

## HISTOIRE DES SÉCHERESSES ANDINES POTOSI, EL NIÑO ET LE PETIT ÂGE GLACIAIRE

Alain Gioda<sup>(1)</sup> et Maria del Rosario Prieto<sup>(2)</sup>

(1) Programme Neiges et Glaciers Tropicaux, UR 1  
IRD - SENAMHI, C.P. 2352, Cochabamba, BOLIVIE

(2) Unidad de Historia Ambiental  
Instituto Argentino de Nivología y Glaciología  
CRICYT, C.C. 330, 5500 Mendoza, ARGENTINE

### RÉSUMÉ

Cet article présente la méthode historique de reconstitution du climat des Andes centrales depuis la colonisation espagnole (xvi<sup>e</sup> siècle), qui utilise les sources narratives des archives et des bibliothèques boliviennes, essentiellement à Potosí et à Sucre (l'ancienne Charcas ou encore La Plata), argentines, à Buenos Aires, et espagnoles, à Madrid et surtout à Séville dans l'*Archivo General de Indias*. Les relations entre les sécheresses et l'intensité des épisodes El Niño au cours de la période étudiée sont présentées et discutées, de même que la chronologie du Petit Âge Glaciaire. Il faut souligner que les grandes périodes sèches andines, qui sont aussi identifiées à Potosí de 1560 à 1641 et de 1780 à 1820, sont contemporaines de pulsations froides du Petit Âge Glaciaire.

### ABSTRACT

History of the Andean droughts; Potosi, El Niño and the Little ice Age

This is an account of the construction of the climate of the central Andes since the Spanish conquest in the 16th century. The data were collected from libraries in Bolivia (mainly Potosí and Sucre, formerly Charcas or La Plata), Argentina (Buenos Aires) and Spain (Madrid and particularly the *Archivo general de Indias* in Seville). We discuss the relationships between droughts and El Niño episodes with an historical focus on the links between cold periods and the Little Ice Age. We confirm that two main dry periods in the Andes, which are identified in the Potosí area in 1560-1641 and 1780-1820, are linked with two Little Ice Ages.

Afin de reconstituer la variabilité climatique, on utilise des chronologies établies grâce à l'étude des glaces, des sédiments lacustres, des pollens (paly-nologie), des lichens (lichenostratigraphie) et diatomées fossiles, de la mesure des stries de croissance des coraux et des anneaux des arbres (den-drochronologie) ainsi que des documents écrits anciens (encadré page sui-vante). Dans ce travail, le climat andin depuis la seconde moitié du xvi<sup>e</sup> siècle est analysé selon les sources historiques, dites aussi narratives. Le projet Archival Climate History Survey (Archiss) de l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (Unesco), de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et de l'International Council on Archives (ICA) fédère ces recherches (Baker, 1996 et 1998 ; Duckstein, 1998). L'Amérique latine est l'un des terrains privilégiés d'études grâce à l'ample production publique et privée de documents sur papier par l'empire colonial espagnol, qui se poursuit après l'indépendance des États sud-américains au xix<sup>e</sup> siècle.

Fonds Documentaire IRD



010021858

Fonds Documentaire IRD

Cote : B\*21858 Ex : 1

### Les limites des outils paléoclimatiques dans les Andes tropicales

L'étude des glaces permet de remonter loin dans le temps. Ainsi Thompson et al. (1998), qui utilisent les isotopes de l'oxygène et le deutérium, viennent de proposer une chronologie des 25 000 dernières années en Bolivie, mais seuls des accidents, comme les poussières volcaniques provenant d'une éruption lointaine et bien datée dans l'histoire et incluses dans les glaces, permettront peut-être d'affiner cette approche au plan temporel.

Des reconstitutions paléoenvironnementales se font aussi à partir d'indicateurs fossiles comme les pollens et les diatomées conservés dans les sédiments lacustres prélevés par carottage. Les assemblages de pollens et diatomées correspondent à un mélange d'espèces ayant vécu durant une période plus ou moins longue (5-10 ans dans le meilleur des cas). La profondeur des échantillons est convertie en échelle de temps, en s'appuyant sur les datations par le carbone 14. Deux échantillons proches peuvent être séparés par vingt à cinquante années. Particularité gênante du milieu tropical, les sédiments lacustres ne présentent pas de varves annuelles ou saisonnières, à quelques exceptions près.

La lichenostratigraphie peut présenter des marges d'erreur importantes car elle dépend d'étalonnages sur des monuments bien datés, ce qui n'est pas le cas de ceux des civilisations précolombiennes de l'époque Tiwanaku (viii<sup>e</sup> siècle av. J.-C.-xiii<sup>e</sup> siècle apr. J.-C.) et incaïque (xv<sup>e</sup>-xvi<sup>e</sup> siècle).

Les coraux présentent des stries de croissance dont la variation peut être étudiée même à l'échelle de la saison. La composition chimique ou isotopique des squelettes calcaires dépend de la température de la mer, des précipitations et des teneurs en nutriments, et donc de l'intensité des upwellings. Les Galapagos, où ils furent utilisés par Dunbar et al. (1994) pour reconstruire les températures des eaux de surface depuis la fin du xvi<sup>e</sup> siècle, sont le milieu le plus proche des Andes dont le climat a été étudié par cette méthode.

La dendrochronologie est difficile à mettre en œuvre dans les milieux tropicaux où les arbres ne présentent généralement pas d'anneaux de croissance et à fortiori annuels. Déboisées depuis des millénaires, les montagnes andines sèches sont, de plus, caractérisées par la très lente croissance de leurs arbres endémiques.

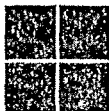
Les sources historiques, issues des archives et grimoires, sont les seules qui permettent de dater, au jour près dans le meilleur des cas, un épisode climatique, noté par ses contemporains, le plus souvent à cause de son caractère désastreux. L'idéal est de disposer de séries continues d'observations contrôlées afin d'aboutir à une histoire sérielle et à une chronologie climatique, mais l'écriture n'arrive localement qu'au xvi<sup>e</sup> siècle, avec la colonisation espagnole.

## LE TERRAIN D'ÉTUDE

Les premières observations scientifiques du continent sud-américain correspondent aux voyages de Pizarre le long des côtes dès 1525-1526 (Hocquenghem et Ortlieb, 1990). Après la chute des Incas en 1534 et les guerres civiles entre Espagnols (1543-1548), l'administration se mit en place, mais elle fut précédée par la ruée vers l'argent de Potosí en 1545.

