

Mises en évidence de situations de type El Niño en Amérique du sud au cours des 8 000 dernières années

Philippe MOURGUIART

IRD (Institut de recherche pour le développement)
32, avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex
et
Université de Pau et des pays de l'Adour
Campus « Côte basque », département d'Écologie
Parc Montaury, 64600 Anglet
philippe.mourguiart@univ-pau.fr

Mots clés : El Niño, Amérique du sud, anomalies climatiques, Holocène

Résumé

L'oscillation australe est certainement l'événement océano-atmosphérique le mieux connu car il affecte les climats d'une grande partie de la planète, et plus particulièrement ceux du Pacifique est. Les causes du fameux « El Niño » ne sont toutefois pas bien comprises, mais semblent aller de pair avec un affaiblissement des alizés. Ses conséquences sont en tout cas spectaculaires, et ce dans les deux hémisphères. Dans l'optique de prévoir les changements climatiques à venir, il est nécessaire de mieux cerner la variabilité d'El Niño dans le passé. Des données en provenance de trois régions distinctes d'Amérique du sud ont permis la reconstruction des paléoenvironnements et des régimes des précipitations au cours des 8 000 dernières années. Des inversions du sens du transport littoral caractérisent la côte brésilienne au débouché du Rio Doce. Les périodes durant lesquelles ces anomalies sont notées sont probablement à mettre en relation avec des conditions de type El Niño. En Amazonie du sud-est, dans la Serra dos Carajás, des analyses sédimentologiques et palynologiques révèlent l'existence de plusieurs périodes durant lesquelles se sont produits des incendies de forêt lors de brefs épisodes secs. Enfin, sur l'Altiplano bolivien, l'évolution des paléoniveaux du lac Titicaca montre également d'importantes variations dans le régime des précipitations. Toutes ces perturbations sont du même type que celles que l'on

Fonds Documentaire IRD



010025393

Fonds Documentaire IRD

Cote : Bx-25393 Ex : univ

observe de nos jours dans ces mêmes régions lors de forts El Niño. Il faut toutefois souligner qu'au cours des 8 000 dernières années, la fréquence, l'intensité et la durée des événements ont été éminemment variables.

Records of El Niño-like conditions in South America during the last 8,000 years

Keywords : El Niño, South America, climatic anomalies, Holocene

Abstract

The best known oceanographic event is the Southern Oscillation, which affects climate and currents over much of the world, but especially in the eastern Pacific, where it is known as El Niño. The causes of the El Niño phenomenon are not well understood, but seem to begin with the failure of the easterly trade winds. The impact of El Niño is dramatic on both northern and southern hemispheric circulations. In order to understand future climate changes, it is necessary to have an understanding of how, why, and to what degree the El Niño phenomenon has varied in the past. Sedimentary records from three geographically and climatically distinct South American regions (the Brazilian coast where the Rio Doce emerges, southeastern Amazonia and the Bolivian Altiplano) allow the reconstruction of paleoenvironments and rainfall regimes over the past 8,000 years. Periodic reversals in the direction of longshore transport characterize the coast of central Brazil and appear likely to be linked to El Niño-like conditions. In southeastern Amazonia, palynological and sedimentological analyses from cores collected in lakes at Serra dos Carajás reveal the existence of several periods during which tropical rainforest fires were related to a succession of short dry episodes. Finally, on the northern Bolivian Altiplano, paleobathymetric reconstructions for Lake Titicaca also indicate considerable variations in the pattern of precipitation. Such disturbances are similar to those related to strong El Niño events. However, during the last 8,000 years, the perturbations in rainfall pattern lasted for long periods and are therefore related to the occurrence of episodes during which El Niño-like conditions prevailed. The timing of these episodes show that the frequency of rainfall perturbations has varied greatly over the last 8,000 years.

1. Introduction

Le phénomène ENSO (El Niño Southern Oscillation) constitue actuellement la cause principale de variabilité climatique dans la tranche de temps comprise entre 2 et 8 ans. Il consiste en une phase chaude, « El Niño », et une phase froide, « La Niña ». Ses conséquences sont perceptibles aussi bien en zone tropicale que dans les régions extra-tropicales.

Les derniers modèles de prédiction du climat suggèrent que la fréquence des événements El Niño pourrait varier en fonction de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre. Il est donc nécessaire de comprendre la variabilité naturelle des El Niño dans l'optique de prédire les changements climatiques à venir, en termes de variabilités naturelle et anthropique. Les données instrumentales dont nous disposons remontent seulement, selon les régions, à la fin du XIX^e ou au début du XX^e siècle (DIAZ & MARKGRAF, 1992). Il est par conséquent indispensable d'acquérir des données par diverses approches analytiques afin de reconstruire l'historique de l'El Niño sur de longues périodes temporelles, de l'ordre de plusieurs milliers d'années.

Dans un premier temps, des séries d'analyses isotopiques effectuées sur les coraux des îles Galapagos ont permis de mettre en évidence des variations significatives à l'échelle décennale au cours des 500 dernières années. Des études complémentaires sont actuellement en cours sur les coraux du Pacifique central et ouest (COLE *et al.*, 1992). Ces données essentielles présentent toutefois un inconvénient majeur : elles ne renseignent l'observateur que sur des fenêtres temporelles de l'ordre de quelques siècles. Cet article présente une méthode originale, fondée sur le croisement de données de diverses sources (méthodes et lieux géographiques). El Niño y apparaît comme un phénomène extrêmement variable à l'échelle de l'Holocène.

