

Enregistrements de conditions de type El Niño, en Amérique du Sud, au cours des 7 000 dernières années

Louis MARTIN, Maria Lucia ABSY, Jean-Marie FLEXOR, Marc FOURNIER,
Philippe MOURGUIART, Abdelfetah SIFEDDINE et Bruno TURCO

Résumé – Les forts phénomènes El Niño provoquent d'importantes perturbations climatiques dans différentes régions d'Amérique du Sud. Le même type de perturbations a été observé au cours de l'Holocène dans ces mêmes régions. Un scénario expliquant ces anomalies holocènes par l'existence de conditions de type El Niño de longue durée est proposé.

Records of El Niño-like conditions in South America during the last 7,000 years

Abstract – During present-day strong El Niño events, climatic anomalies appear in different regions of South America. The same climatic mode has been observed in the Holocene in the same regions. A conceptual model, explaining these climate anomalies during the Holocene by long-term El Niño-like conditions, is proposed.

Abridged English Version – Strong El Niño events [1] lead to important rainfall anomalies and changes in wind patterns in South America [2], related to two main processes (Fig. 1): modification of the Walker circulation and a blocking of frontal systems.

In austral autumn and winter 1983, a perturbation in the longshore transport direction was observed [3] on a sandy beach near Salvador (13°S) as a consequence of the frontal system blockage in southern Brazil related to an important El Niño event. Reversals of longshore transport, with duration of tens to hundreds of years, evidenced in a beach-ridge coastal plain in the central part of the Brazilian coast, during the past 5,100 years, indicate the possible existence of long duration El Niño-like conditions ([4], [5]). If this hypothesis is true we may envisage that the past long-duration El Niño-like conditions would have had in South America the same effects as modern strong El Niño events. A model must incorporate the data obtained and predict the unknown data. From the palaeoclimatic interpretation of the dated series of beach-ridges in Doce River coastal plain (19°S) [6] we can infer the following palaeoclimatic conditions for Amazonia, Bolivian Altiplano and Northern Peru (Fig. 1):

- before 3,900–3,600 yr B.P., numerous periods of El Niño-like conditions suggest a series of drier periods in Amazonia and the Bolivian Altiplano, as well as a series of wetter periods in Sechura Desert;
- between 3,900–3,600 and 2,800–2,500 yr B.P., when no El Niño-like conditions occurred, the climate must have been wetter on the average in Amazonia and the Bolivian Altiplano and drier in Sechura Desert;
- between 2,800–2,500 yr B.P. and Present, the three recorded periods of El Niño-like conditions suggest at least three drier periods in Amazonia and the Bolivian Altiplano and at least three wetter periods in Sechura Desert.

These palaeoclimatic inferences are supported by: water-level fluctuations of Lake Titicaca, reconstructed by using transfer functions on modern and fossil ostracod faunas [7]; palynological [8] and sedimentological [9] analysis on a core collected in a lake of the Serra dos Carajas (6°20'S–50°25'W) (a narrow plateau surrounded by the rainforest in Eastern

Note présentée par Claude LORIEUS.

0764-4450/92/03150097 \$ 2.00 © Académie des Sciences

23 NOV. 1992

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 36.169 ex 1

Cote : B M P 28

Amazonia) and variations of sand supply at Rio Piura and Chira outlets [11] in Sechura Desert.

The frequency of occurrence of El Niño-like conditions has changed during the last 7,000 years. They were very frequent before 3,900-3,600 yr B.P., absent between 3,900-3,600 and 2,800-2,500 yr B.P. and less frequent after 2,500 yr B.P. Studies of these past relations at a global scale may provide a better understanding of climate variations during the Holocene.

I. INTRODUCTION. — Les forts phénomènes El Niño [1] entraînent d'importantes anomalies du régime des pluies et des vents en Amérique du Sud [2]. Ces perturbations sont engendrées par deux mécanismes principaux (*fig. 1*) :

- une modification de la circulation de Walker à la suite du déplacement vers le Pacifique de la zone de convection normalement centrée sur l'Amazonie;
- un blocage des advections polaires, au sud d'une zone allant du Pérou au sud du Brésil, à la suite du déplacement et du renforcement du jet subtropical.