À ses débuts en 1561, la *Real Audiencia de Charcas* était une grande entité juridique, siégeant à La Plata (l'argent, en espagnol, car la ville est proche de Potosí). Toutefois, elle jouait aussi un rôle politique et religieux marqué par l'élévation de Charcas au rang d'évêché dès 1552, car les Espagnols associaient toujours intimement le temporel et le spirituel. Elle était rattachée administrativement à la vice-royauté du Pérou, d'où son autre nom historique, le Haut-Pérou. L'Audience se transforma en le moteur économique le plus puissant du continent américain. Potosí, bâtie à la hâte à 4 000 mètres d'altitude, comptait 160 000 habitants vers 1610-1650 ; elle pouvait alors se comparer à Paris ou à Londres. L'Audience se transforma au fil du temps en un pôle politique et économique qui fut le berceau de la Bolivie. Au xvi<sup>e</sup> siècle, et jusqu'à la fin du xviii<sup>e</sup> siècle, l'Audience s'étendait, du nord au sud, de Puno (Pérou actuel) à Buenos Aires (Argentine) et, d'ouest en est, de la côte du Pacifique (nord du Chili) aux missions jésuites du Paraguay et du Mato Grosso (Brésil). Au total, elle couvrait environ six millions de km<sup>2</sup> (figure 1).

Puis le territoire de l'Audience, son importance et celle de la ville de Potosí diminuèrent sans cesse à partir de la fin du xviii<sup>e</sup> siècle avec le poids croissant de Buenos Aires. Le territoire bolivien couvrait encore 2 300 000 km<sup>2</sup> en 1825, à l'indépendance, quand la nouvelle capitale changea de nom, La Plata devenant Sucre. Mais il n'est plus que de 1 100 000 km<sup>2</sup> depuis 1935, à la suite de défaites lors de conflits avec les États voisins (López Bertran, 1993).



## LA MÉTHODE HISTORIQUE

Malgré leur importance démontrée par les résultats obtenus dans l'hémisphère nord depuis Lamb (1977) et Le Roy Ladurie (1983), les sources historiques n'ont pas été suffisamment exploitées en Amérique du Sud (Morlon, 1992 ; Prieto, 1994 ; Gioda et Prieto, 1997).

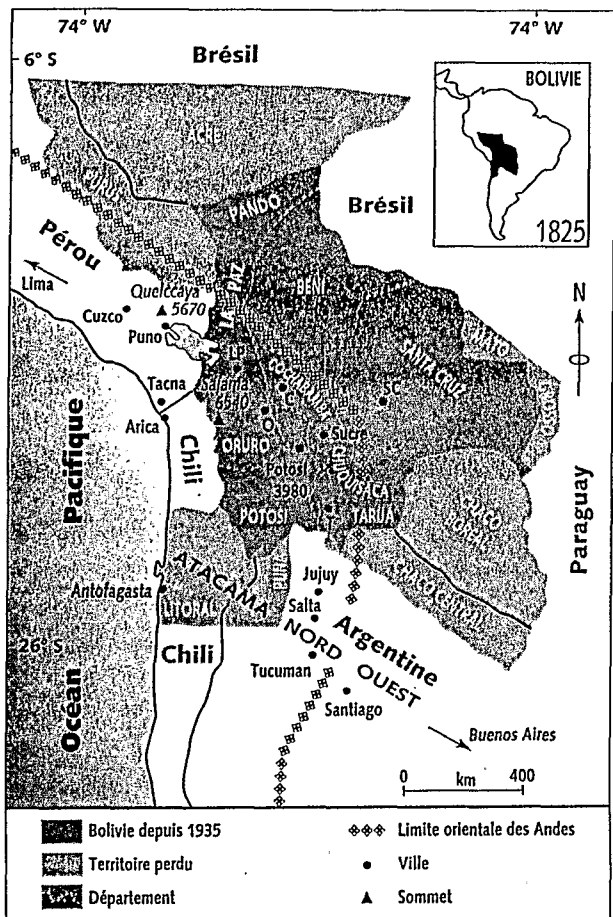
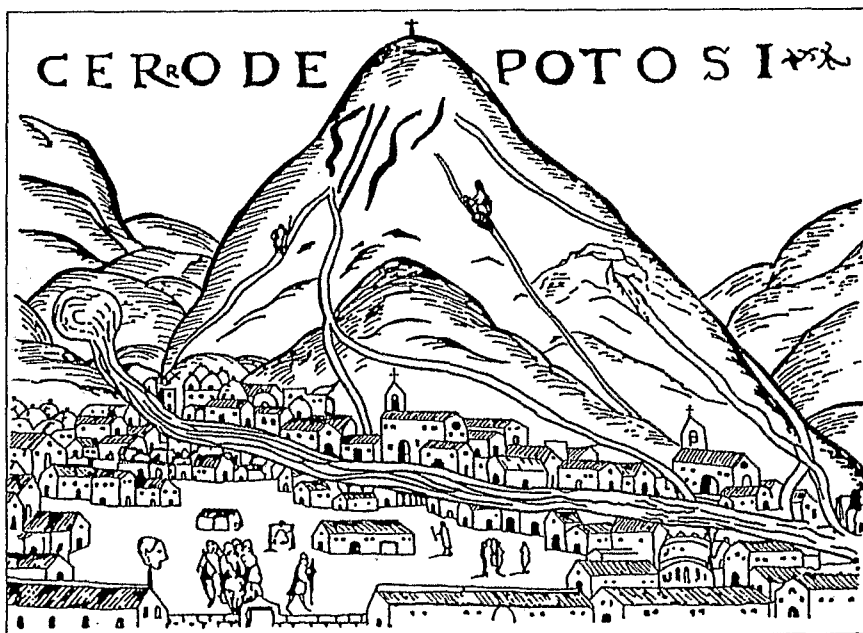


Figure 1 - Carte politique de Charcas puis de la Bolivie depuis le XVI<sup>e</sup> siècle. Villes et départements ont souvent le même nom, d'où les abréviations LP pour La Paz, SC pour Santa Cruz, etc.

Les sources historiques sont les seules à permettre de dater précisément un épisode climatique ancien et de témoigner de son caractère marquant grâce aux observations et aux annotations de ses contemporains. Par conséquent, elles sont idéales pour caler dans le temps les reconstitutions faites par les autres techniques. Quand l'information est disponible de façon continue, les sources historiques autorisent l'écriture d'une histoire du climat aux pas de temps mensuel, annuel, décennal et séculaire. De plus, elles permettent de préciser les changements climatiques liés au Petit Âge Glaciaire et de reconstituer les impacts de phénomènes d'une durée pouvant dépasser l'année, comme El Niño en Amérique du Sud.

Les sources narratives présentent toutefois la particularité d'avoir été glanées, sans grand esprit de méthode, par les érudits des siècles passés, qui se bornèrent à relever les événements ayant frappé l'imagination des contemporains : sécheresses « effroyables », « déluges » de pluie, etc. La chronique de Potosí d'Arzans (1705-1737), somme de récits, d'évocations et de légendes, est incontestablement de ce type ; le grand écrivain vénézuélien du XX<sup>e</sup> siècle Arturo Usler Pietri l'appelle « Les mille et une nuits de la fantastique Amérique » (Gioda et Dory, 1998). Il existe chez la plupart des observateurs et des historiens une tendance à enregistrer seulement les extrêmes, et donc seulement les calamités climatiques. En découle le caractère subjectif, hétérogène et discontinu dans le temps d'une partie du matériel de travail qui demande à être testé, fiché, classé et organisé pour être significatif (Le Roy Ladurie, 1983).