2. Le phénomène El Niño

Parmi les événements qui perturbent la circulation océanique, le plus connu est sans nul doute l'oscillation australe (Southern Oscillation pour les Anglo-Saxons). Elle agit à la fois sur le climat et les courants marins sur une bonne partie de la planète, mais plus particulièrement dans la région du Pacifique est. Les causes du phénomène El Niño ne sont pour l'instant pas bien comprises, mais semblent aller de concert avec un ralentissement des alizés. Les vents d'est qui, en temps normal, soufflent régulièrement, entraînent les eaux de surface du Pacifique vers l'ouest, ce qui provoque un bombement de l'océan sur la façade australo-asiatique. Sur le bord opposé, au large des côtes du Pérou, les eaux chaudes caractéristiques en temps normal des mers tropicales sont remplacées par des eaux froides (upwelling), qui favorisent le développement de la vie marine. En revanche, lorsque les alizés s'affaiblissent, les eaux chaudes se déplacent vers l'est le long de l'équateur. Au droit des côtes équatoriales sud-américaines, lors des événements El Niño, les eaux chaudes s'installent pendant une période de plusieurs semaines voire plusieurs mois. Le réchauffement des eaux de surface du Pacifique est varié de 4 à 10 °C. Parallèlement, les eaux

chaudes s'étendent considérablement vers le nord et le sud, atteignant les zones tempérées et causant des changements drastiques dans la dynamique des climats des Amériques du nord et du sud. Il se produit notamment d'importantes précipitations sur les régions adjacentes, par exemple l'Équateur et le nord du Pérou.

Ainsi, par le biais de téléconnexions, les années El Niño correspondent également à de profondes perturbations de la circulation atmosphérique dans les deux hémisphères. Par exemple, on enregistre des hivers chauds en Europe de l'ouest et en Sibérie, des sécheresses en Asie de l'est et en Australie, de fortes précipitations estivales sur le centre de la Chine, des inondations du nord du Pérou à la Californie et des sécheresses en Amazonie centrale et orientale.

Dans cet article, nous nous proposons d'essayer de reconstruire l'historique d'El Niño à l'aide de trois enregistrements effectués en zones sensibles : la côte du Brésil central, l'Amazonie centrale et l'Altiplano bolivien (figure 1).

3. Les enregistrements du passé

3.1. La plaine littorale du Rio Doce (Brésil central)

Sur les côtes sableuses en progradation, la géométrie des cordons littoraux permet de reconstituer le sens du transport littoral et de connaître ainsi le régime des houles et des vents. La plaine du Rio Doce, située sur le littoral du Brésil central, est un exemple remarquable de côte en progradation. La direction des houles efficaces est normalement sud-nord. Lors de l'automne et de l'hiver austral de 1983, année d'un important phénomène El Niño, on a pu observer une perturbation du sens du transport littoral, et donc du régime des houles et des vents, sur une plage de Salvador (13°S), à la suite du blocage des fronts froids dans le sud du Brésil. Les houles du sud n'atteignaient plus, par conséquent, le site d'étude. Des analyses de photos aériennes couplées à des études de terrain ont montré l'existence, sur la plaine littorale, d'une succession de dépôts et de phases érosives. Environ un millier de datations au ^{14}C ont permis de préciser la chronologie des événements. Ainsi, des périodes d'inversions du sens du transport littoral ont pu être mises en évidence au cours des 5 100 dernières années (MARTIN *et al.*, 1992). L'information obtenue peut être synthétisée de la façon suivante :

- avant $5\,100 \pm 120$ ans BP, 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 BP, le transport littoral, qui normalement se fait du sud vers le nord, s'est inversé à sept reprises ;

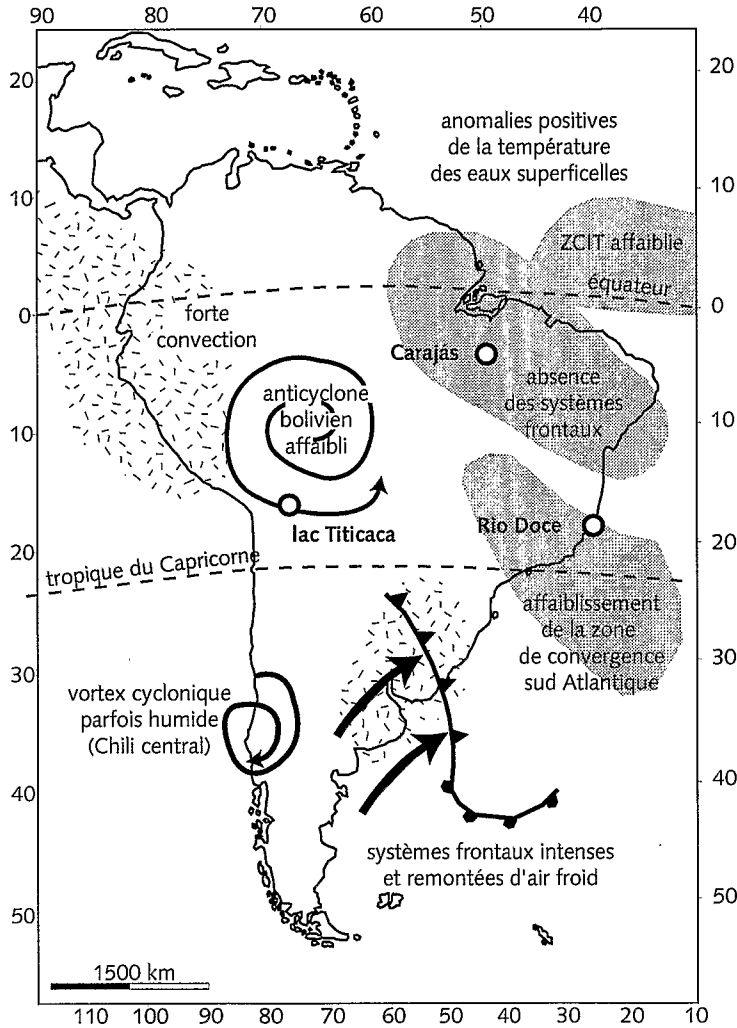


Figure 1 — Anomalies climatiques détectées en Amérique du sud pendant la période juin 1991 – novembre 1993 (d'après les données de l'Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brésil). Les aires mouchetées représentent les zones où se sont produites des précipitations excédentaires, les aires grisées celles qui correspondent, au contraire à des déficits hydriques.

