

PERTURBACIONES DEL RÉGIMEN DE LAS LLUVIAS Y CONDICIONES DE TIPO EL NIÑO EN AMÉRICA DEL SUR TROPICAL DESDE HACE 7 000 AÑOS

*Louis Martin **, *Jacques Bertaux **, *Marie-Pierre Ledru **, *Philippe Mourguiart ***,
*Abdelfettah Sifeddine **, *François Soubiès **, *Bruno Turcaq ****

Resumen

Algunos registros sedimentarios provenientes de tres regiones de América del Sur, geográficamente y climáticamente diferentes, permitieron reconstruir la evolución del régimen, de las lluvias durante los últimos 7 000 años. En Amazonía del sudeste, los análisis palinológicos y sedimentológicos de testigos obtenidos de los lagos de la región de Carajás (6° S) permitieron evidenciar la existencia de varios períodos de incendios del bosque tropical húmedo en relación con fases secas de corta duración (algunas decenas de años). Asimismo, en el Brasil central los análisis palinológicos y sedimentológicos de dos testigos obtenidos de la región de Salitre (19° S) y de Boa Vista (27° S) permitieron poner en evidencia variaciones sincronas pero de sentidos opuestos de la vegetación. Finalmente, en los Andes centrales, algunas reconstrucciones paleobatimétricas efectuadas en el lago Titicaca (14-17° S) también permitieron evidenciar perturbaciones importantes del régimen de las lluvias en fase con las registradas en Carajás y en Salitre. Estas perturbaciones son del mismo tipo que las provocadas hoy en día por los importantes eventos El Niño.

Palabras claves: *El Niño, Brasil, Amazonía, lago Titicaca, Holoceno, Paleoclimas.*

PERTURBATIONS DU RÉGIME DES PLUIES ET CONDITIONS DE TYPE EL NIÑO EN AMÉRIQUE DU SUD TROPICALE DEPUIS 7 000 ANS

Résumé

Des enregistrements sédimentaires provenant de trois régions d'Amérique du Sud, géographiquement et climatiquement très différentes, ont permis de reconstruire l'évolution du régime des pluies au cours des 7 000 dernières années. En Amazonie du sud-est, les analyses palynologiques et sédimentologiques de carottes prélevées dans des lacs de la région de Carajás (6° S) ont permis de mettre en évidence l'existence de plusieurs périodes d'incendies de la forêt tropicale humide en liaison avec des phases sèches de courtes durées (quelques dizaines d'années). De même, dans le Brésil central, les analyses palynologiques et sédimentologiques de deux carottes prélevées dans la région de Salitre (19° S) et de Boa Vista (27° S) ont permis de mettre en évidence des variations synchrones mais de sens opposés de la végétation. Enfin, dans les Andes centrales, des reconstructions paléobathymétriques

* UR12, Programme AIMPACT, ORSTOM, 32 Avenue H. Varagnat, 93143 Bondy, France.

** UR12, Prog. AIMPACT, Mission ORSTOM, CP 9214 La Paz, Bolivia.

*** UR12, Prog. AIMPACT, Prog. Geoquímica, Inst. Química, Univ. Fed. Fluminense, 24020-007 Niteroi, Brasil.

effectuées sur le lac Titicaca (14-17° S) ont également permis de mettre en évidence des perturbations importantes du régime des précipitations en phase avec celles enregistrées à Carajás et à Salitre. Ces perturbations sont du même type que celles provoquées de nos jours par les importants événements El Niño.

Mots-clés : *El Niño, Brésil, Amazonie, lac Titicaca, Holocène, Paléoclimats.*

DISTURBANCE OF RAINFALL REGIME AND EL NIÑO-LIKE CONDITIONS IN TROPICAL SOUTH AMERICA DURING THE LAST 7000 YEARS

Abstract

Sedimentary records from three geographically and climatically distinct South American areas allowed the reconstruction of the rainfall regime during the last 7 000 yrs. In south-eastern Amazonia, palynological and sedimentological analyses from cores retrieved in lakes of Carajás region (6° S) demonstrated the existence of several periods during which tropical rainforest fires were related to short-term (a few decades) dry periods. Likewise, in central Brazil, palynological and sedimentological analyses from two cores taken in the Salitre area (19° S) and in the Boa Vista region (27° S), revealed strong synchronous though opposite variations in the vegetation. Finally, on the northern Bolivian Altiplano, paleobathymetric reconstructions performed in Lake Titicaca (14-17° S) also point out to large variations in the precipitation pattern, which can be related to those recorded at Carajás and Salitre. Such variations are similar to those presently related to strong El Niño events.