En automne-hiver austral 1983, année d'un important phénomène El Niño, une perturbation du sens du transport littoral et donc du régime des houles et des vents a pu être observée sur une plage de Salvador (13°S) [3], à la suite du blocage des fronts froids dans le sud du Brésil. Des inversions du sens du transport littoral, non plus de quelques mois mais de durées allant de la dizaine à la centaine d'années, mises en évidence au cours des 5 100 dernières années sur la partie centrale du littoral brésilien [4] laissent supposer qu'il a pu se produire au cours de l'Holocène le même type de blocage pendant de longues périodes [5]. Il est donc tentant de relier ces longues périodes de blocage à des situations de type El Niño de longue durée. Nous entendons par situations de type El Niño des conditions climatiques engendrant le même type de perturbations que les forts phénomènes El Niño. Cependant, ces derniers ayant des durées de quelques mois et les conditions de type El Niño des durées de la dizaine à la centaine d'années, celles-ci ne peuvent être considérées comme des paléo-El Niño.

II. INVERSIONS DU SENS DU TRANSPORT LITTORAL AU COURS DES 5000 DERNIÈRES ANNÉES. — Sur les côtes sableuses en progradation, la géométrie des cordons littoraux fossiles permet de reconstruire le sens du transport littoral passé et ainsi de connaître le régime des houles et des vents. Une étude détaillée [6] de l'importante série de cordons littoraux de la plaine côtière du Rio Doce (19°S) a fourni les informations suivantes :

- avant $5\,100 \pm 120$ ans B.P., l'absence de cordons ne permet pas de connaître le sens du transport littoral;
- entre $5\,100 \pm 120$ et $3\,900 \pm 130$ ans B.P., à sept reprises, le transport littoral, qui normalement se fait du sud vers le nord, s'est inversé;
- entre $3\,900 \pm 130$ et $3\,600 \pm 120$ ans B.P., à la suite d'une remontée du niveau de la mer, il ne s'est pas formé de cordons;
- entre $3\,600 \pm 120$ et $2\,800 \pm 100$ ans B.P., le transport s'est fait en permanence du sud vers le nord;
- entre $2\,800 \pm 100$ et $2\,500 \pm 120$ ans B.P., il ne s'est pas formé de cordons, en conséquence d'une nouvelle remontée du niveau marin;
- entre $2\,500 \pm 120$ et 0 ans B.P., à trois reprises, vers $2\,200 \pm 150$, $1\,300 \pm 150$ ans B.P. et à une époque plus récente non datée, le transport s'est fait du nord vers le sud.

Il est évident que, pendant les périodes d'inversions du sens du transport littoral, les houles du sud, qui accompagnent la remontée vers le nord des « fronts froids », n'ont pas atteint la région de l'embouchure du Rio Doce. On doit toutefois noter que les inversions enregistrées peuvent s'expliquer soit par des blocages permanents, soit par des blocages non continus mais fréquents sur de longues périodes.

Si ces blocages correspondent à des conditions de type El Niño de longue durée, on devrait rencontrer, dans les régions d'Amérique du Sud affectées par les forts phénomènes El Niño, des enregistrements de perturbations comparables.

III. SCÉNARIO PALÉOCLIMATIQUE. — Un scénario par nature vérifie les données à partir desquelles il a été établi, mais il doit également prévoir les données que l'on ne possède pas. Ainsi, si, au cours des 7000 dernières années, il a existé des périodes de conditions de type El Niño de longue durée, on peut penser que des régions comme l'Amazonie, l'Altiplano bolivien et le nord du Pérou, dont le régime des pluies est fortement perturbé par les forts El Niño, auront enregistré le même type de perturbations :

— avant 3900-3600 ans B.P., l'existence de nombreuses périodes de conditions de type El Niño, définies par des inversions du sens du transport littoral sur la côte brésilienne, laisse prévoir une succession de phases sèches en Amazonie et sur l'Altiplano et de phases humides dans le désert de Sechura au nord du Pérou;

— entre 3900-3600 et 2800-2500 ans B.P., l'absence de périodes de conditions de type El Niño laisse prévoir un climat plus humide en Amazonie et sur l'Altiplano et plus sec dans le désert de Sechura;

— entre 2800-2500 ans B.P. et l'Actuel, l'existence d'au moins trois périodes de conditions de type El Niño laisse prévoir au moins trois phases sèches en Amazonie et sur l'Altiplano et au contraire trois phases humides dans le désert de Sechura, vers 2200, 1300 ans B.P. et à une époque plus récente.

IV. VÉRIFICATION DES PRÉVISIONS DU SCÉNARIO. — Des informations paléoclimatiques provenant d'études menées indépendamment dans ces trois régions ont été utilisées.

