricoles, des réserves en eau, des pêcheries, et autres ressources. En incorporant les prévisions du climat dans ses décisions de gestion, l'humanité devient mieux préparée pour affronter un climat plus particulier.

De nos jours le réchauffement climatique a pris une grande place dans l'actualité alors qu'El Niño est de moins en moins médiatisé. Il serait pourtant intéressant de voir si il y a une corrélation entre les deux phénomènes et si le premier module le second ou non car si El Niño augmentait avec le réchauffement, les conséquences pourraient être encore plus importantes sur le climat et les ressources dans le Pacifique équatorial et peut-être dans le monde.

## Sources bibliographiques :

- 1 <http://www.cnrs.fr/>
- 2 <http://www.noaa.gov/>
- 3 <http://www.aviso.oceanobs.com/>
- 4 <http://www.ifremer.fr>
- 5 <http://science.nasa.gov/>
- 6 <http://fr.wikipedia.org/>
- 7 Océan et climat de Jacques Merle (Broché - 1 août 2006)

## Annexes:

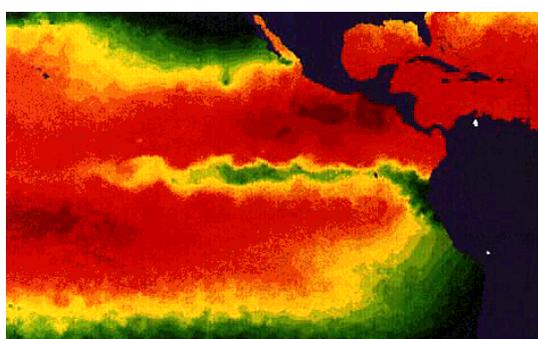


Schéma 1 : Cette carte montre la distribution de la température de surface de la mer en condition normale. Les eaux les plus chaudes sont indiquées en rouge foncé, et les eaux plus froides par du jaune puis du vert.

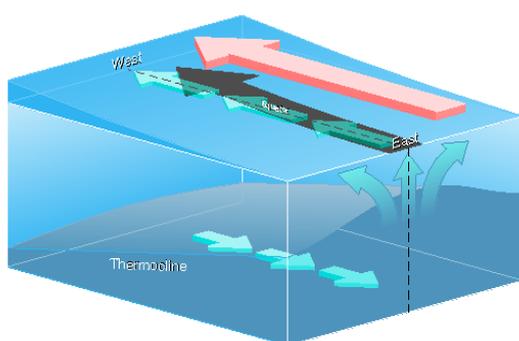


Schéma 2 : Les vents d'est (flèche rouge) entraînent l'eau de surface vers l'ouest le long de l'équateur. La rotation de la Terre dévie ce courant en écartant les eaux de l'équateur en la remplaçant par de l'eau issue de couches plus profondes (flèches vers le haut). Le niveau de la mer est plus élevé dans la partie ouest du bassin que dans la partie est, où les vents soufflent à pleine puissance. La thermocline (bleu foncé) est inclinée. Elle affleure la surface dans le Pacifique équatorial oriental.

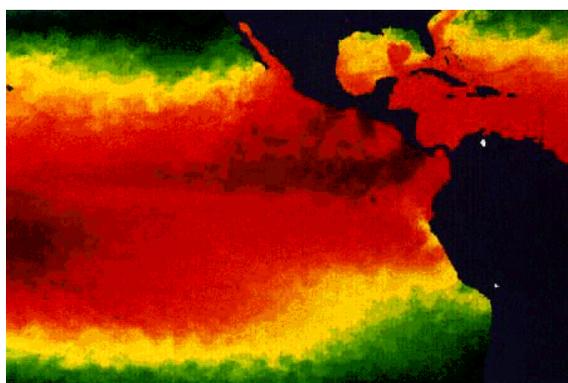


Schéma 3 : Les alizés (flèche rouge) régressent vers l'est lors du déclenchement de conditions El Niño. Ceci déclenche des changements dans la couche supérieure de l'océan. Le long de l'équateur, la pente de la surface et la pente de la thermocline s'aplatissent toutes les deux.

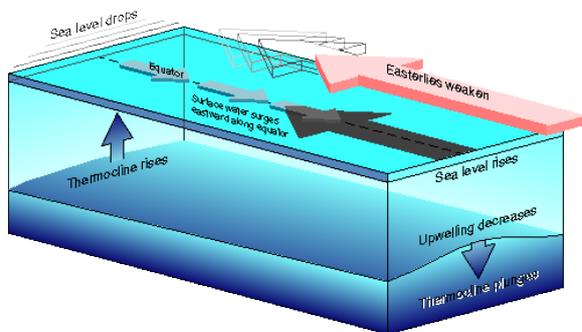


Schéma 4 : La température de surface de la mer pour des conditions El Niño, quand la thermocline dans le Pacifique oriental était plus profonde que la normale et quand l'upwelling équatorial était supprimé.

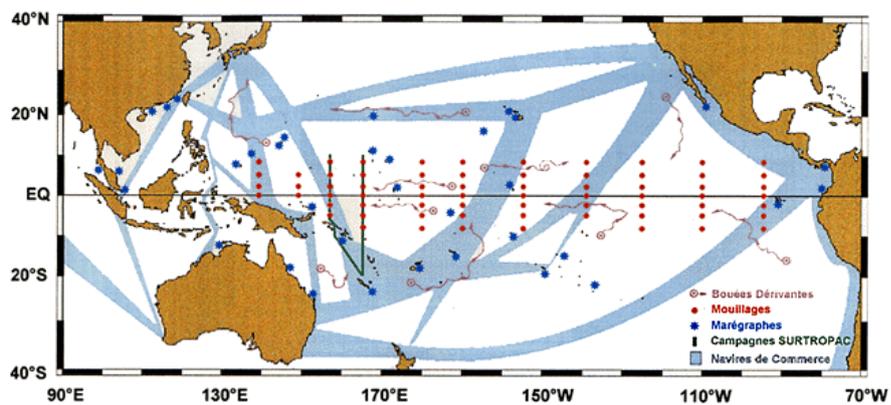


Illustration 1 : Les principaux réseaux de mesure: 69 mouillages, 40 marégraphes, plusieurs centaines de bouées dérivantes et une vingtaine de navires de commerce. Le trajet de 23 campagnes océanographiques effectuées par le groupe SURTROPAC est rapporté le long de 165°E et 156°E.