Key words: *El Niño, Brazil, Amazonia, Lake Titicaca, Holocene, Paleoclimates.*

INTRODUCCIÓN

Para conocer la naturaleza del clima de América del Sur tropical durante los últimos 7 000 años, el régimen de las lluvias y las características de la circulación atmosférica fueron reconstruidos a partir de datos proporcionados por registros sedimentarios provenientes de tres lugares, localizados en regiones geográficamente y climáticamente diferentes (Amazonía del sureste, Brasil centro-este y norte del Altiplano boliviano). Las reconstrucciones paleoclimáticas efectuadas permitieron evidenciar la existencia de varias perturbaciones climáticas de corta duración (algunas decenas de años) cuyos efectos fueron muy comparables a los generados hoy en día por los fuertes eventos El Niño. Sin embargo, dado que estas perturbaciones no pueden ser consideradas como paleo-El Niño a causa de su duración más larga, fueron designadas con el nombre de "condiciones de tipo El Niño".

1. PERTURBACIONES ATMOSFÉRICAS MEDIAS EN AMÉRICA DEL SUR TROPICAL

1. 1. Condiciones normales

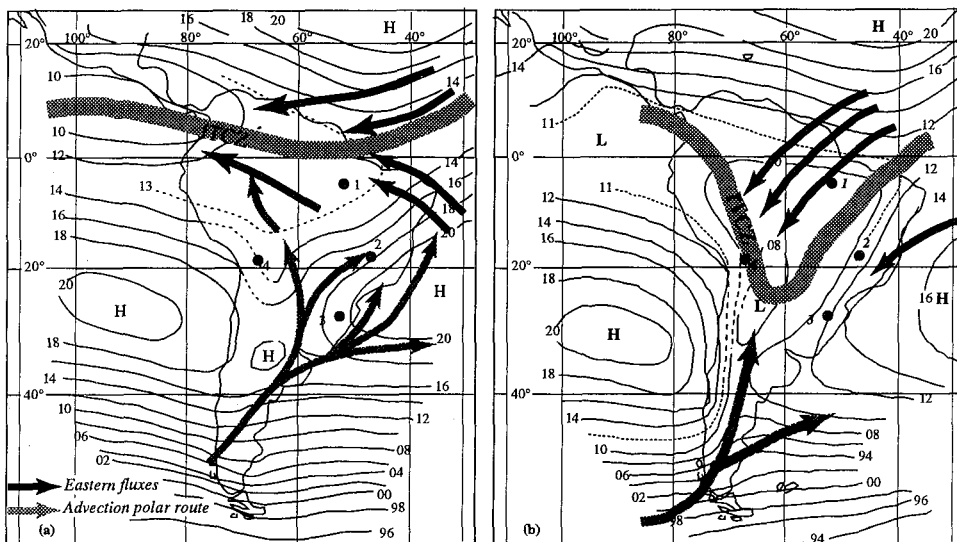
En invierno austral (Fig. 1a), la Zona de Convergencia InterTropical (ZCIT) está situada al norte del ecuador; los anticiclones pacífico y atlántico son reforzados y este último se extiende sobre una parte del continente sudamericano. En los Andes centrales, los grandes flujos de oeste, que circulan arriba de los 4 000 m de altura, se extienden hasta cerca de 10° S e impiden la penetración de las masas de aire amazónico. Estas condiciones están en el origen de la estación seca más o menos larga que afecta la Amazonía oriental, el Brasil central y los Andes centrales. Además, algunas masas de aire polar, cuyas trayectorias son canalizadas por el relieve, penetran profundamente en el continente sudamericano. Estas masas de aire polar marítimo se mezclan con el aire tropical que cirula en los flancos oeste y suroeste de las

altas presiones atlánticas. La zona de contacto entre estas dos masas de aire está marcada por frentes fríos que se desplazan del suroeste al noreste.

Durante el verano austral, la ZCIT se encuentra en posición sur (Fig. 1b). El anticiclón sudatlántico está debilitado y se desplazó hacia el centro del Atlántico. La Amazonía oriental y el Brasil central son dominados por las masas de aire continental ecuatorial en el origen de importantes precipitaciones convectivas. A nivel de la cadena andina, los flujos de oeste se desplazaron hacia el sur, lo que permite la penetración del aire tropical húmedo amazónico. Es un flujo continuo, cálido, húmedo y convectivo que provoca precipitaciones tempestuosas. El aire polar marítimo penetra en Bolivia generalmente antecedido de un fuerte frío que, levantando el aire polar, provoca abundantes precipitaciones.