Par conséquent, le caractère plus ou moins accentué des sécheresses ou des précipitations abondantes est déterminé par les qualificatifs que les contemporains leur ont attribué, et aussi par la fréquence de leur citation dans les documents anciens. Les thèmes intéressants dans ces documents sont les



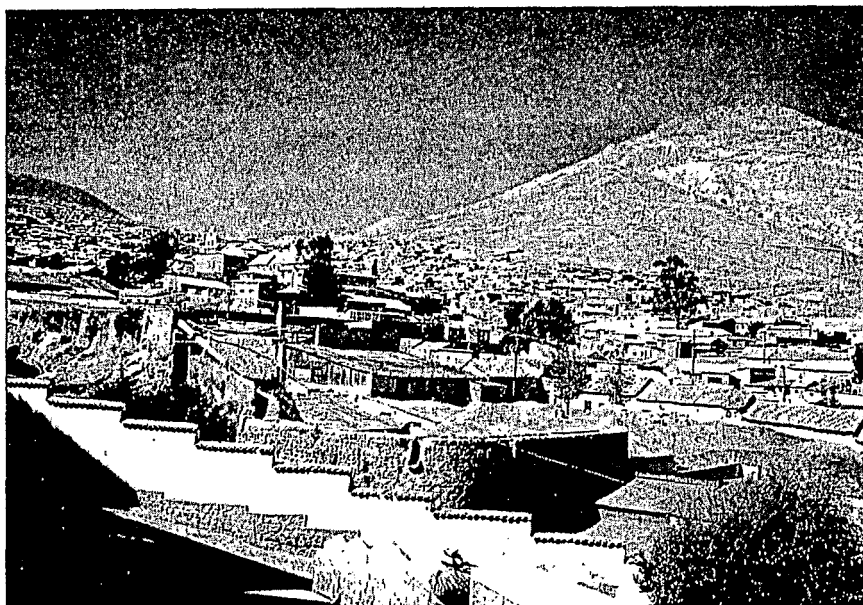
Première vue de Potosí éditée en 1553 (d'après Cieza de León, croquis daté de la fin des années 1540). Née spontanément en 1545, la ville comptait environ 14 000 âmes et 2 500 maisons dès 1547. Elle verra plus que décupler le nombre de ses habitants dans les cinquante années suivantes à cause de la ruée vers l'argent. Le Cerro de Potosí (la montagne d'argent), avec ses grands filons noirs, domine la ville.

récoltes, l'état du bétail et des pâturages, les processions et prières pour favoriser la pluie et le débit du canal de Potosí, qui traverse la ville de Potosí depuis 1576, et dont l'énergie servait à concasser le minerai d'argent (Gioda et Serrano, 1998 et 1999).

On crée ainsi cinq catégories, allant d'une année très sèche (correspondant à la valeur -2) à une année très pluvieuse (+2), en passant par les qualificatifs de sèche (-1), normale (0) et pluvieuse (+1). Une année est définie comme normale quand il existe des informations sur la vie sociale, économique et politique et qu'aucune donnée climatique directe ou indirecte, comme l'état des récoltes, n'est relevée dans les documents.

## LES SOURCES HISTORIQUES

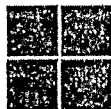
Des dépôts documentaires ont été consultés en Bolivie (*Archivo y Biblioteca Nacionales de Bolivia* de Sucre, *Archivo Histórico de la Casa de Moneda* de Potosí, *Archivo Histórico de Cochabamba*, *Archivo Histórico de La Paz*), en Argentine (*Archivo General de la Nación* de Buenos Aires) et en Espagne (*Archivo General de Indias* de Séville *Archivo de la Real Academia de la Historia* de Madrid, *Archivo del Museo de la Marina* de Madrid, *Archivo de la Biblioteca Nacional* de Madrid).



Vue actuelle de la cité de Potosí (130 000 habitants à 4 000 mètres d'altitude). Ville historique classée depuis 1987 « Patrimoine de l'Humanité » par l'Unesco, elle a gardé tout son cachet colonial sous le triangle de la montagne d'argent. L'exceptionnelle luminosité de l'atmosphère a fait choisir cette région pour l'implantation du nouveau télescope géant européen (dans le Nord chilien). (Photo A. Gioda)

Les informations à propos de Potosí proviennent d'abord de la chronique de Bartolomé Arzáns (1705-1737) qui couvre la période qui s'étend de 1545, date de la naissance de la ville, à 1737. Les données qualitatives sur le climat tirées de cette chronique ont été complétées par les informations issues, entre autres, du guide de Potosí (Cañete, 1787) et du fonds *Audiencia de Charcas - Archivo General de Indias*. Les comptes rendus réguliers imposés par le roi Charles III à propos des ressources en eau et des récoltes (1784-1810) sont une source irremplaçable d'informations ; leur caractère administratif et rigoureux contraste avec les annotations ingénues et fantaisistes d'une grande partie de la chronique d'Arzáns, de 1545 jusqu'à environ 1650. De plus, des études récentes ont fourni les prix des produits agricoles sur les marchés (Tandeter et Wachtel, 1983), des explications des crises économiques (Tandeter, 1991), etc.

Toutefois, le travail sera encore affiné par l'incorporation des informations des *Acuerdos del Cabildo de Potosí* (1585-1817), qui couvrent trente-trois volumes inédits et sont les documents équivalents des actes municipaux. Leur dépouillement a débuté avec le parrainage d'Archiss en novembre 1998.



## SÉCHERESSES ET ANNÉES PLUVIEUSES À POTOSÍ

La série climatique reconstituée de Potosí couvre 245 années de 1560 à 1804 (figure 2). 72 % des années sont normales. 20 % des années sont classées sèches et très sèches, et seulement 8 % pluvieuses et très pluvieuses. La classification « très sec, sec, normal, pluvieux et très pluvieux » s'applique à un climat qui est déjà considéré aride par rapport au climat actuel et dont les principales caractéristiques sont les suivantes : température moyenne annuelle de 9 °C à Potosí avec environ 140 jours de gel par an et autour de 400 mm de précipitations annuelles.

