

Analyse et variabilité temporelle d'une longue série de pluies des Andes en relation avec l'Oscillation Australe (La Paz. 3 658 m. 1891-2000)

par

Alain GIODA*, Josyane RONCHAIL**, Yann L'HOTE* &
Bernard POUYAUD***

MOTS-CLES. — Précipitations ; Variabilité climatique ; Oscillation Australe ; Andes.

RESUME. — La station de San Calixto (La Paz, Bolivie), suivie par les jésuites, depuis 1891, est d'un intérêt particulier pour les pluies. Son altitude (près de 3 700 m) est exceptionnelle pour une aussi longue durée d'observation et la qualité de ses données. La série des précipitations annuelles est stationnaire, preuve de la stabilité de cette composante climatique pendant plus d'un siècle. Les relations entre les sécheresses et les phases de l'Oscillation Australe (épisodes El

Niño et La Niña) sont complexes à San Calixto. L'apport principal du travail est de montrer que la phase La Niña en Bolivie andine serait aussi associée à des sécheresses, caractéristique qui n'apparaissait pas jusqu'ici dans la littérature scientifique dont les analyses ne se basaient que sur l'interprétation de séries météorologiques courtes, ne remontant pas au-delà de 1950.

1. Introduction

San Calixto de La Paz est la station de météorologie la plus ancienne de Bolivie avec plus d'un siècle d'observations [1]****. La longue série

* U.R. Greatice, IRD, B.P. 5045, 34032 Montpellier cedex 1 (France).

** LMD-CNRS et GHSS de l'Université de Paris-VII (en accueil à l'IRD, Brasilia, Brésil).

*** U.R. Greatice, IRD, Casilla 18-1209, Lima 18 (Pérou).

**** Le chiffre entre crochets [] renvoie à la note, p. 216.

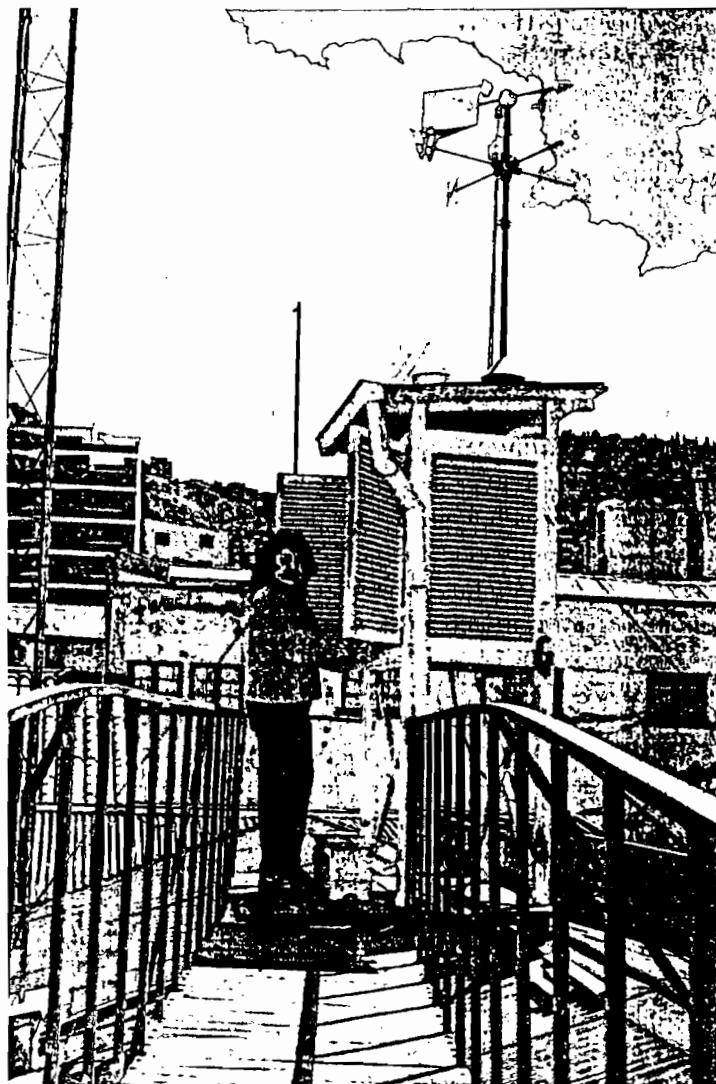


Fig. 1. — La station météorologique de La Paz - San Calixto et son observatrice depuis 1984, Mme Juana Patzzi (photo : A. Gioda).

pluviométrique (1891-2000) peut donc permettre de faire le lien temporel entre une approche du type «histoire du climat» et les observations météorologiques qui ne débutent de façon systématique en Bolivie qu'en 1942. Seules, des données ou des analyses de courtes séries de San Calixto ont été publiées à ce jour (ESCOBAR 1948, DESCOTTES 1949.

SEGALINE NIETO & CABRE 1988, RAMIREZ *et al.* 1995, RONCHAIL & GIODA 1998).

2. Historique de la station de San Calixto de La Paz

La station de San Calixto se trouve dans le centre historique de La Paz (fig. 1). Ses coordonnées géographiques sont les suivantes : longitude $68^{\circ} 07' 57''$ W ; latitude $16^{\circ} 29' 43''$ S. L'altitude exacte de San Calixto est de 3 658 m, ce qui la place à environ 350 m en contrebas du très proche plateau d'El Alto de La Paz, partie centrale du grand Altiplano boliviano-péruvien. San Calixto n'est donc pas une station représentative de l'Altiplano mais elle appartient au domaine des hautes vallées andines qui alimentent le bassin amazonien.