1. 2. Perturbaciones en relación con los fuertes eventos El Niño

En situación "normal", las aguas de superficie del Pacífico ecuatorial oriental son notablemente frías para ser una región tropical. Sin embargo, esta situación puede ser fuertemente perturbada durante eventos El Niño que se producen durante las fases bajas de la Oscilación Austral. Este fenómeno se traduce en el reemplazo de las aguas oceánicas frías por aguas más calientes (Philander, 1983; Enfield, 1989). En una gran parte de América del Sur tropical, esta modificación ocasiona importantes perturbaciones del régimen de lluvias y de vientos que son generados por dos tipos de mecanismos:



1: Carajas 2: Salitre 3: Boa Vista 4: Lake Titicaca

Fig. 1 - (a) Presión atmosférica a nivel del mar: Situación media de tres meses de invierno (junio, julio y agosto), 96=996 mbar (según Schwerdtfeger, 1976); Posición de la ZCIT y de los flujos de este; Trayectorias de las advecciones polares; (b) Presión atmosférica a nivel del mar: Situación media de los 3 meses de verano (diciembre, enero y febrero), 20=1020 mbar (según Schwerdtfeger, 1976); Posición de la ZCIT y de los flujos del este; Trayectorias de las advecciones polares.

- el desplazamiento hacia el oeste de la zona de convección normalmente centrada en la Amazonía (Wyrski, 1982) que ocasiona abundantes lluvias en el norte del Perú y un déficit de las precipitaciones en Amazonía Oriental;
- el fortalecimiento del chorro subtropical (Kousky *et al.*, 1984), que ocasiona la formación de una zona de bloqueo. Este bloqueo provoca: (a) lluvias anormalmente abundantes en la zona de bloqueo; (b) un déficit de las precipitaciones al norte de ésta; (c) la interrupción de la penetración del aire amazónico en los Andes centrales.

2. INCENDIOS Y CORTOS PERÍODOS SECOS EN AMAZONÍA ORIENTAL

La Serra Dos Carajás (6°20' S y 50°25' W) es una estrecha planicie acorazada de aproximadamente 800 m de altura que emerge del bosque amazónico. El clima es tropical húmedo (1 500 a 2 000 mm año⁻¹) con dos estaciones contrastadas. Este régimen puede ser fuertemente perturbado (Fig. 2) por algunos importantes eventos El Niño.

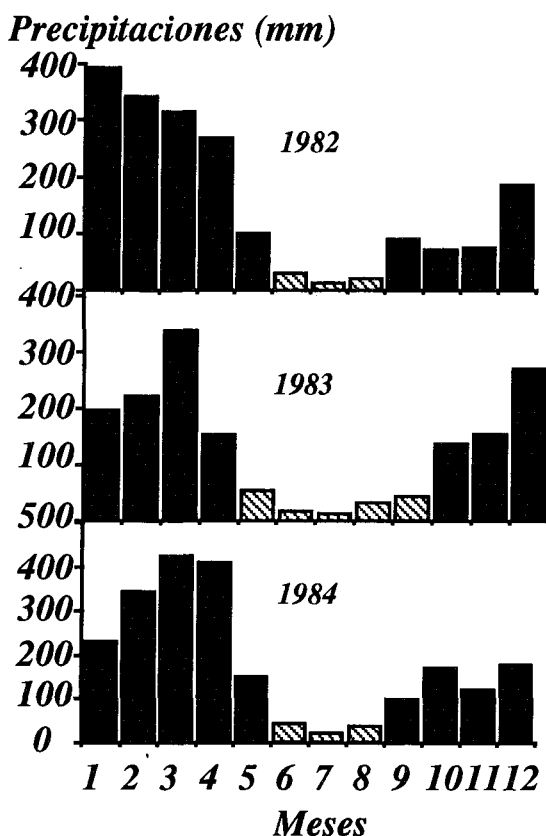


Fig. 2 - Duración de la época seca en la región de Carajás en años "normales" como en 1982 y 1984 en año "El Niño" como en 1983 (datos DNAEE).

Estudios sedimentológicos (Sifeddine *et al.*, 1994 a y b) y palinológicos (Absy *et al.*, 1991) realizados en dos testigos lacustres, permitieron evidenciar la existencia de varias circunstancias desecamiento-llenado de agua de los lagos y regresión-transgresión del bosque alrededor de la planicie durante los últimos 60 000 años. Desde el punto de vista palinológico, los períodos de llenado de agua que suceden a largos períodos de desecamiento se caracterizan por un bajo porcentaje de pólenes arbóreos, lo que indica la existencia de una vegetación abierta alrededor de la planicie; en cambio, los períodos de niveles lacustres altos y permanentes se caracterizan por fuertes porcentajes de pólenes arbóreos, lo que indica la existencia de una vegetación forestal alrededor de la planicie. Desde el punto de vista sedimentológico, los períodos de desecamiento se caracterizan por lagunas de sedimentación, los períodos de llenado de agua siguientes por una sedimentación fuertemente detrítica y los períodos de altos niveles lacustres permanentes por una sedimentación esencialmente orgánica. En este trabajo, únicamente los datos sedimentológicos y palinológicos correspondientes a los últimos 8 000 años fueron tomados en consideración.