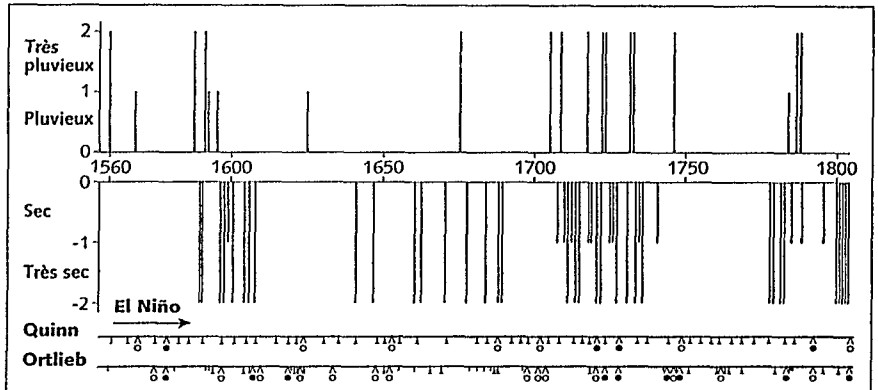


Figure 2 - Reconstitution au pas annuel du climat de Potosí entre 1560 et 1804 selon les sources historiques.

En haut, un trait vertical indique le caractère de chaque année : -2, très sec ; -1, sec ; 0, normal ; 1, pluvieux ; 2, très pluvieux.

En bas, sont reportées les chronologies des phénomènes El Niño selon Quinn (1993) et selon Ortlieb (1998). Chez Quinn, les épisodes sont répartis en trois classes : très fort (cercle noir), fort (cercle blanc) et moins fort (lettre T inversée). Chez Ortlieb, la classification est identique à deux réserves près : des épisodes qui ont eu une grande extension spatiale sont aussi considérés très forts (cercle noir) ; de nombreux événements ne sont pas suffisamment connus (petite barre verticale). Les méthodes de recherche des deux auteurs, à partir des sources historiques, sont très proches, mais le travail d'Ortlieb, plus récent, intègre également les apports de la datation d'El Niño par l'étude des coraux (îles Galapagos, Équateur).

Dans le détail, la seconde moitié du XVI<sup>e</sup> siècle se caractérise par son climat variable mais à dominante humide, qui se note aussi dans la zone voisine de l'actuel Nord-Ouest argentin (Prieto et al., 1999) faisant partie de la même région biogéographique : la diagonale aride et semi-aride sud-américaine (González Loyarte, 1995). À partir de 1590 et jusqu'à 1610, le climat devient plus sec.

Les climats des XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles se distinguent facilement l'un de l'autre. Le premier apparaît comme plus clément grâce à une fréquence moindre des sécheresses entre 1625 et 1690. La dernière décennie du XVII<sup>e</sup> siècle et l'ensemble du XVIII<sup>e</sup> siècle se caractérisent par une alternance entre années pluvieuses et années sèches, ces dernières étant de loin les plus nombreuses. Dans

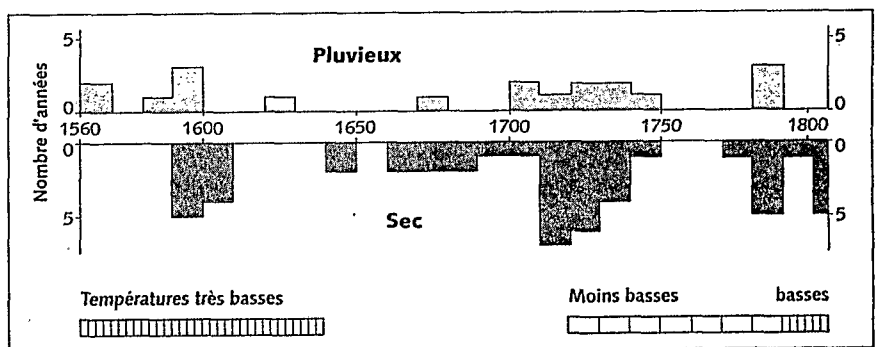
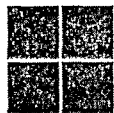


Figure 3 - Reconstitution du climat de Potosí entre 1560 et 1804 par décennie : nombre d'années de caractère donné.

En haut, le nombre d'années sèches (en gris foncé) et le nombre d'années pluvieuses (gris clair) sont indiqués pour chaque décennie.

Au bas de la figure et pour la même période, sauf entre 1641 et 1719, a été reportée l'estimation des températures à partir d'une dendrochronologie de la Patagonie septentrionale (Villalba, 1994). Plus les traits sont serrés, plus la température est basse.



les premières quarante années du XVIII<sup>e</sup> siècle, le climat est particulièrement rude avec un grand nombre d'années sèches, spécialement durant la décennie 1730-1739 (figure 3). Prieto et Herrera (1992) avaient déjà constaté que, dans le Nord-Ouest argentin, le XVII<sup>e</sup> siècle avait été plus pluvieux que le XVIII<sup>e</sup> siècle dont le climat a été plus instable avec un plus grand nombre de sécheresses. À partir de 1780-1785, le climat de Potosí redevient extrêmement sec jusqu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle. Si notre analyse – qui s'appuie sur une série reconstituée sans lacune temporelle – s'arrête actuellement à 1804, il faut savoir que cette période de sécheresse est bien connue dans les Andes tropicales où elle s'achève autour de 1810, selon les sources historiques (Prieto et al., 1995), et vers 1820, selon la glaciologie (Thompson et al., 1986).

## EL NIÑO ET LES SÉCHERESSES

Selon Quinn (1993), qui s'appuie sur un premier travail publié en 1987, cent-vingt épisodes El Niño sont identifiés par les sources historiques, depuis l'arrivée de Pizarre dans le Pacifique en 1525 (encadré ci-contre). Neuf sont qualifiés de très forts, y compris celui de 1982-1983. Avec le dernier épisode de 1997-1998, ce chiffre est porté à dix. Le nombre d'épisodes El Niño est beaucoup plus faible selon Ortlieb (1998), qui utilise la même méthode que Quinn mais qui est plus circonspect dans l'attribution des anomalies climatiques à El Niño (figure 2).

### El Niño, Enso et l'Oscillation australe

Le terme El Niño, « l'enfant Jésus », en espagnol, désigne un courant de sud-ouest relativement faible et chaud qui s'établit aux environs de Noël, avec une récurrence de quelques années, le long des côtes de l'Équateur et du Pérou. C'est ce sens restrictif qui a été adopté dans ce travail comme dans ceux de Quinn et al. (1987), Aceituno (1993), Quinn (1993), Ortlieb (1995, 1998, 1999).

Dans la littérature scientifique (Quinn, 1993 ; Aceituno, 1993 ; Ortlieb, 1998), on trouve fréquemment l'acronyme Enso, pour El Niño-Southern Oscillation, qui désigne des périodes anormalement chaudes dans l'océan Pacifique tropical oriental et central, associées à des valeurs négatives de la différence de pression au niveau de la mer entre Tahiti et Darwin, au nord de l'Australie (Southern Oscillation Index).