- entre 3900 ± 130 et 3600 ± 120 ans BP, à la suite d'une remontée du niveau de la mer, il ne s'est pas formé de cordons ;
- entre 3600 ± 120 et 2800 ± 100 ans BP, le transport littoral s'est fait en permanence du sud vers le nord ;

— entre $2\ 800 \pm 100$ et $2\ 500 \pm 120$ ans BP, il ne s'est pas formé de cordons en raison d'une nouvelle remontée du niveau marin ;

— entre $2\ 500 \pm 120$ et 0 ans BP, le transport s'est fait du nord vers le sud à trois reprises, vers $2\ 200 \pm 150$, $1\ 300 \pm 150$ ans BP et à une époque plus récente non datée.

Sur cette partie du littoral brésilien, il a donc pu se produire au cours de l'Holocène le même type de blocage que celui que l'on observe de nos jours durant un El Niño, mais pendant de longues périodes (au vu de l'importance des dépôts correspondants), non plus de quelques mois, mais de durées allant de la dizaine à la centaine d'années. Il est donc tentant de relier ces longues périodes de blocage à des situations de type El Niño de longue durée. 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.

3.2. Les lacs de la Serra dos Carajás (Amazonie brésilienne)

Les petits lacs de la région de la Serra dos Carajás ($6^{\circ}20'$ S et $50^{\circ}25'$ W) sont situés dans le couloir sec caractérisant l'Amazonie orientale. Lors des très forts El Niño, on observe un allongement et un renforcement de la saison sèche, dans ce cas centrée sur la période mai-septembre. Des feux de forêt peuvent alors se produire.

Des études palynologiques et sédimentologiques (ABSY *et al.*, 1991 ; SIFED-DINE *et al.*, 1994) ont été effectuées sur une carotte prélevée dans un lac de la région situé sur un étroit plateau cuirassé émergeant de la forêt dense. Les spectres polliniques montrent quatre périodes d'ouverture de la forêt au cours des 60 000 dernières années, marquées par une importante diminution du pourcentage des grains de pollen d'arbres (figure 2). Cependant, la période la plus récente, entre 7 000 et 4 000 ans BP, se différencie des trois autres par une quasi absence de taxons de savane et par des flux détritiques très faibles (figure 2). Par ailleurs, entre 6 000 et 4 000 ans BP, on constate la prédominance d'un élément pionnier, *Piper* sp., qui représente jusqu'à 40 % du total alors que, pendant les phases sèches pléistocènes, le poids de ce taxon n'excède pas quelques pour-cent. 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 microcharbon de bois suggère l'existence d'une succession d'incendies qui n'ont pu se produire que lors de périodes sèches (TURCQ *et al.*, 1998). On peut donc penser que le facteur limitant a été l'apparition de multiples petites phases sèches dans un contexte global humide. Après

4 000 ans BP, le pourcentage des grains de pollen de *Piper* diminue fortement au profit de celui des autres espèces d'arbres.

3.3. Le lac Titicaca

L'Altiplano est un vaste ensemble endoréique situé entre 3 650 et 3 900 mètres d'altitude au cœur des Andes (14°–22° S et 66°–71° W) entre les Cordillères orientale et occidentale qui, quant à elles, culminent à plus de 6 000 mètres d'altitude. D'un point de vue climatique, l'Altiplano est caractérisé par l'existence d'un fort gradient nord-sud : les précipitations annuelles passent de plus de 800 millimètres au nord à moins de 200 millimètres au sud (ROCHE *et al.*, 1992). Ce gradient nord-sud est lié au déplacement de la zone de convergence intertropicale qui, dans son mouvement vers le sud en été, atteint les Andes de décembre à mars. Le nord de la région est en particulier occupé par le lac Titicaca, qui est lui-même subdivisé en deux entités, les lacs Chucuito et Huiñaimarca.

Le lac Titicaca est un bon enregistreur du climat régional. En effet, sur la base d'un enregistrement journalier de plus de 80 ans, il apparaît que le niveau du lac Titicaca s'abaisse en moyenne de 75 centimètres par an pendant la saison sèche et remonte d'une hauteur équivalente pendant la saison des pluies (figure 3). Cependant, des variations interannuelles beaucoup plus importantes (de 3 à 4 mètres) ont été enregistrées (KUNZEL & KESSLER, 1986 ; ROCHE *et al.*, 1992). Sur la durée de cet enregistrement, il a été possible de montrer que les variations anormales étaient majoritairement pilotées par le phénomène ENSO (FRANCOU *et al.*, 1985). Ainsi, les deux baisses très importantes qui caractérisent la série dont nous disposons correspondent aux deux plus longues périodes de basses valeurs (phase chaude) de l'indice de l'oscillation australe connues depuis l'année 1914. Ces périodes sont 1939-1942 et 1991-1993 (figure 3).