El porcentaje de los pólenes arbóreos, que estaba máximo en los espectros polínicos al comienzo del Holoceno, disminuye fuertemente a partir de los 8 000 años BP hasta los alrededores de 6 500 años BP (Absy *et al.*, 1991). Paralelamente, abundantes microcarbonos de madera y numeras espículas de espongiarios aparecen en los sedimentos. La presencia de estos microcarbonos prueba la existencia de incendios repetidos cuyo carácter regional es confirmado por el descubrimiento de carbonos fechados de la misma época en los suelos de bosque en superficies muy grandes (Soubiès, 1980; Saldarriaga & West, 1986). Es evidente que estos incendios, cual sea el origen de su desencadenamiento (espontáneo o antrópico), no pudieron producirse sino en condiciones de stress hídrico del bosque, en relación con períodos secos. El hecho que las esponjas sean esencialmente del género *Corvomeyenia* en la fase juvenil indica que los planos de agua eran poco profundos y efímeros. El clima se caracterizaba entonces por una fuerte sequía o un aumento de la duración de la estación seca. Desde el punto de vista palinológico, el período comprendido entre 6 500 y 4 000 años BP se caracteriza por la existencia de un porcentaje anormalmente elevado (40%) de pólenes de *Piper* (arbusto pionero) (Absy *et al.*, 1991). El mantenimiento de una vegetación de tipo pionero durante más de 2 000 años sólo puede explicarse por la existencia de incidentes sucesivos que impiden la instalación definitiva del bosque. Paralelamente, la abundancia de microcarbonos y de espículas de esponjas muestra que estos incidentes eran incendios que se producían en épocas de bajos niveles lacustres y por lo tanto condiciones climáticas secas. La alternación carbonos/espículas y la permanencia de pólenes de *Piper* indican que estos períodos secos eran frecuentes y de corta duración. Por lo tanto se puede pensar que el período 6 500-4 000 años BP se caracterizó por condiciones globalmente húmedas frecuentemente interrumpidas por cortos períodos secos. Después de los 4 000 años BP, el fuerte porcentaje de pólenes arbóreos y la ausencia de los micro-carbonos en los sedimentos lacustres prueban la instalación definitiva del bosque alrededor de la planicie y de la interrupción de los incendios. No obstante, entre los 2 700 y 1 500 años BP, se observa la reaparición esporádica de los microcarbonos y de las espículas de esponjas. En un estudio preciso se evidenció la presencia de algunos lechos de microcarbonos y de espículas de 1 a 2 mm de espesor sumergidos dentro de una materia orgánica bien preservada. Todo indica que durante algunos períodos de varias decenas de años las circunstancias de las épocas secas anormalmente largas fueron muy parecidas.

3. CORTOS PERÍODOS DE BLOQUEO DE LAS ADVECCIONES POLARES EN EL BRASIL CENTRAL

La evolución de la cobertura vegetal de dos sitios, localizados al norte de la zona de bloqueo de las advecciones polares (Salitre) y la otra en la propia zona de bloqueo (Boa Vista) (Fig. 3), ofrece una buena base de comparación.

El sitio de Salitre (19°00' S y 46°46' W) está localizado a 1 050 m de altura en una región de transición entre el bosque mesófilo y el "cerrado" (sabana arbórea) (Ledru, 1993; Sondag *et al.*, 1993). La repartición de las precipitaciones, del orden de 1 600 a 2 000 mm año⁻¹, está controlada por los desplazamientos estacionales de la ZCIT. Sin embargo, las lluvias frontales de invierno, en relación con la penetración por el valle del Paraná de masas de aire polar, ocasiona una disminución de la amplitud de la estación seca (Fig. 3a). No obstante, el bloqueo de las advecciones polares durante fuertes eventos El Niño, eliminando las lluvias de invierno, ocasionan un aumento de la duración de la estación seca (Fig. 3b). Estudios palinológicos y sedimentológicos que se refieren a la parte superior de un testigo de 6 m de longitud, permitieron reconstruir la evolución de la vegetación y de las precipitaciones y sobre todo de la amplitud de la época seca en la región (Ledru, 1993; Ledru *et al.*, 1994; en prensa; Bertaux *et al.*, en prensa). El período comprendido entre 8 000 y 6 500 años BP está marcado por un fuerte porcentaje de pólenes arbóreos y, sobre todo, por la ausencia de *Araucaria*. El reemplazo del bosque de *Araucaria* que existía antes de 8 000 años BP, en provecho de un bosque mesófilo semidecíduo indica el establecimiento de condiciones climáticas menos húmedas y menos frías que las que existían al comienzo del Holoceno. El período comprendido entre 6 500 y 4 000 años BP se caracteriza por una disminución progresiva de la frecuencia de los taxones arbóreos. El porcentaje de las Cyperaceae disminuye; los taxones de los medios húmedos y las Ericaceae desaparecen. Este conjunto polínico indica condiciones climáticas caracterizadas por una estación seca superior a menos