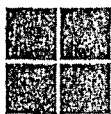
L'expression Southern Oscillation ou Oscillation australe, en français, se rapporte plus spécifiquement à un phénomène à grande échelle qui est caractérisé par son influence sur le champ de pression planétaire. L'Oscillation australe se marque notamment par un mouvement de bascule dans le champ des différences de pression atmosphérique entre l'est et l'ouest de l'océan Pacifique tropical. Actuellement, il est admis que le phénomène d'Oscillation australe connaît deux états extrêmes : 1) un événement chaud ou El Niño ou Enso ou encore phase El Niño de Enso ; 2) un événement froid ou La Niña ou anti-El Niño ou encore phase froide de Enso (Aceituno, 1993 ; Ronchail, 1998 ; Ronchail et Gioda, 1999).

Il est possible de distinguer différentes périodes de l'histoire du climat à Potosí et dans cette partie de la diagonale semi-aride sud-américaine. D'après Prieto et al. (1999), entre 1580 et 1641, les sécheresses coïncident avec l'apparition d'El Niño dans 40 % des cas sur l'Altiplano bolivien, dans les hautes vallées andines et dans le Nord-Ouest argentin. Puis, pour la période 1663-1710, toujours avec la méthode historique et dans ces mêmes régions, le résultat est inversé ; dans 45 % des cas, il y a concomitance de l'apparition d'El Niño avec des pluies anormalement fortes. À l'échelle annuelle, il n'y a donc pas de relations stables entre El Niño et la sécheresse. Pour la longue période allant du XVI<sup>e</sup> siècle au début du XIX<sup>e</sup> siècle, qui est aussi celle que nous avons étudiée à Potosí, les anomalies climatiques ne sont pas synchrones avec les épisodes El Niño dans différentes localités de l'Amérique latine qui vont, du nord au sud, du Mexique au Chili central en passant par le Nordeste brésilien (Ortlieb, 1998).

Si l'on replace l'exemple de Potosí dans le cadre plus large des Andes centrales, il faut tout d'abord souligner que la présence d'El Niño sur les côtes sud-américaines n'implique pas nécessairement des pluies torrentielles ou de fortes sécheresses. Toutefois, depuis le travail pionnier de Francou et Pizarro (1985) sur les conséquences d'El Niño, il est généralement admis qu'à l'apparition de ce courant chaud correspondent des sécheresses marquées sur l'Altiplano péruvien-bolivien et dans les vallées interandines et qu'il n'y a pas de relations significatives entre la venue de ce phénomène océanique et les hauteurs de pluie annuelles des régions basses de l'orient bolivien (Ronchail, 1995).

L'absence de relation entre l'apparition d'El Niño et le cumul annuel de précipitations se vérifie à La Paz (3 660 m) sur près d'un siècle d'observations (1898-1986) sans lacunes de l'observatoire météorologique de San Calixto (Ronchail et Gioda, 1999). Mais, même au bord du Pacifique, sur l'ancien littoral bolivien qui est aujourd'hui le Nord chilien, la conclusion était identique après une étude des pluies depuis le XIX<sup>e</sup> siècle (Ortlieb, 1995).

Toutefois, une relation significative a été trouvée à San Calixto de La Paz, en étudiant les précipitations des deux années calendaires pendant lesquelles se développe un El Niño : le cœur de la saison des pluies (de décembre à mars) présente un déficit de 14 % par rapport à la normale (Ronchail et Gioda, 1999). Toutefois, ce résultat moyen ne doit pas masquer la variabilité très forte des conséquences des épisodes El Niño en Bolivie (Ronchail, 1998).



## SÉCHERESSES ET CATASTROPHES

La mémoire est sélective. Quelquefois, des phénomènes climatiques majeurs passent inaperçus de leurs contemporains et, d'autres fois, les calamités naturelles ont un grand impact sur la mémoire collective et marquent des ruptures historiques. Il peut se dérouler rapidement une tragédie (au sens classique du terme avec la règle des trois unités de lieu, de temps et d'action) née d'un effet cumulatif : l'addition de phénomènes naturels et anthropiques anormaux qui, pris individuellement, paraissent incapables de déboucher sur une issue funeste (Ercole et Dollfus, 1995).

Toutes les grandes sécheresses à Potosí sont-elles liées à El Niño ? La réponse est négative. Nous avons entre nos mains depuis très peu de temps un premier échantillon issu des *Acuerdos del Cabildo*, allant de 1585 à 1610 inclus, bien documenté et sans lacune temporelle significative. Les années 1602 et 1605 peuvent y être qualifiées de très sèches, et cela sans que Quinn (1993), pourtant toujours très prompt à détecter un El Niño, ou qu'Ortlieb (1998) avancent l'existence d'une quelconque anomalie climatique de type Enso.

Si, entre 1525 et aujourd'hui, il y eut cent-vingt épisodes El Niño selon Quinn (1993), seuls trois d'entre eux depuis le XIX<sup>e</sup> siècle correspondent à de grandes catastrophes sur l'actuel territoire bolivien : la grande sécheresse de 1803-1804 qui borne une époque coloniale prospère avant la lutte pour l'indépendance (1809-1825) ; celle de 1878-1879 qui constitue le cadre de la guerre du Pacifique perdue contre le Chili ; et celle de 1982-1983 en pleine crise politique et économique après la fin des dictatures (1964-1982).

### La sécheresse de 1803-1804

À Potosí, en 1803 et 1804, le manque d'eau fut désastreux pour l'industrie minière car le concassage du minerai d'argent s'y faisait grâce aux roues hydrauliques installées sur le canal traversant la ville. S'y ajoutèrent une pénurie de main d'œuvre et l'arrêt, par les guerres de Napoléon, de l'approvisionnement en mercure, indispensable à la métallurgie argentifère (Tandeter, 1991). Ces phénomènes adverses déclenchèrent à Potosí une forte crise qui marqua la fin d'un cycle économique : le troisième boom de l'argent de 1754 à 1777 (*Chichas et Sucre, 1777*).

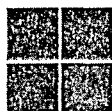
Mais, la sécheresse fut aussi extrêmement grave dans la région de Cochabamba où, d'après l'administrateur colonial Viedma, elle fut la plus forte de la période 1784-1808. Deux années consécutives sans précipitations, en 1803 et 1804, entraînèrent la perte totale des récoltes, d'où une grave famine (Gioda et Dory, 1998). Dans les chaînons de la cordillère orientale et dans le piémont andin du côté du Chaco, qui correspondent à l'est des départements actuels de Chuquisaca (Sucre) et de Tarija, la sécheresse et les épidémies se conjuguèrent comme dans celui de La Paz (Tandeter, 1991).