Les fluctuations passées du lac Titicaca ont pu être reconstituées grâce à l'utilisation d'une fonction de transfert fondée sur l'écologie (la répartition bathymétrique en particulier) des faunes d'ostracodes (MOURGUIART *et al.*, 1992 ; MOURGUIART & CARBONEL, 1994 ; MOURGUIART *et al.*, 1998). Entre 10 500 ou 10 000 ans BP et 8 000 ans BP, le niveau du lac Titicaca s'abaisse au point que la plus grande partie du lac Huiñaimarca s'en trouve asséchée et que le niveau du lac Chucuito descend d'au moins 60 mètres en dessous de sa cote actuelle (WIRRMANN & MOURGUIART, 1995). Les deux grands bassins ne seront plus en communication et leur évolution sera distincte (quoique sensiblement parallèle) durant la majeure partie de l'Holocène (figure 4). Un événement important se produit autour de 8 000 – 7 000 ans BP : les niveaux des lacs (Chucuito et Huiñaimarca) cessent de descendre sans toutefois remonter

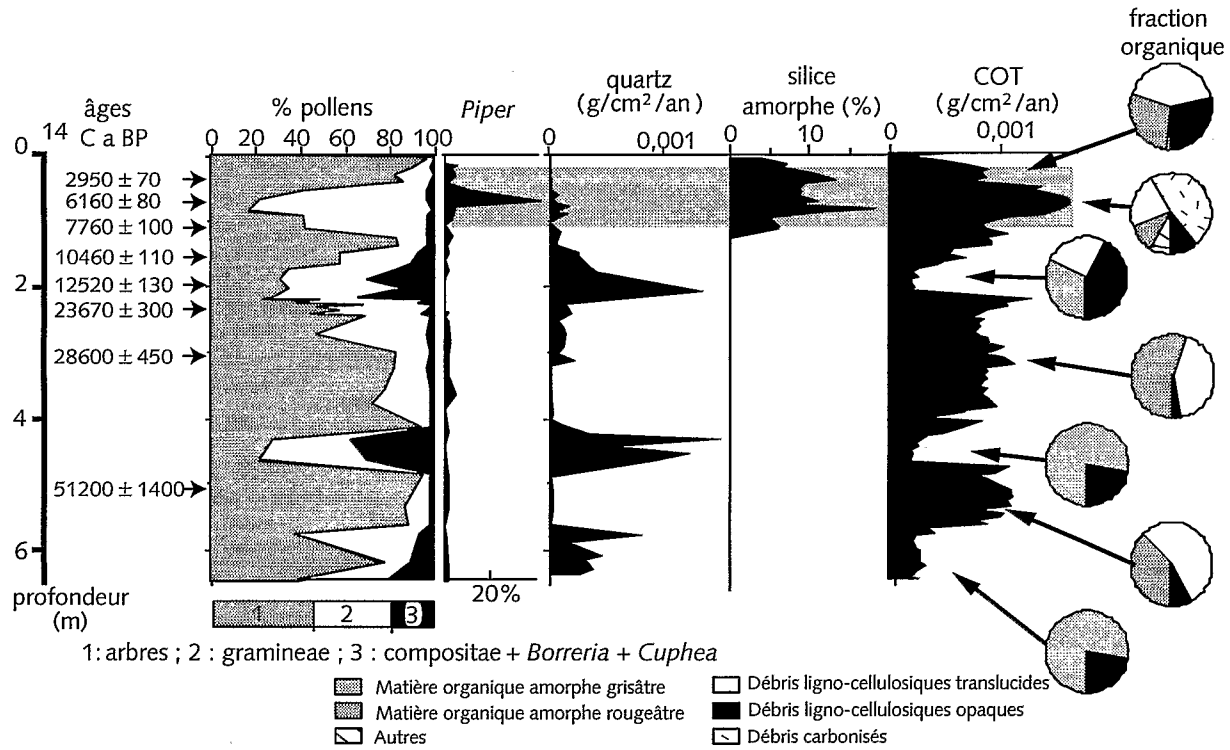


Figure 2 — Données palynologiques et sédimentologiques de la carotte CSS2 en provenance d'un petit lac de la Serra dos Carajás. La dernière période d'ouverture de la forêt, tout à fait remarquable à tous les niveaux, a été mise en évidence.