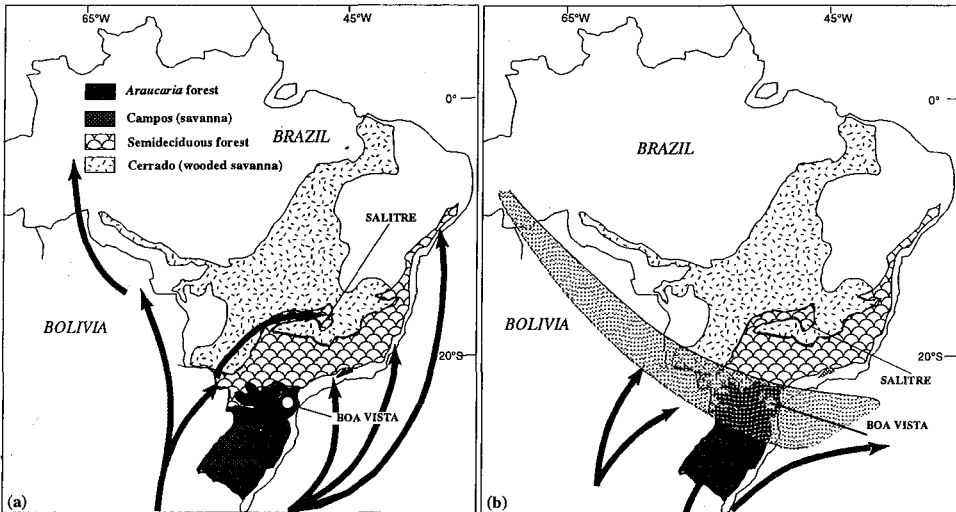


Fig. 3 - Localización de diferentes tipos de vegetación en Brasil central y trayectoria de las advecciones polares (a) en situación "normal" y (b) en situación "El Niño".

de 4 meses y temperaturas invernales superiores a 15 °C. Por otro lado, la existencia de estas condiciones climáticas secas es confirmada por la presencia de numerosos carbones de madera en los suelos de vertientes de la depresión (Vernet *et al.*, 1994). Después de 4 000 años BP, el porcentaje de los pólenes arbóreos aumenta y la asociación polínica corresponde a la del bosque mesófilo semidecídúo, caracterizado por una época seca de 2 a 3 meses y temperaturas invernales comprendidas entre 10° y 15 °C (Ledru, 1993). Si bien el registro no es completo después de 3 000 años BP, dos ligeras disminuciones del porcentaje de los pólenes arbóreos parecen indicar la existencia de al menos dos períodos más secos.

El sitio de Boa Vista (27° 42' S y 49°30' W, Fig. 3), corresponde a una turbera situada a 1 160 m de altura en un enclave de "Campos" en medio del bosque de *Araucaria* (Behling, 1993). Las precipitaciones anuales son del orden de 1 500-1 800 mm y las temperaturas medias invernales son inferiores a 10 °C. Estas condiciones climáticas, inusuales para una región tropical, son las consecuencias del rol esencial jugado por los ascensos de aire polar en el clima regional. Durante eventos importantes El Niño, esta región se sitúa en la zona de bloqueo de los frentes fríos (Fig. 3b) y en consecuencia las precipitaciones son en este lugar anormalmente abundantes. Un estudio palinológico efectuado en un testigo obtenido de una turbera (Behling, 1993) muestra que a partir de 7 000 años BP, el espectro polínico, hasta ahora dominado por las Poaceae, se vuelve característico del bosque en *Weinmannia*. El máximo de los taxones del bosque en *Weinmannia* se registra hasta cerca de los 5 000 años BP. Hacia los 3 500 años BP éstos comienzan a disminuir fuertemente y son reemplazados por los taxones del bosque de *Araucaria*.

4. CORTOS PERÍODOS SECOS EN EL NORTE DEL ALTIPLANO BOLIVIANO

El Altiplano es un vasto conjunto endorreico situado entre 3 650 y 3 900 m de altura en el corazón de los Andes (14°-22° S y 66°71° W) entre las Cordilleras Oriental y Occidental. Desde un punto de vista climático, el Altiplano se caracteriza por la existencia de un fuerte gradiente norte-sur, tanto en lo que concierne a las temperaturas como a las precipitaciones (Roche *et al.*, 1992). Este gradiente norte-sur está vinculado al desplazamiento de la ZCIT que, en su movimiento hacia el sur en veranos, alcanza los Andes de diciembre a marzo. En base a un registro diario de más de 80 años, parece que el nivel del lago Titicaca desciende en promedio 0,75 m por año durante la época seca y vuelve a subir a una altura equivalente durante la estación de las lluvias. Sin embargo, algunas variaciones interanuales mucho más importantes (3 a 4 m) fueron registradas (Künzel & Kessler, 1986; Roche *et al.*, 1992). Sobre la duración de este registro fue posible mostrar que las variaciones anormales eran piloteadas por el fenómeno ENSO (Francou & Pizarro, 1985).