1. *Variations du niveau du lac Titicaca au cours des 7000 dernières années.* — Les fluctuations du plan d'eau ont été reconstruites [7] en utilisant une fonction de transfert sur des faunes actuelles et fossiles d'ostracodes. Ces données montrent que le lac a atteint son plus bas niveau vers 7500 ans B.P. Avant 3900 ± 80 ans B.P. (nombreuses périodes de conditions de type El Niño), le plan d'eau a fluctué autour d'une cote nettement inférieure à l'actuelle. Le lac ayant, en moyenne, cessé de baisser, on peut en déduire qu'il n'existait pas à cette époque une sécheresse permanente mais une succession de courtes périodes sèches. Entre 3900 et 3000 ans B.P. (pas de périodes de conditions de type El Niño), le plan d'eau ayant fortement remonté, on peut en déduire l'existence d'un climat plus humide. Après 3000 ans B.P. (au moins trois périodes de conditions de type El Niño), le niveau du lac, en moyenne légèrement plus bas que l'actuel, ayant connu 4 à 5 périodes d'abaissements rapides dont deux vers 2400 ± 100 et 1300 ± 100 ans B.P., on peut en déduire l'existence de 4 à 5 périodes sèches.

2. *Modifications climatiques en Amazonie orientale.* — Des études palynologiques [8] et sédimentologiques [9] ont été effectuées sur une carotte prélevée dans un lac de la Serra dos Carajas ($6^{\circ}20'S$ et $50^{\circ}25'W$), étroit plateau cuirassé émergeant de la forêt dense. Le spectre pollinique montre qu'au cours des 60000 dernières années, il s'est produit quatre périodes d'ouverture de la forêt, marquées par une importante diminution du pourcentage des grains de pollen d'arbres. Cependant, la période la plus récente, entre

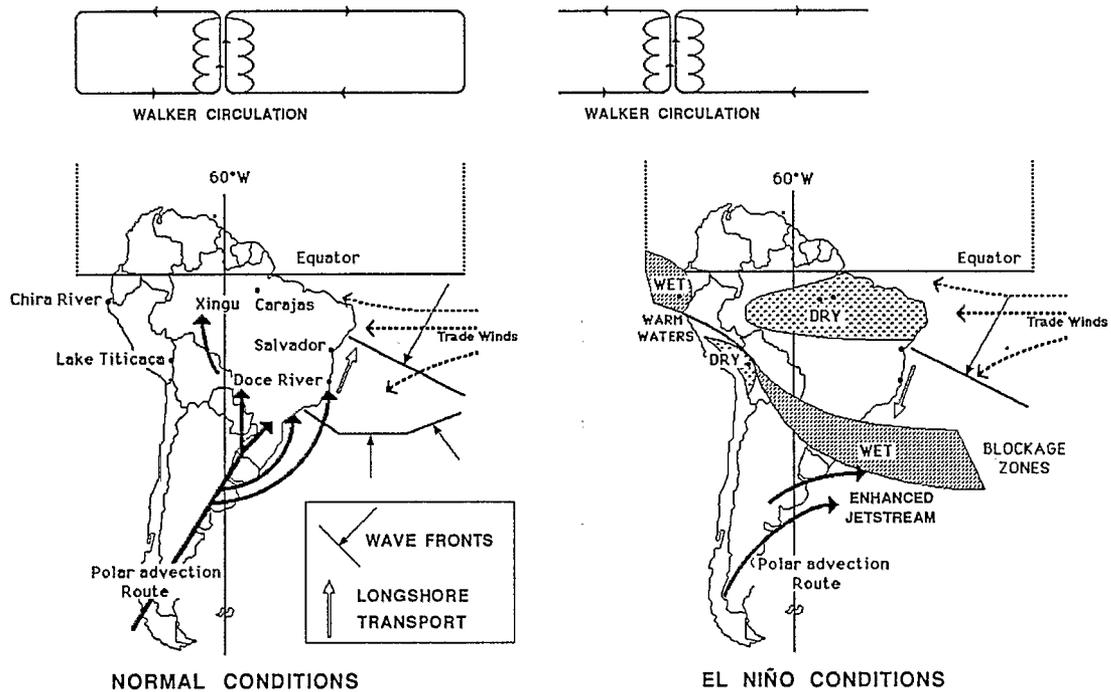


Fig. 1. — Perturbations provoquées par les forts phénomènes El Niño dans plusieurs régions d'Amérique du Sud.

Fig. 1. — Disturbances engendered by strong El Niño phenomena in several areas of South America.