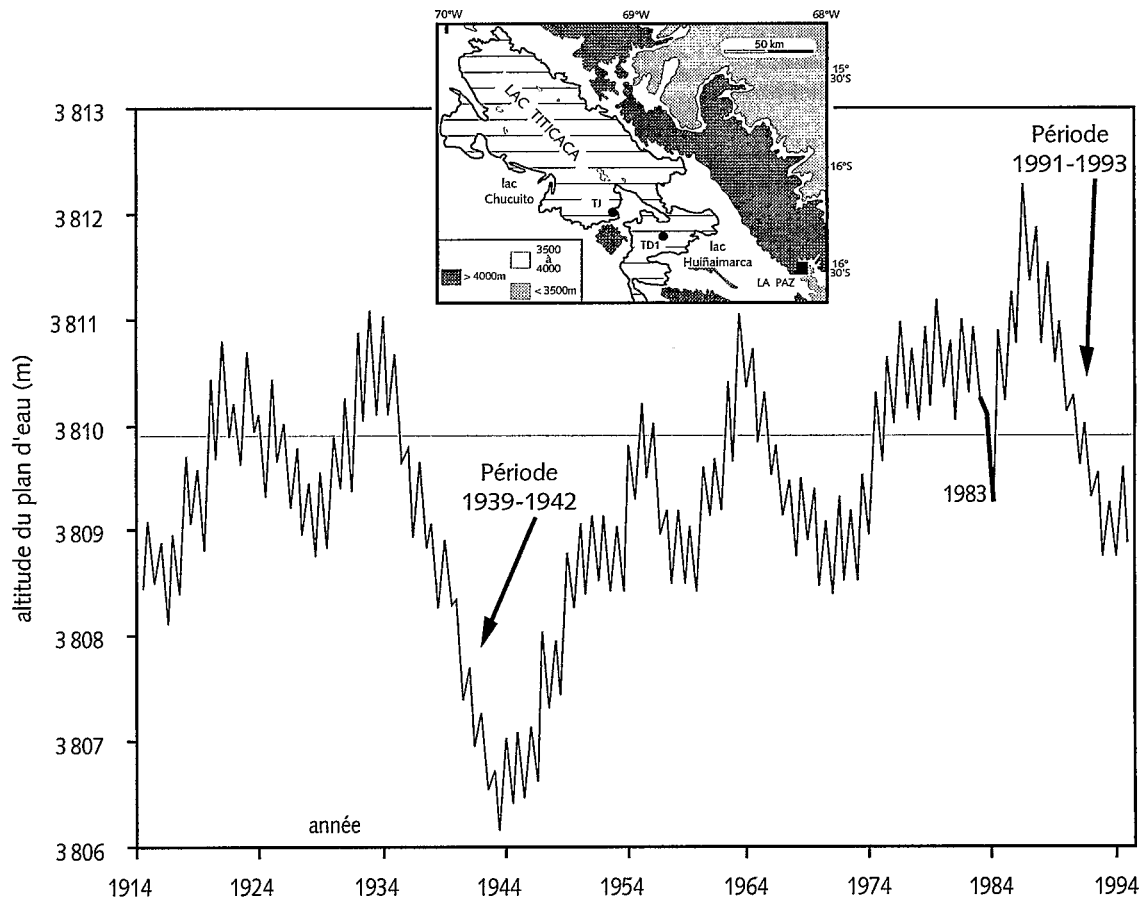


Figure 3 — Variations des niveaux du lac Titicaca enregistrées à la station limnigraphique de Puno (Pérou) sur la période 1914-1994. Il est à signaler que 1983, l'année du plus fort El Niño de la série, correspond également à la plus forte baisse annuelle. La position des deux carottes prélevées dans le lac Titicaca est précisée dans la fenêtre.

régulièrement. Cela montre que le bilan hydrique s'est nettement amélioré. Par ailleurs, la mise en évidence, entre 7 000 et 4 000 ans BP, de nombreuses oscillations des niveaux lacustres (nettement plus importantes que les oscillations saisonnières) indique que la remontée est fréquemment interrompue par des périodes sèches de courte durée. Vers 3 900 ans BP, on constate une remontée rapide et importante des niveaux des deux lacs. Il est vraisemblable que cette remontée est la conséquence de la disparition de ces courtes périodes sèches. Entre *ca* 3 900 et *ca* 2 600 – 2 500 ans BP, les lacs Chucuito et Huiñaimarca se maintiennent à des niveaux relativement hauts, quoique nettement inférieurs à l'actuel (figure 4). Ensuite, le lac Huiñaimarca (l'enregistrement s'interrompt très vite dans le lac Chucuito) connaîtra quelques importantes périodes d'abaissement traduisant l'existence d'épisodes secs dont un, très bien marqué, a été daté autour de 2 300 ans BP (MOURGUIART *et al.*, 1992).

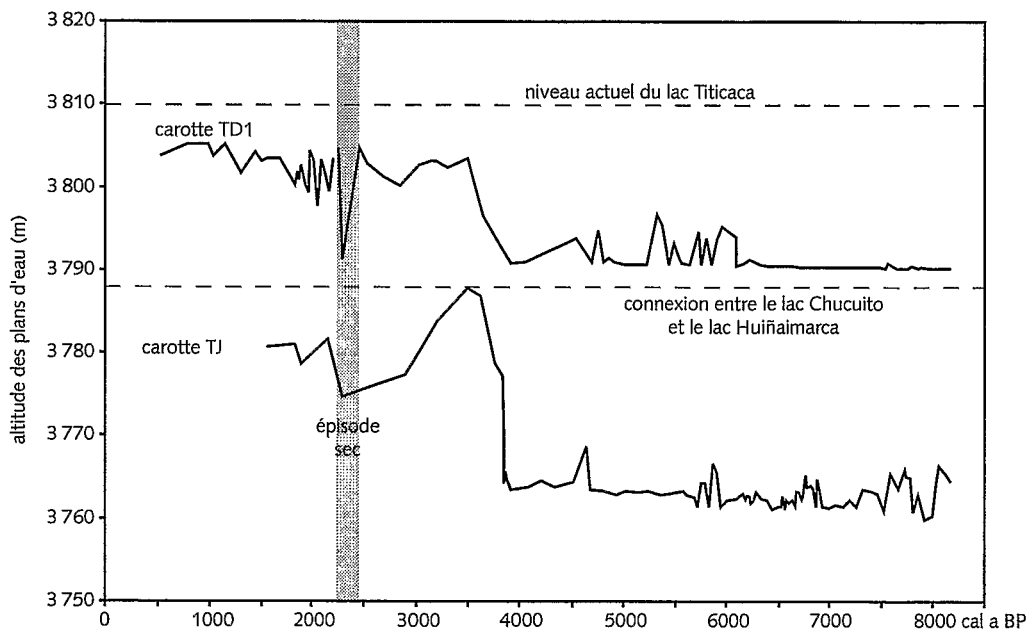


Figure 4 — Évolution bathymétrique des lacs Huiñaimarca (carotte TD1) et Chucuito (carotte TJ) depuis 8 000 ^{14}C ans BP.