En el lago Titicaca, el estudio de la ostracodofauna, gracias a una función de transferencia, permitió llegar a una reconstrucción batimétrica precisa (Fig. 4) para los últimos 7 000 años (Mourguiart *et al.*, 1992; Mourguiart & Carbonel, 1994). Alrededor de 8 000-7 000 años BP, el nivel del lago, que había descendido mucho después de 10 000 años BP, cesó de descender sin, no obstante, volver a subir. Esto muestra que el balance hídrico mejoró claramente. Por otro lado, la evidenciación, entre 7 000 y 4 000 años BP, de numerosas oscilaciones del nivel del lago (claramente superiores a las oscilaciones estacionales) indica que el descenso era frecuentemente interrumpido por períodos secos de corta duración. Hacia 3 900 años BP, se registró un ascenso rápido del nivel del lago. Es probable que este

ascenso sea la consecuencia de la desaparición de cortos períodos secos. Después de haber alcanzado un nivel ligeramente inferior al nivel actual, el lago Titicaca sufrió algunos breves e importantes períodos de descenso traduciendo la existencia de cortos episodios secos, uno de los cuales, claramente marcado, fue datado alrededor de 2 300 años BP.

5. COMPARACIONES DE TRES REGIONES Y NATURALEZA DE LAS PERTURBACIONES

Es posible evidenciar tres períodos principales, durante los cuales, estas tres regiones respondieron simultáneamente a una misma perturbación del sistema climático.

Período 7 000-4 000 años BP

- **Amazonía oriental:** existencia de períodos secos de corta duración repitiéndose frecuentemente.
- **Brasil Central:**
 - **Región de Salitre:** aumento de la duración de la época seca y por lo tanto ausencia de lluvias frontales de invierno;
 - **Región de Boa Vista:** disminución de la duración de la época seca y por lo tanto refuerzo de las lluvias frontales de invierno, sin que no obstante las temperaturas medias invernales sean inferiores a 10 °C;

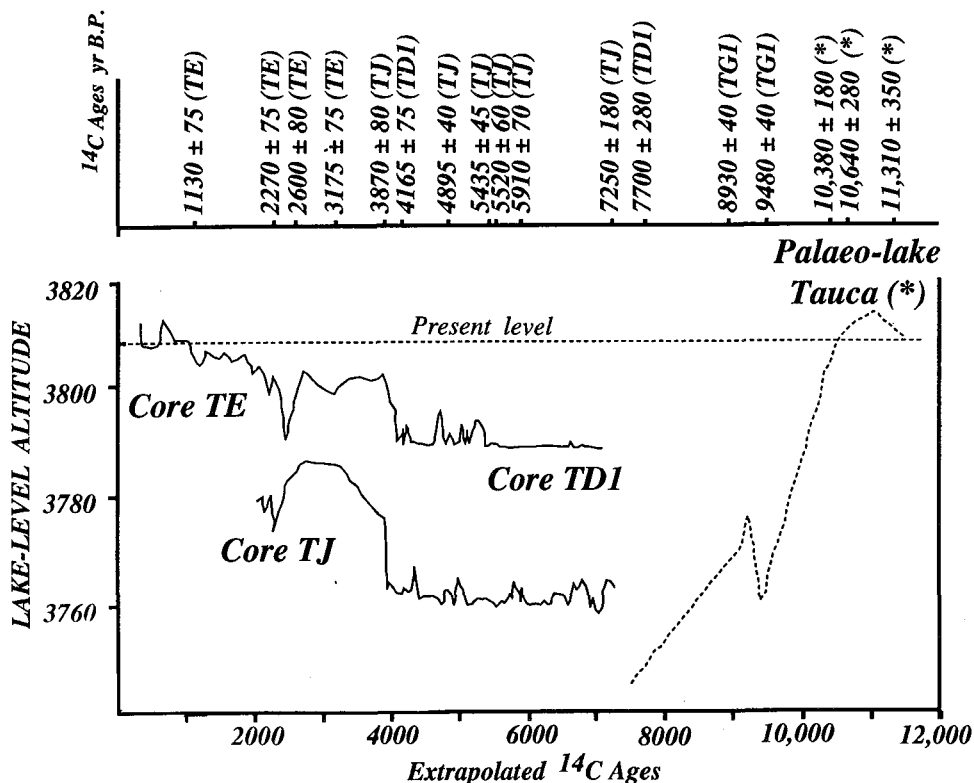


Fig. 4 - Fluctuaciones del lago Titicaca durante los últimos 12 000 años (según Martín et al., 1993).