### La sécheresse de 1878-1879

Une grande partie du département de Potosí fut sinistrée en 1878-1879 (Chichas, Chayanta, Porco). Les habitants de la ville demandèrent du secours et de la farine aux Chiliens en octobre 1878, cinq mois avant la guerre qui allait opposer à ces derniers (Platt, comm. pers.). Mais, la sécheresse fut particulièrement grave dans les départements de Sucre (Chuquisaca) et de Cochabamba où des jacqueries se déroulèrent à Arani en 1878 (Pentimalli et Rodríguez, 1988). Des magasins furent pillés dans la ville de Sucre et des centaines de corps de vagabonds jonchèrent les rues de Cochabamba. Diminuée par la faim, la population bolivienne fut la proie d'épidémies. Dans le département de Cochabamba, ce furent le typhus et le paludisme en 1878-1879 et, à Potosí, la « peste » en 1879 (Greishaber, 1980). Commencée en février 1879, la guerre du Pacifique – l'annexion par le Chili des côtes du Pérou et de la Bolivie – se déroula très vite de façon désastreuse pour les Boliviens. Dès 1880, la guerre était perdue, mais il n'y eut ni prise ni occupation durable des principales villes, à l'inverse de ce qui advint au Pérou. Néanmoins, la Bolivie vit se développer la rumeur de son total envahissement, d'où des mouvements de panique.

### La sécheresse de 1982-1983

En 1982 et 1983, la sécheresse toucha très gravement les hautes terres et, tout particulièrement, la région méridionale de l'Altiplano, soit les départements de Potosí et d'Oruro. Le moment était critique en politique et en économie car il correspondait, à partir d'octobre 1982, à la transition entre la dictature du général García Meza et la démocratie (Gioda et Dory, 1997). Cette dictature (1980-1982) avait généré une vague sans précédent de corruption et désorganisé de manière durable les services de l'État. Le pays était isolé sur la scène internationale, avec peu de possibilités de mobiliser l'aide extérieure d'urgence. La sécheresse laissa 25 000 sans-abri et entraîna un abandon définitif des hautes terres par nombre de leurs habitants. Les dommages furent chiffrés à environ six cents millions de dollars américains de 1983.



## LE PETIT ÂGE GLACIAIRE ET LES SÉCHERESSES

### Le Petit Âge Glaciaire

En Europe, le Petit Âge Glaciaire (« Little Ice Age » en anglais) est caractérisé par l'avance des glaciers à la fin du xvi<sup>e</sup> siècle et au xvii<sup>e</sup> siècle. Le maximum de cette avance, la plus forte depuis l'âge post-glaciaire, se situerait dans les Alpes et en Islande au milieu du xvii<sup>e</sup> siècle. Mais, dès l'an 1600, le maximum historique des glaciers de toutes les Alpes est atteint à la suite d'hivers froids et neigeux depuis 1550, qui se notent aussi à Riga sur la Baltique et au Japon. Un recul marqué des glaces en Europe ne se fait sentir que depuis 1890 environ (Le Roy Ladurie, 1983). Pour l'hémisphère sud dans son ensemble, 1500 est l'année couramment admise pour le début du Petit Âge Glaciaire. (Bradley et Jones, 1995).

La ville de Potosí, la plus haute du monde de cette importance (160 000 habitants au début du xvii<sup>e</sup> siècle et 130 000 aujourd'hui), constitue un observatoire privilégié pour l'étude des périodes froides à l'échelle séculaire.

Pour Le Roy Ladurie (1983), le Petit Âge Glaciaire se caractérise par une baisse des températures moyennes de l'ordre de 0,9 °C à l'échelle du globe et se situe entre 1560 et 1850, selon des sources historiques pour l'essentiel relatives à l'hémisphère nord (encadré ci-contre). Utilisant la glaciologie tropicale, Thompson et al. (1986) étendent un peu la période (1500 à 1900). Dans le cône sud de l'Amérique latine, Villalba (1994) situe le début du Petit Âge Glaciaire vers 1520, grâce à une dendrochronologie de plus de mille ans faite en Patagonie septentrionale. Malgré des techniques et des terrains d'étude différents, ces résultats sont largement convergents.

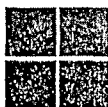
Par conséquent, toute la période coloniale de Potosí (1545-1825) est incluse dans le Petit Âge Glaciaire. Fixer la date de son début est impossible avec les sources narratives ; celles-ci se développent surtout à partir de 1560, mais la rigueur extrême du climat, soulignée par une petite avance glaciaire, se retrouve dans les récits des conquistadors du Pérou, dont celui de Pizarre dès l'année 1532 (Morlon, 1991, 1992), et dans les premières informations sur Potosí collectées par Martarelli (1890). Adopter la date de 1520 proposée par Villalba (1994) pour le commencement du Petit Âge Glaciaire sur notre terrain est donc correct.

Mais, surtout, il y a une bonne concomitance entre la longue période froide (1520-1660) détectée par Villalba – la plus rigoureuse des derniers mille ans – et les périodes sèches de Potosí (1560-1641) et du Nord-Ouest argentin (1580-1641). Les années 1560 et 1580 sont, respectivement pour ces deux régions, les premières à partir desquelles des informations des sources historiques sont aujourd'hui disponibles. Au Pérou voisin, l'an 1653, qui correspond à la fin du travail de l'historiographe Bernabé Cobo, fut choisi pour marquer la fin de cette période particulièrement froide du Petit Âge Glaciaire (Morlon, 1992). Cette date, issue de la méthode historique, est totalement compatible avec celle de 1641, choisie toujours grâce à des sources du même type pour le Nord-Ouest argentin par Prieto et al. (1999), et avec celle de 1660 qui provient, quant à elle, de la dendrochronologie d'une zone plus méridionale, la Patagonie (Villalba, 1994).

Prieto et al. (1999) suggèrent qu'une crise climatique du Petit Âge Glaciaire, centrée à la fin du xvi<sup>e</sup> siècle, aurait pu multiplier les périodes de sécheresse. Cette hypothèse d'une bonne corrélation entre épisodes froids et épisodes secs aux latitudes tempérées a été notamment émise par Tricart (1982). Elle est corroborée par l'existence d'une séquence très froide (1780-1820) dans une grande période sèche (1720-1860) détectée dans les glaces du Quelccaya au sud du Pérou (Thompson et al., 1986). Cette courte séquence de 1780-1820 correspond bien au schéma de Tricart appliqué à l'échelle planétaire : froid extrême dans les hémisphères nord et sud aux latitudes tempérées, avance des glaciers de Patagonie méridionale et du Pérou et sécheresse généralisée dans les Andes.

Le début de la grande période sèche des Andes centrales de 1720-1860, particulièrement marquée à Potosí lors des quatre premières décennies du xviii<sup>e</sup> siècle (figure 3), se note aussi plus au sud avec un léger décalage. À 41° S dans les Andes de la Patagonie septentrionale, c'est entre 1720 et 1790 que le climat du Petit Âge Glaciaire fut le moins rigoureux, avec en particulier des étés austraux plus chauds entre 1720 et 1760 (Villalba, 1994), ce qui n'est possible qu'avec une pluviométrie faible, car cette saison est normalement celle des pluies et des fortes couvertures nuageuses.