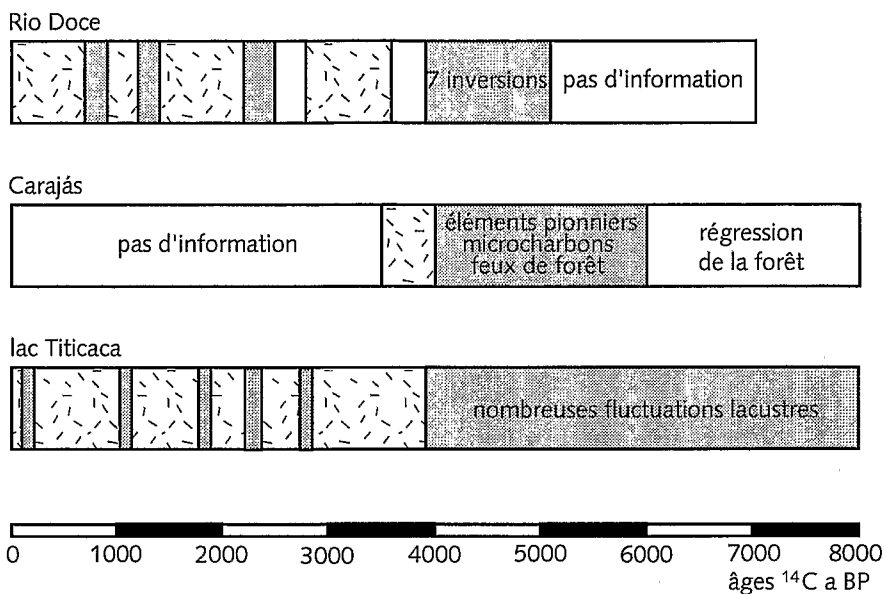


Figure 5 — Comparaison des données principales en provenance des 3 sites dont il est fait mention dans le texte (adapté de MARTIN *et al.*, 1992). En grisé : périodes durant lesquelles sont enregistrées le même type de perturbations que celles que l'on observe de nos jours lors de forts événements El Niño ; En moucheté : conditions « normales » ; en blanc : lacunes d'information.

4. Discussion

De la comparaison de ces différents sites est née la notion de situations de type El Niño (MARTIN *et al.*, 1992, 1993, 1995).

En effet, au cours de l'Holocène se succèdent des périodes durant lesquelles des perturbations du même type (mais de plus grande ampleur) que celles que l'on a pu observer lors du fort El Niño de 1983 sont enregistrées dans les trois régions étudiées (figure 5). Il est possible de résumer l'information obtenue de la façon suivante : la fréquence des événements a été très variable au cours des 8 000 dernières années, à savoir rapprochée avant 3 900–3 600 ¹⁴C ans BP, nulle entre 3 900–3 600 et 2 800–2 500 ¹⁴C ans BP et espacée après 2 800–2 500 ¹⁴C ans BP. Il faut cependant rappeler qu'entre 8 000 et 5 100 ¹⁴C ans BP, seuls les sites de Carajás et du lac Titicaca ont enregistré ce laps de temps (figure 5). Tous deux suggèrent une fréquence élevée de brefs épisodes secs. Il convient dès lors de déterminer si, dans cette zone, seul le phénomène El Niño peut être à l'origine d'une diminution des précipitations liées au déplacement saisonnier de la zone de convergence intertropicale. Afin de lever tout ou partie

de ces ambiguïtés, il est possible de regarder dans d'autres régions sensibles à l'El Niño, comment s'est faite l'évolution au cours du temps. En effet, si le scénario proposé est exact, d'autres sites sud-américains ont dû enregistrer le même type de perturbations que celles que l'on note de nos jours à l'occasion de forts événements El Niño. En réalité, très peu de sites ayant enregistré les 8 000 dernières années sont suffisamment bien documentés¹ pour discuter de ce problème. En Amazonie, de nombreuses études géologiques, palynologiques et archéologiques ont également mis en évidence l'existence de phases sèches datées autour de 2 200, 1 500, 1 300, 1 100, 750-700 et 500-400 ¹⁴C ans BP (SOUBIÈS, 1980; SANFORD *et al.*, 1985; SALDARRIAGA & WEST, 1986; MEGGERS, 1994a; MEGGERS, 1994b; PIPERNO & BECKER, 1996). Il en va de même en Guyane, où ont été mis en évidence d'importants changements dans la sédimentation marine (PUJOS *et al.*, 1995).

Les carottes de glace continentale, qui constituent une donnée très intéressante pour reconstruire les paléoprécipitations au niveau d'un bassin, ont enregistré l'existence de périodes sèches prolongées à Quelccaya dans les Andes centrales du Pérou entre 540-610, 650-730, 1 040-1 090 et 1 720-1 860 AD² (THOMPSON *et al.*, 1985) et à Huascarán, au nord du Pérou, vers 2 200 ¹⁴C ans BP (THOMPSON *et al.*, 1995). Récemment, il a même été suggéré que la disparition des grandes civilisations Maya (Amérique centrale) et Tiwanakota (hauts plateaux du Pérou et de la Bolivie) puisse être due à une longue sécheresse datée entre environ 1 300 et 1 100 ¹⁴C ans BP (HODELL *et al.*, 1995; ORTLOFF & KOLATA, 1993; ABBOTT *et al.*, 1997; BINFORD *et al.*, 1997). Au Costa-Rica, deux phases d'aridité ont aussi été repérées et datées, autour de 2 200 ¹⁴C ans BP pour la première, et 1 100 ¹⁴C ans BP pour la seconde (HORN & SANFORD, 1992; HORN, 1993).

De plus, nombre d'auteurs se sont intéressés directement à l'émergence du phénomène El Niño. Si l'on en croit un article récent (KEEFER *et al.*, 1998), le phénomène El Niño serait repéré dans l'Holocène ancien et moyen et même à la fin du Pléistocène, un des événements étant antérieur à ~12 700-12 500 ¹⁴C ans BP. Pour leur démonstration, les auteurs s'appuient sur des évidences géomorphologiques : des coulées boueuses se sont produites dans le passé dans le sud du Pérou. Actuellement, dans cette région particulièrement aride, les rares précipitations ont lieu seulement lors de certaines années El Niño. Les auteurs postulent donc qu'à cet endroit, les pluies lui sont forcément associées. Au contraire, RODBELL *et al.* (1999) suggèrent que le

1. Il y a dans la littérature des sites mal datés, d'autres dont les indicateurs paléoenvironnementaux ne sont pas toujours parlants. Les sites documentés réunissent ces deux conditions.