7000 et 4000 ans B.P., se différencie des trois autres par une quasi absence des taxons de savane et par des flux détritiques très faibles. Par ailleurs, entre 6000 et 4000 ans B.P., le pourcentage des grains de pollen d'arbres est dominé par un élément pionnier (*Piper*) qui constitue jusqu'à 40 % du total alors que, pendant les phases sèches pléistocènes, ce taxon ne représente que quelques pourcents. L'absence des taxons de savane, les faibles flux détritiques et la permanence d'une importante végétation pionnière sur une longue période témoignent d'un climat différent de celui des phases sèches pléistocènes et de l'existence de conditions limitant le développement de la forêt. Durant cet intervalle, la présence de lits de micros charbons de bois suggère l'existence d'une succession d'incendies qui n'ont pu se produire que lors de périodes sèches. On peut donc penser que le facteur limitant a été l'apparition de multiples petites phases sèches dans un contexte global humide. Après 4000 ans B.P., le pourcentage des grains de pollen de *Piper* diminue fortement au profit de celui des autres espèces d'arbres. Les informations fournies par un site archéologique [10] en bordure du Rio Xingu complètent les données de Carajas. La base de l'accumulation de coquilles d'origine anthropique est située 4 m sous le niveau moyen actuel du fleuve. L'étude montre que trois périodes d'occupation du site se sont produites lors de bas niveaux fluviaux. Ces périodes, qui ont certainement duré plusieurs décades, ont été interrompues par des phases de submersion vers $2\,200 \pm 60$, $1\,200 \pm 80$ et 850 ± 60 ans B.P. Trois périodes sèches (conditions de type El Niño) ont donc affecté l'Amazonie orientale entre 2500 et 850 ans B.P.

3. *Sédimentation sableuse discontinue à l'embouchure des Rios Piura et Chira.* — Au cours des 5000 dernières années, il s'est produit une sédimentation sableuse discontinue

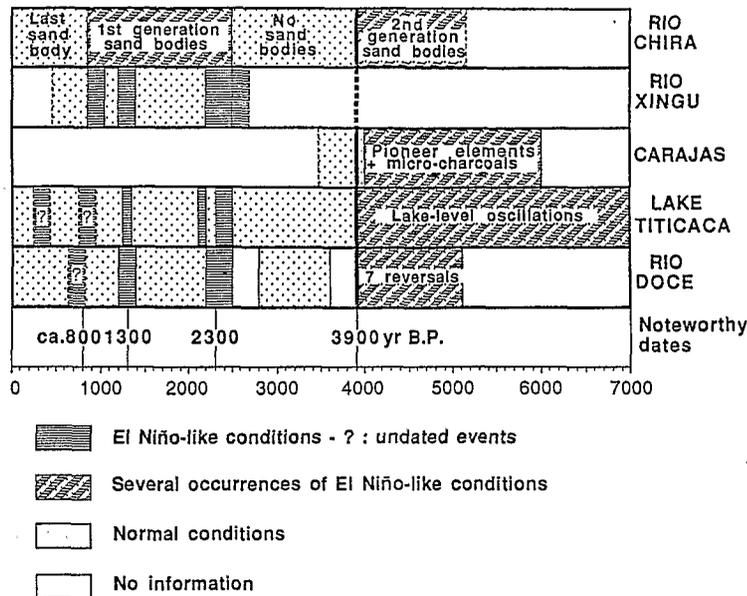


Fig. 2. — Tableau synoptique des conditions de type El Niño en Amérique du Sud au cours des 7 000 dernières années.

Fig. 2. — Synoptic Table of El Niño-like conditions in South America during the past 7,000 years.

à l'embouchure des Rios Piura et Chira dans le désert de Sechura au nord du Pérou. Cette sédimentation discontinue ne peut s'expliquer que par des apports discontinus des fleuves. Les volumes de sable mis en jeu sont beaucoup trop importants pour avoir été transportés par des crues de quelques mois du type de celles qui se produisent lors des phénomènes El Niño historiques. Des études morphologiques [11], effectuées à proximité de l'embouchure du Rio Chira, montrent qu'il existe deux générations de corps sableux allongés séparées par une zone plate. Même si nous ne disposons pas d'une chronologie précise de ces événements, il semble possible de corréliser la première génération de corps sableux à la période *ante* 3 900 ans B.P., la seconde à la période *post* 2 500 ans B.P. et la zone intermédiaire à l'époque comprise entre 3 900-3 600 et 2 800-2 500 ans B.P., période caractérisée par l'absence de conditions de type El Niño.