-Región norte del Altiplano: neto mejoramiento del balance hídrico pero existencia de períodos deficitarios que se repiten frecuentemente.

Período alrededor de 4 000 años BP:

- Amazonía oriental: desaparición de cortos períodos secos.
- Brasil central:
 - Región de Salitre: disminución de la duración de la época seca y por lo tanto existencia de lluvias formales de invierno;
 - Región de Boa Vista: comienzo del establecimiento progresivo de las condiciones actuales;
- Región norte del Altiplano: desaparición de cortos períodos secos.

Período posterior a 3 500 años BP:

- Amazonia oriental: coyuntura de algunos cortos períodos secos.
- Brasil central:
 - Región de Salitre: evidencia de dos períodos cortos secos;
 - Región de Boa Vista: mantenimiento de las condiciones actuales;
 - Región norte del Altiplano: evidencia de algunos breves períodos secos.

Parece que durante los últimos 7 000 años las tres regiones consideradas sufrieron perturbaciones del régimen de las lluvias de algunas decenas de años, muy comparables a las que actualmente son provocadas por los fuertes eventos El Niño. Es importante observar que, dados los fuertes eventos El Niño que tienen duraciones de algunos meses y las perturbaciones registradas que tuvieron duraciones de varias decenas de años, no es posible relacionar estas últimas al paleo-El Niño *sensu stricto*. Es mucho más lógico referirse a condiciones de tipo El Niño. Éstas corresponden probablemente a períodos de varias decenas de años durante las cuales las circunstancias de los eventos El Niño eran más parecidas que durante los períodos "normales" o más simplemente a períodos durante los cuales la Oscilación Austral era negativa.

6. CONCLUSIONES

Actualmente, las anomalías de la temperatura de las aguas de superficie del Pacífico ecuatorial en relación con el fenómeno El Niño ejercen un poderoso control sobre el régimen de las precipitaciones de América del Sur tropical. Reconstrucciones muy diferentes (paleoincendios del bosque tropical húmedo, tipos de vegetación y niveles lacustres) efectuados en tres regiones diferentes mostraron que, durante los últimos 7 000 años, algunas perturbaciones del régimen de las lluvias, totalmente comparables a las registradas durante fuertes eventos El Niño, se produjeron repetidas veces. Estos datos concuerdan con la evidencia, en la parte central del litoral brasileño, de períodos de inversión del sentido del transporte litoral de varias decenas de años de duración (Martin & Suguio, 1992; Martin *et al.*, 1993) a continuación de un bloqueo de las advecciones polares como se produce durante importantes eventos El Niño. Estos períodos de inversión fueron frecuentes entre 5 000 y 4 000 años BP (antes de 5 000 años BP, no había registros), ausentes entre 4 000-3 600 y 2 800-2 500 años BP y poco frecuentes después de 2 800-2 500 años BP (Martin *et al.*, 1993).

Agradecimientos

Estas investigaciones fueron realizadas en Brasil dentro del marco del convenio ORSTOM/CNPq (Consejo Nacional de la Investigación) y en Bolivia dentro del convenio ORSTOM/UMSA (Universidad Mayor de San Andrés). Dichas investigaciones fueron llevadas a cabo gracias al apoyo de nuestras diferentes contrapartes.