Enfin, l'explication des conséquences des épisodes El Niño devient plus simple en Amérique latine à partir de 1814 et surtout à partir du dernier quart du xix<sup>e</sup> siècle, qui correspond à l'effacement progressif du Petit Âge Glaciaire (Ortlieb, 1999). À Potosí, cet effacement peut se placer vers 1835, après la fin de l'ultime grande pulsation froide qui se situe vers 1810-1820, selon la chronique détaillée des climats anciens depuis le xvi<sup>e</sup> siècle de Martarelli (1890) et les données d'archives du xix<sup>e</sup> siècle (Platt, comm. pers.).

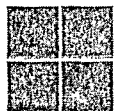


## CONCLUSION

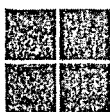
À Potosí, dans l'actuelle Bolivie, à partir de la date d'existence des premières sources historiques, c'est-à-dire la seconde moitié du XVI<sup>e</sup> siècle, et jusqu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle, on constate une détérioration climatique générale caractérisée par une fréquence accrue des sécheresses. Cette longue période correspond pleinement au Petit Âge Glaciaire. Durant toute cette époque, il est impossible de percevoir à Potosí une relation stable entre, d'une part, la quantité de précipitations annuelles et, d'autre part, la présence et l'intensité du phénomène El Niño dans l'état actuel des recherches. Toutefois, quand il se produit une forte sécheresse sur l'Altiplano et dans les vallées interandines, la présence d'un épisode El Niño, pas nécessairement très accentué, est probable au large des côtes péruviennes et chiliennes. L'étude de trois grandes sécheresses récentes (1803-1804, 1878-1879 et 1982-1983) montre l'importance de l'effet cumulatif pour aboutir aux désastres : au déficit pluviométrique lié à El Niño, se conjuguent des conditions socio-économiques critiques et, dans les deux derniers cas, des problèmes politiques. Les grandes périodes sèches de 1560-1641 et de 1780-1820 sont associées à des pulsations particulièrement froides du Petit Âge Glaciaire, dont la rigueur à 4 000 mètres d'altitude à Potosí est attestée par les chroniques historiques, tout comme son effacement à partir de 1835.

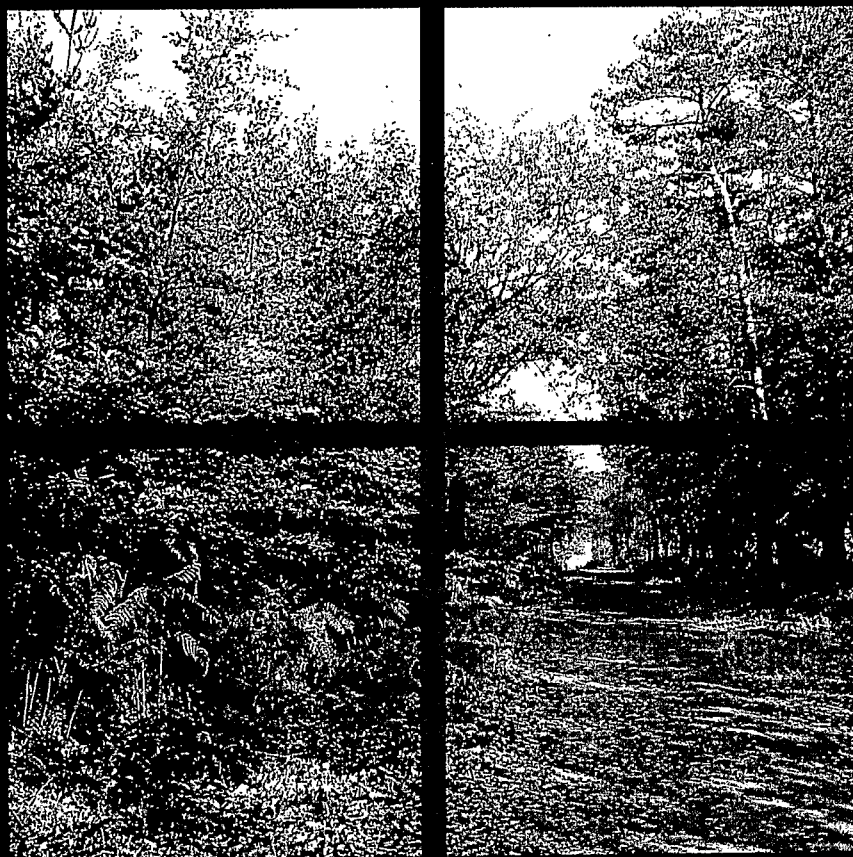
## BIBLIOGRAPHIE

- Accituno P., 1993 : El Niño, l'Oscillation australe et Enso ; des noms qui prêtent à confusion pour une interaction complexe entre l'océan et l'atmosphère. *La Météorologie* 8<sup>e</sup> série, 3, 44-48.
- Arzáns B., 1705-1737 (1965) : *Historia de la Villa Imperial de Potosí*. Brown University, Providence, États-Unis, 407 + 501 + 556 p.
- Baker M., 1996 : Report on the status of the Archival Climate History Survey (Archiss) project. WMO, TD n° 776, Genève, Suisse, 9 p. + 4 annexes.
- Baker M., 1998 : Relevamiento de archivos de la historia del clima - Proyecto Archiss. PHI Waterway, 13, 12-16.
- Bradley R. S. et P. D. Jones (sous la direction de), 1995 : *Climate since 1500 A.D.* Routledge, Londres, Royaume-Uni, 706 p.
- Cañete P. V., 1787 (1952) : *Guía geográfica, física, civil y legal del gobierno e intendencia de la provincia de Potosí*. Ed. Potosí, Potosí, Bolivie, 838 p.
- Duckstein L., 1998 : Use of fuzzy logic to encode archival climate research uncertainty. Unesco, IHP-V, TD n° 17, Paris, 47 p. + 4 annexes.
- Dunbar R. B., G. M. Wellington, M. W. Colgan et P. W. Glynn, 1994 : Eastern Pacific sea surface temperature since 1600 A.D. ; the <sup>18</sup>O record of climate variability in Galapagos corals. *Paleoceanography*, 9, 291-315.
- Ercole R. (d') et O. Dollfus, 1995 : La mémoire des catastrophes. *La Recherche*, 26, 932-935.
- Francou B. et L. Pizarro, 1985 : El Niño y la sequía en los altos Andes centrales: Perú y Bolivia. *Bull. Inst. fr. études andines*, 16, 1-18.
- Gioda A. et D. Dory, 1997 : ¿Qué se sabe de El Niño en Bolivia? In : Facetas. Los Tiempos, Cochabamba et El Correo del Sur, Sucre, 2 novembre, 4-5.
- Gioda A. et M. R. Prieto, 1997 : Para una historia del clima y del ambiente en los Andes centrales. In : Anuario 1997. Archivo y Biblioteca Nacionales de Bolivia, Sucre, 403-422.
- Gioda A. et D. Dory, 1998 : El Niño, Bartolomé Arzáns y Francisco de Viedma. In : Facetas. Los Tiempos, Cochabamba et El Correo del Sur, Sucre, 8 marzo, 8-9.
- Gioda A. et C. Serrano, 1998 : L'eau et l'argent à Potosí (ancien Haut-Pérou puis Bolivie). *La Houille Blanche*, 7, 65-75.
- Gioda A. et C. Serrano, 1999 : L'argent de l'ancien Pérou. *Pour la Science*, 259, 42-47.
- González Loyarte M. M., 1995 : La diagonale aride argentine ; une réalité écologique oscillante. *Sécheresse*, 6, 35-44.
- Greishaber E. P., 1980 : Survival of Indian communities in the nineteenth-century Bolivia; a regional comparison. *J. L. Amer. Stud.*, 12, 223-269.
- Hocquenghem A.-M. et L. Ortlieb, 1990 : Pizarre n'est pas arrivé au Pérou durant une année El Niño. *Bull. Inst. fr. études andines*, 19, 327-334.
- Lamb H. H., 1977 : *Climate history and the future*. Methuen, London, 835 p.