V. CONCLUSIONS. — Des inversions du sens du transport littoral, enregistrées dans les cordons littoraux fossiles de la partie centrale de la côte brésilienne, suggèrent l'existence de périodes de conditions de type El Niño de longue durée ou plus exactement de l'existence de longues périodes de la phase basse de l'Oscillation Australe. En effet, le phénomène El Niño est un événement extrême dans le cycle annuel qui se produit pendant la phase basse de l'Oscillation Australe. Alors que le phénomène El Niño ne dure que quelques mois, la phase basse de l'Oscillation Australe peut persister pendant de longues périodes [12]. La fréquence de ces événements a été très variable au cours des 7 000 dernières années : rapprochée avant 3 900-3 600 ans B.P., nulle entre 3 900-3 600 et 2 800-2 500 ans B.P. et espacée après 2 800-2 500 ans B.P. Les données paléoclimatiques de plusieurs régions d'Amérique du Sud dont le régime des pluies est fortement perturbé par les forts El Niño, ont confirmé de manière remarquable cette hypothèse (fig. 2). Par ailleurs, le phénomène El Niño Pacifique est suivi avec un an de décalage par un

événement chaud dans l'Océan Atlantique tropical [13]. On est à même de penser que les situations passées décrites ici ont pu provoquer un réchauffement des eaux tropicales en Atlantique. Les variations de la végétation, au cours de l'Holocène dans la région de Pointe-Noire au Congo [14], s'expliqueraient alors par l'existence de tels événements chauds. Les études de ce type de relations à une échelle globale pourraient permettre une meilleure compréhension des variations climatiques au cours des 7000 dernières années.

Ces recherches ont bénéficié, en France du soutien du programme GEOCIT de l'ORSTOM et au Brésil de la convention internationale ORSTOM/CNPq. Nous sommes reconnaissants à la Société minière brésilienne DOCEGEO pour son aide logistique à Carajas. Nous remercions H. Faure et J. Merle pour leur critique constructive, ainsi que V. Markgraf et S. Hastenrath pour leur relecture du manuscrit.

Note remise le 15 janvier 1992, acceptée après révision le 14 mai 1992.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] S. G. H. PHILANDER, *Nature*, 302, 1983, p. 295-301.
- [2] V. E. KOUSKY, M. T. KAGANO et I. F. A. CAVALCANTI, *Tellus*, 36 A, 1984, p. 490-504.
- [3] F. de F. FERREIRA, A. C. S. P. BITTENCOURT, A. ZANINI et J. M. L. DOMINGUEZ, *Rev. Bras. Geo.*, 15, 1984, p. 48-54.
- [4] L. MARTIN, J.-M. FLEXOR et K. SUGUIO, *Int. Symp. on Global Changes in S. Amer. during Quat. Spec. Publ.*, 1, 1989, p. 289-292.
- [5] L. MARTIN, J.-M. FLEXOR, V. E. KOUSKY et I. F. A. CAVALCANTI, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 298, série II, 1984, p. 25-27.
- [6] L. MARTIN et K. SUGUIO, *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.*, 1992 (sous presse).
- [7] Ph. MOURGUIART et M. ROUX, *Géodynamique*, 5, (2), 1990 (sous presse).
- [8] M. L. ABSY, A. CLEEF, M. FOURNIER, L. MARTIN, M. SERVANT, A. SIFEDDINE, M. FERREIRA DA SILVA, F. SOUBIES, K. SUGUIO, B. TURCQ et T. VAN DER HAMMEN, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 312, série II, 1991, p. 673-678.
- [9] A. SIFEDDINE, *Thèse*, Mus. Hist. Nat. Paris, 1991, p. 119 (non publié).
- [10] C. PEROTA et W. BOTELHO, *Symp. Int. Côtes Guyanes et Zones Caraïbes merid. pendant Quat.*, 1990, p. 144-146.
- [11] J. B. RICHARDSON, *Ann. Carnegie Mus.*, 52, 1983, p. 265-275.
- [12] S. HASTENRATH, *Clim. Dyn. of the Tropics*, Kluwer, Dordrecht, Boston, London, 1991, p. 264-288.
- [13] COVERY et S. HASTENRATH, *Mon. Wea. Rev.*, 106, 1978, p. 1280-1287.
- [14] H. ELENGA, D. SCHWARTZ et A. VINCENS, *Bull. Soc. Géol. France*, 1991 (sous presse).

L. M., M. F., Ph. M., A. S. et B. T. : ORSTOM, 70-74, route d'Aulnay, 93143 Bondy Cedex;
 M. L. A. : I.N.P.A., C.P. n° 478, 69000 Manaus, Brésil;
 J.-M. F. : Observatório Nacional, Rua General Bruce 586,
 20921 Rio de Janeiro, Brésil.