Referencias citadas

- ABSY, M.L., CLEEF, A.L.M., FOURNIER, M., MARTIN, L., SERVANT, M., SIFEDDINE, A., SILVA, M. F.F., SOUBIES, F., SUGUIO, K., TURCQ, B. & HAMMEN Van Der, T., 1991 - Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le Sud-est de l'Amazonie au cours des 60 000 dernières années. Premières comparaisons avec d'autres régions tropicales. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, **312**, 2: 673-678.
- BEHLING, H., 1993 - Untersuchungen zur spätpeistozänen und holozänen Vegetations und Klimmageschichte der tropischen Küstenwälder und der Araukarienwälder. in: *Santa Catarina Sûdbrasilien Dissertationes Botanicae*, 149p; Band 206, Berlin, Stuttgart: J. Cramer.
- BERTAUX, J., LEDRU, M.-P., SONDAG, F. & SOUBIES, F., (in press) - Application of quantitative mineralogy to palaeoenvironmental reconstructions: the case studied of the "Lagoa Campestre" lake, Salitre, Minas Gerais, Brazil. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*.
- ENFIELD, B.E., 1989 - El Niño, past and present. *Review of Geophysics*, **27**: 159-187.
- FRANCOU, B. & PIZARRO, L., 1985 - EL Niño y la sequía en los Altos Andes Centrales (Perú y Bolivia). *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, **14**: 48-54.
- KOUSKY, V.E., KAGANO, M.T. & CAVALCANTI, I.F.A., 1984 - A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, **36A**: 490-504.
- KUNZEL, F. & KESSLER, A., 1986 - Investigation of level changes of Lake Titicaca by maximum entropy spectral analysis. *Archiv für Meteorologische Geographische Bioklimatologie*, **36**: 219-227.
- LEDRU, M.-P., 1993 - Late Quaternary environmental and climatic changes in Central Brazil. *Quaternary Research*, **39**: 90-98.
- LEDRU, M.-P., BEHLING, H., MARTIN, L. & SERVANT, M., 1994 - Localisation de la forêt d'Araucaria du Brésil au cours de l'Holocène. Implications paléoclimatiques. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, **317**, Sciences de la vie: 517-521.
- LEDRU, M.-P., SOARES-BRAGA, P.I., SOUBIES, F., FOURNIER, M., MARTIN, L., SUGUIO, K. & TURCQ, B., (in press) - The last 50 000 yr BP in the Neotropics (Southern Brazil): evolution of vegetation and climate. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*.
- MARTIN, L. & SUGUIO, K., 1992 - Variation of coastal dynamics during the last 7000 years recorded in beach-ridge plains associated with river mouths: example from the central Brazilian coast. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, **99**: 119-140.
- MARTIN, L., ABSY, M.L., FLEXOR, J.-M., FOURNIER, M., MOURGUIART, P., SIFEDDINE, A. & TURCQ, B., 1993 - Southern Oscillation Signal in South American Palaeoclimatic data of the last 7000 years. *Quaternary Research*, **39**: 338-346.
- MOURGUIART, P. & CARBONEL, P., 1994 - A quantitative method of paleolake-level reconstructions using ostracod assemblages: an example from the Altiplano. *Hydrobiologia*, **288**: 183-193.
- MOURGUIART, P., WIRRMANN, D., FOURNIER, M. & SERVANT, M., 1992 - Reconstruction quantitative des niveaux du petit lac Titicaca au cours de l'Holocène. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, **315**, 2: 875-880.
- PHILANDER, S.G.H., 1983 - El Niño Southern Oscillation Phenomena. *Nature*, **302**: 295-301.
- ROCHE, M.A., BOURGES, J., CORTES, J. & MATTOS, R., 1992 - Climatology and hydrology of the late Titicaca basin. in: *Lake Titicaca. A synthesis of Limnological Knowledge* (C. Dejoux & Á. Itlis, eds.): 63-88; Monographiae Biologicae, 68, Kluwer Academic Publishers.
- SALDARRIAGA, J.G. & WEST, D.C., 1986 - Holocene fires in the northern amazon basin *Quaternary Research*, **26**: 358-366.
- SCHWERDTFEGER, W., 1976 - The atmospheric circulation over Central and South America. in: *Climates of Central and South America* (W. Schwerdtfeger, ed.): 1-12, World survey of climatology 12, Elsevier Scientific Publishing Company.

- SIFEDDINE, A., FRÖHLICH, F., FOURNIER, M., MARTIN, L., SERVANT, M., SUGUIO, K. & TURCO, B., 1994a - La sédimentation lacustre indicateur de changement des paléoenvironnements au cours des 30 000 dernières années (Carajas, Amazonie, Brésil). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 318, 2: 1645-1652.
- SIFEDDINE, A., BERTRAND, P., FOURNIER, M., MARTIN, L., SERVANT, M., SUGUIO, K. & TURCO, B., 1994b - La Sédimentation organique lacustre en milieu tropical humide (Carajas, Amazonie orientale, Brésil): relation avec les changements climatiques des 60 000 dernières années. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 165, 6: 613-621.
- SONDAG, F., SOUBIES, F., LEDRU, M.-P. & DELAUNE, M., 1993 - Geochemical markers of paleo-environments: relations between climatic changes, vegetation and geochemistry of lake sediments, southern Brazil. *Applied Geochemistry*, Suppl. Issue, 2: 165-170.
- SOUBIES, F., 1980 - Existence d'une phase sèche en Amazonie brésilienne datée par la présence de charbons dans les sols (6000-3000 ans BP). *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, 11, 1: 133-148.
- VERNET, J.-L., WENGLER, L., SOLARI, M.-E., CECCANTINI, G., FOURNIER, M., LEDRU, M.-P. & SOUBIES, F., 1994 - Feux, climats et végétations au Brésil central durant l'Holocène: les données d'un profil de sol à charbons de bois (Salitre, Minas Gerais). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 319, 2: 1391-1397.
- WYRTKI, K., 1982 - The Southern Oscillation ocean-atmospher interaction and El Niño. *Marine Technological Society Journal*, 16: 3-10.