2. AD = Anno Domini (après Jésus-Christ).

phénomène *El Niño* ne se serait établi que progressivement à partir de 6 200 ^{14}C ans BP, pour n'atteindre sa périodicité actuelle de 2 à 8,5 ans qu'à partir de 4 500 ^{14}C ans BP environ. Ces derniers auteurs appuyent leur démonstration sur l'évolution de la fréquence de coulées boueuses enregistrées depuis environ 15 000 ans dans un lac des Andes équatoriennes, qui se produiraient seulement en années *El Niño*. On voit bien au travers de ces deux derniers exemples très récents que le sujet reste très controversé, la plus grande incertitude demeurant quant à la date d'apparition du phénomène. Un moyen détourné de lever cette ambiguïté serait d'avoir une idée concernant le moteur ou le « détonateur » d'*El Niño*. Mais là encore, les choses ne sont pas simples, les hypothèses existantes étant peu étayées. Par exemple, HANDLER (1989) et HANDLER & ANDSAGER (1990) ont suggéré que les importantes éruptions volcaniques se produisant aux basses latitudes pourraient être à l'origine des événements *El Niño*. En effet, la diminution de l'insolation faisant suite à l'éruption entraînerait un rafraîchissement conséquent du continent asiatique. Par conséquent, l'installation d'une zone de hautes pressions sur le continent (en Chine) entraînerait un affaiblissement des alizés de nord-est sur le Pacifique équatorial. Cependant, plusieurs éruptions ayant eu lieu bien après l'épanouissement d'un *El Niño*, nombre d'auteurs ne considèrent pas l'activité volcanique comme un facteur causal (par exemple : NICHOLLS, 1990).

Plus récemment, LEROUX (1996) a proposé le scénario suivant : le développement de l'*El Niño* résulterait du glissement vers le sud de l'équateur météorologique, provoqué par un renforcement de la dynamique boréale (refroidissement marqué de l'Arctique durant les mois d'hiver). Pour étayer son hypothèse, ce dernier auteur s'appuie, entre autres, sur les données de température de la Chine et de l'Amérique du nord, anormalement basse en année *El Niño*.

D'autres hypothèses ont été avancées ces dernières années afin de démystifier l'*El Niño*. Il faut bien reconnaître que pour l'instant aucune d'elles ne semble faire l'unanimité.

5. Conclusion

Le phénomène *El Niño* représente actuellement la première cause de variabilité climatique dans la gamme 2–8 ans. Ses conséquences sur les biotopes et biocénoses non seulement océaniques mais aussi continentales, sont bien souvent catastrophiques. Des études portant sur trois écosystèmes littoraux et continentaux d'Amérique du sud (Rio Doce, Carajás et lac Titicaca) suggèrent qu'*El Niño* serait apparu au cours de l'Holocène moyen, mais avec des amplitudes (durées ? fréquences ? intensités ?) sans commune mesure avec les plus

forts El Niño historiques. Pour l'instant, les données bibliographiques ne permettent pas de lever les nombreuses incertitudes relatives à l'ancienneté ou au facteur causal du phénomène en particulier. De nombreuses études sont donc encore nécessaires voire indispensables si l'on souhaite mieux comprendre et donc prévoir ce phénomène.

Références bibliographiques

- ABBOTT M.B., BINFORD M.W., BRENNER M. & KELTS K.R., 1997. — « A 3500 ¹⁴C yr high-resolution record of water-level changes in Lake Titicaca, Bolivia/Peru. », *Quat. Res.*, n° 47, p. 169-180.
- ABSY M.L., CLEEF A., FOURNIER M., MARTIN L., SERVANT M., SIFEDDINE A., FERREIRA DA SILVA M., SOUBIÈS F., SUGUIO K., TURCQ B. & VAN DER HAMMEN T., 1991. — « Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt amazonienne dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60 000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales », *C. R. Acad. Sci.*, n° 312, p. 673-678.
- BINFORD M.W., KOLATA A.L., BRENNER M., JANUSEK J.W., SEDDON M.T., ABBOTT M. & CURTIS J.H., 1997. — « Climate variation and the rise and fall of an Andean civilization », *Quat. Res.*, n° 47, p. 235-248.
- COLE J.E., SHEN G.T., FAIRBANKS R.G. & MOORE M., 1992. — « Coral monitors of El Niño/Southern Oscillation dynamics across the equatorial Pacific », *In : El Niño : Historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation*, Diaz H.F. & Markgraf V. (eds.), p. 349-375, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- DIAZ H.F. & MARKGRAF V., 1992. — *El Niño : Historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 476 p.
- FRANCOU B. & PIZARRO L., 1985. — « El Niño y la sequía en los Altos Andes Centrales (Perú y Bolivia) », *Bull. Inst. fr. études andines*, n° 14, p. 48-54.
- HANDLER P., 1989. — « The effect of volcanic aerosols on global climate », *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, n° 37, p. 233-249.
- HANDLER P. & ANDSAGER K., 1990. — « Volcanic aerosols, El Niño and the Southern Oscillation », *Int. J. Climatol.*, n° 10, p. 413-424.
- HODELL D.A., CURTIS J.H. & BRENNER M., 1995. — « Possible role of climate in the collapse of classic Maya civilization », *Nature*, n° 375, p. 391-394.
- HORN S.P. 1993. — « Postglacial vegetation and fire history in the Chirripó Páramo of Costa Rica », *Quat. Res.*, n° 40, p. 107-116.