- Le Roy Ladurie E., 1983 : *Histoire du climat depuis l'an mil*. Flammarion, Paris, 287 + 254 p.
- López Bertran C., 1993 : *Biografía de Bolivia*. Juventud, La Paz, Bolivie, 166 p.
- Martarelli A., 1890 : *El colegio franciscano de Potosí y sus misiones*. Tipografía Italiana, Potosí, 329 p.
- Morlon P., 1991 : Variations climatiques et agriculture sur l'Altiplano du Lac Titicaca (Pérou-Bolivie) ; une approche préliminaire. *La Météorologie 7<sup>e</sup> série*, 39, 10-29.
- Morlon P., 1992 : De las relaciones entre clima de altura y agricultura de la sierra del Perú en los textos de los siglos XVI y XVII. *Bull. Inst. fr. études andines*, 21, 929-959.
- Ortlieb L., 1995 : Eventos El Niño y episodios lluviosos en el desierto de Atacama: el registro de los últimos dos siglos. *Bull. Inst. fr. études andines*, 24, 519-539.
- Ortlieb L., 1998 : Historical reconstructions of Enso events from documentary sources from Chile, Peru, Brasil, and Mexico. Pole-Equator-Pole paleoclimate of the Americas, Science meeting, Merida, March 1998, Abstr. vol., 6 p.
- Ortlieb L., 1999 : The documentary historical record of El Niño events in Peru: an update of the Quinn record (XVI-XIX centuries). In : *El Niño and the Southern Oscillation*. Díaz H. et V. Markgraf (sous la direction de), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, sous presse.
- Pentimalli M. et G. Rodríguez, 1988 : La razones de la multitud (hambruna, motines y subsistencia: 1878-1879). *Estado y Sociedad*, 4, 15-33.
- Prieto M. R., 1994 : Reconstrucción del clima de América del Sur mediante fuentes históricas. *Revista del Museo Natural de San Rafael*, 12, 323-342.
- Prieto M. R. et R. G. Herrera, 1992 : Las perturbaciones climáticas de fines del siglo XVIII en la área andina. In : Proyecto NOA (NorOeste Argentino). Junta de Andalucía, Sevilla, Espagne, 1, 7-35.
- Prieto M. R., R. Herrera et P. Dussel, 1995 : Las variaciones climáticas del siglo XVIII en los Andes tropicales del Sur, con especial referencia al ciclo seco de 1780-1810. *Actas del Sem. Inter. « Aguas, Glaciares y Cambios Climáticos en los Andes Tropicales »*. Orstom-Umsa-Senamhi-Conaphi, La Paz, Bolivie, 271-272.
- Prieto M. R., R. Herrera et P. Dussel, 1999 : Clima y disponibilidad hídrica en el Sur de Bolivia y Noroeste Argentino entre 1560 y 1710. *Actas del 3 Simp. Sudamer: Paleocología, desarrollo del paisaje y del clima de la diagonal árida sudamericana en el Cuaternario Superior*, Bamberg, sous presse.
- Quinn W. H., 1993 : The large-scale Enso events, the El Niño, and other important regional features. *Bull. Inst. fr. études andines*, 22, 13-34.
- Quinn W. H., V. T. Neal et S. E. Antunez de Mayolo, 1987 : El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *J. Geophys. Res.*, 92 (C13), 14449-14461.
- Ronchail J., 1995 : L'aridité sur l'Altiplano bolivien. *Sécheresse*, 6, 45-51.
- Ronchail J., 1999 : Variabilité pluviométrique lors des phases extrêmes de l'Oscillation australe du Pacifique en Bolivie (1950-1993). *Bull. Inst. fr. études andines*, 27, sous presse.
- Ronchail J. et A. Gioda, 1999 : San Calixto de La Paz: las lluvias y las fases de la Oscilación Austral durante cerca de un siglo. *Actas Sem. « El Niño en Bolivia »*, SENAMHI, 3-5 Junio 1998, La Paz, sous presse.
- Tandeter E., 1991 : La crisis de 1800-1805 en el Alto Perú. *Data*, 1, 9-49.
- Tandeter E. et N. Wachtel, 1983 : Precios y producción agraria. Potosí y Charcas en el siglo XVIII. CERES, Buenos Aires, Argentine, 91 p.
- Thompson L. G., E. Mosley-Thompson, W. Dansgaard et P. M. Grootes, 1986 : The Little Ice Age as recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya ice cap. *Science*, 234, 361-364.
- Thompson L. G., M. E. Davis, L. G. Mosley-Thompson, T. A. Sowers, K. A. Henderson, V. S. Zagorodnov, P.-N. Lin, V. N. Mikhalenko, R. K. Campen, J. F. Bolzan, J. Cole-Dai et B. Francou, 1998 : A 25,000-year tropical climate history from Bolivian ice cores. *Science*, 282, 1858-1864.
- Tricart J., 1982 : El Pantanal: un ejemplo de impacto de la geomorfología sobre el medio ambiente. *Rev. Geográfica*, 7, 13-14.
- Villalba R., 1994 : Tree-rings and glacial evidence for the Medieval Warm Epoch and the Little Ice Age in Southern South America. *Clim. Change*, 26, 183-197.





# La Météorologie

8<sup>e</sup> série - n° 27 - septembre 1999

REVUE DE LA SOCIÉTÉ MÉTÉOROLOGIQUE DE FRANCE

LPZ 0200 17273

DATE : LPZ 062REGHND 60/2