- HORN S.P. & SANFORD Jr. R.L., 1992. — « Holocene fires in Costa Rica », *Biotropica*, n° 24 (3), p. 354-361.
- KEEFER D.K., DEFRANCE S.D., MOSELEY M.E., RICHARDSON III J.B., SATTERLEE D.R. & DAY-LEWIS A., 1998. — « Early maritime economy and El Niño events at Quebrada Tacahuay, Peru », *Science*, n° 281, p. 1833-1835.
- KUNZEL F. & KESSLER A., 1986. — « Investigation of level changes of Lake Titicaca by maximum entropy spectral analysis », *Arch. Meteorol. Geogr. Bioklim.*, n° 36, p. 219-227.
- LEROUX M., 1996. — *La dynamique du temps et du climat*, Masson, Paris, 310 p.
- MARTIN L., ABSY M.L., FLEXOR J.-M., FOURNIER M., MOURGUIART Ph., SIFEDDINE A. & TURCQ B., 1992. — « Enregistrements de conditions de type El Niño, en Amérique du Sud, au cours des 7 000 dernières années », *C. R. Acad. Sci.*, n° 315, p. 97-102.
- MARTIN L., BERTAUX J., LEDRU M.-P., MOURGUIART Ph., SIFEDDINE A., SOUBIÈS F. & TURCQ B., 1995. — « Perturbaciones del régimen de las lluvias y condiciones de tipo El Niño en América del Sur tropical desde hace 7 000 años », *Bull. Inst. fr. études andines*, n° 24 (3), p. 595-605.
- MARTIN L., FOURNIER M., MOURGUIART Ph., SIFEDDINE A., TURCQ B., ABSY M.L. & FLEXOR J.-M., 1993. — « Southern Oscillation signal in South American palaeoclimatic data of the last 7 000 years », *Quat. Res.*, n° 39, p. 338-346.
- MARTIN L. & SUGUIO K., 1992. — « Variation of coastal dynamics during the last 7 000 years recorded in beach-ridge plains associated with river mouths : Example from the central Brazilian coast », *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, n° 99, p. 119-140.
- MEGGERS B.J., 1994a. — « Biogeographical approaches to reconstructing the prehistory of Amazonia », *Biogeographica*, n° 70 (3), p. 97-110.
- MEGGERS B.J., 1994b. — « Archeological evidence for the impact of mega-Niño events on Amazonia during the past two millenia », *Clim. Change*, n° 28, p. 321-338.
- MOURGUIART Ph. & CARBONEL P., 1994. — « A quantitative method of palaeolake-level reconstructions using ostracod assemblages : an example from the Bolivian Altiplano », *Hydrobiologia*, n° 288, p. 183-193.
- MOURGUIART Ph., CORRÈGE T., WIRRMANN D., ARGOLLO J., MONTENEGRO M.E., POURCHET M. & CARBONEL P., 1998. — « Holocene palaeohydrology

- of Lake Titicaca estimated from an ostracod-based transfer function », *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, n° 143, p. 51-72.
- MOURGUIART Ph., WIRRMANN D., FOURNIER M. & SERVANT M., 1992. — « Reconstruction quantitative des niveaux du petit lac Titicaca au cours de l'Holocène », *C. R. Acad. Sci.*, n° 315, p. 875-880.
- NICHOLLS N., 1990. — « Low-latitude volcanic eruptions and the El Niño/Southern Oscillation : a reply », *Int. J. Climatol.*, n° 10, p. 425-429.
- ORTLOFF C.R. & KOLATA A.L., 1993. — « Climate and collapse : Agroecological perspectives on the decline of the Tiwanaku State », *J. Arch. Sci.*, n° 20, p. 195-221.
- PIPERNO D.R. & BECKER P., 1996. — « Vegetational history of a site in the central Amazon Basin derived from phytolith and charcoal records from natural soils », *Quat. Res.*, n° 45, p. 202-209.
- PUJOS M., LATOUCHE C. & MAILLET, N., 1995. — « Late Quaternary Paleocceanography of the French Guana continental shelf : clay-mineral evidence », *Ocean. Acta*, n° 19 (5), p. 477-487.
- 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*, Dejoux C. & Iltis A. (eds), Kluwer Academic Publishers, Amsterdam. *Mon. Biol.*, Vol. 68, 63-88.
- RODBELL D.T., SELTZER G.O., ANDERSON D.M., ABBOTT M.B., ENFIELD D.B. & NEWMAN J.H., 1999. — « An ~15,000-year record of El Niño-driven alluviation in Southwestern Ecuador », *Science*, n° 283, p. 516-520.
- SALDARRIAGA J.G. & WEST D.C., 1986. — « Holocene fires in the northern Amazon basin », *Quat. Res.*, n° 26, p. 358-366.
- SANFORD R.L., SALDARRIAGA J.G., CLARK K.E., UHL C. & HERRERA R., 1985. — « Amazon rain forest fires », *Science*, n° 227, p. 53-55.
- SIFEDDINE A., FRÖHLICH F., FOURNIER M., MARTIN L., SERVANT M., SOUBIÈS F., TURCQ B., SUGUIO K. & VOLKMER-RIBEIRO C., 1994. — « La sédimentation lacustre indicateur de changements des paléoenvironnements au cours des 30 000 dernières années (Carajas, Amazonie, Brésil) », *C. R. Acad. Sci.*, n° 318, p. 1645-1652.
- SOUBIÈS F., 1980. — « Existence d'une phase sèche en Amazonie brésilienne datée par la présence de charbons de bois (6 000-3 000 BP) », *Cah. ORSTOM, Série Géol.*, n° 1, p. 133-148.
- THOMPSON L., MOSLEY-THOMPSON E., BOLZAN J.F. & KOCI, B.R., 1985. — « A 1 500-year record of tropical precipitation in ice cores from the Quelccaya Ice Cap », *Science*, n° 229, p. 971-973.

- THOMPSON L., MOSLEY-THOMPSON E., DAVIS M.E., LIN P.-N., HENDERSON K.A., COLE-DAI J., BOLZAN J.F. & LIU K.-B., 1995. — « Late Glacial stage and Holocene tropical ice core records from Huascarán, Peru », *Science*, n° 269, p. 46-50.
- TURCQ B., SIFEDDINE A., MARTIN L., ABSY M.L., SOUBIÈS F., SUGUIO K. & VOLKMER-RIBEIRO C., 1998. — « Amazonia rainforest fires : Lacustrine record of 7 000 years », *Ambio*, n° XXVII (2), p. 139-142.
- WIRRMANN D. & MOURGUIART Ph., 1995. — « Late Quaternary spatio-temporal limnological variations in the Altiplano of Bolivia and Peru », *Quat. Res.*, n° 43, p. 344-354.

17
18

19