La création du collège de San Calixto date des années 1880. Pour la Compagnie de Jésus, il s'agissait alors de son grand retour à La Paz et en Bolivie, après sa disparition décidée par le roi Charles III, en 1767, dans toutes les colonies espagnoles. Le Père espagnol Ricardo Manzanedo installa la station météorologique sur les toits du collège en 1890 et les observations démarrèrent le 1^{er} janvier 1891 (DRAKE 2000). D'autres jésuites lui succédèrent dont Antonio Zalasar (1898-1903 ?), Agustín Moral (1903-1909 ?), Francisco Cerro (1909-11), Rafael Luque (1911-19), Pierre Descotes ou Pedro Descottes (1919-64), Ramón Cabré (1964-94) puis Lawrence Drake (1994-2001). Depuis 1912, l'observation météorologique est complétée par celle des séismes avec une station installée par le Frère Hermán Tortosa. Les observations de San Calixto apparaissent comme une contribution des jésuites au développement scientifique de la Bolivie (SEGALINE NIETO & CABRE 1988).

Au début des années 1970, les stations de météorologie et de sismographie constituant l'observatoire furent déplacées de 200 m dans de nouveaux locaux mais les appareils de météorologie sont toujours restés, depuis 1891, sur les toits, à environ 12 m de hauteur. La série des pluies est complète de janvier 1891 jusqu'à nos jours, excepté pour la période de mars 1894 à décembre 1897, durant laquelle les observations ne furent pas effectuées, selon la lecture du premier cahier de relevés dont l'original est toujours conservé dans les archives de l'observatoire.

3. Le contrôle de la qualité et l'étude de la stationnarité

Avant toute étude d'une longue série de données pluviométriques, il est nécessaire de vérifier si celle-ci correspond à un ensemble homogène ; en

effet, tout déplacement, même de courte distance (en particulier en ville) ou toute modification du site (comme le changement de la hauteur et de la forme des bâtiments à proximité), peuvent correspondre à des séries différentes. De plus, il est important de vérifier s'il n'existe pas une ou des hétérogénéités dues par exemple à l'utilisation, pendant une ou des périodes plus ou moins longues, d'appareils défectueux : pluviomètre avec surface de bague et éprouvette non conformes, pluviographe à augets basculant avant ou après le volume convenable, etc. Enfin, il faut compter avec d'éventuelles erreurs humaines : oublis d'observations, fautes de manipulation, mauvaise saisie des données, etc. Les fautes humaines sont aléatoires et elles ont été vérifiées et corrigées, lorsque nécessaire, d'après les originaux et des comparaisons avec des stations voisines. Les autres erreurs (déplacement de poste, matériel non conforme) ont un caractère systématique ; elles peuvent être détectées par différentes méthodes dont celle des « doubles cumuls ». Cette méthode peut être appliquée à partir de 1942 qui correspond au début de la période à partir de laquelle les postes pluviométriques se multiplient en Bolivie et donc à la création des stations proches de San Calixto comme El Alto et La Paz Central. Pour les années précédentes (1891 à 1941), les examens des bordereaux au plus proche de l'observateur comme différentes autres méthodes manuelles et la vérification de la stationnarité qui sera décrite ci-après, permettent d'avancer que la série de plus de 100 années de San Calixto n'est pas perturbée dans son ensemble.

Après ce travail de vérification, il a été effectué différentes recherches d'autocorrélation, de tendance et de stationnarité de la série. Le logiciel *KhronoStat* (*Kronostat* 1998, LUBES-NIEL *et al.* 1998) a été mis en œuvre pour effectuer ces recherches sur les 105 totaux annuels successifs de 1891-92 à 1999-2000, une fois exclue la lacune de 1893-94 à 1897-98.

L'autocorrélation ou persistance d'une série chronologique des pluies traduit le fait que la valeur d'une année dépend de la (des) valeur(s) de celle(s) qui la (les) précède(nt). L'application du logiciel *KhronoStat* montre que les données ne sont pas autocorrélées pour des retards testés de 1 à 25 années, quel que soit le risque de première espèce.

Une tendance est une évolution lente (accroissement ou décroissance) de la pluviométrie au cours du temps sur la période la plus longue possible. S'il y a tendance, on peut établir une relation entre l'année et le rang (croissant ou décroissant) des pluies de la série. Le test de corrélation de rang, mis en œuvre avec le logiciel, accepte la série de 105 années comme aléatoire et donc il n'y a pas de tendance significative pendant cette période.

La stationnarité d'une série est caractérisée par la stabilité dans le temps de la loi de distribution la représentant et particulièrement de la moyenne et de l'écart-type. En hydrométéorologie, «un modèle d'évolution continue n'est pas recevable compte tenu de la brutalité de certains comportements observés. On est donc amené à s'intéresser à des modèles fondés sur une évolution discontinue» selon HUBERT *et al.* 1989, 1998. Aussi, il est cherché une ou des ruptures qui sont définies par un changement d'un ou plusieurs paramètres (moyenne, écart-type, etc.) de la série chronologique à un instant donné, le plus souvent inconnu. Le logiciel KhronoStat permet cette recherche par la mise en œuvre de cinq tests spécifiques :

- Le test de Pettitt, la statistique U de Buishand et les ellipses de contrôle font apparaître pour chaque test que l'hypothèse nulle (absence de rupture) est acceptée aux trois seuils de confiance retenus de 90, 95 et 99 % ;
- La procédure bayésienne de Lee et Heghinian, dont l'objectif est de repérer la position la plus probable d'une seule rupture en recherchant sa densité de probabilité a posteriori, ne met en évidence aucune rupture ;
- Enfin, la procédure de segmentation de Hubert, avec un niveau de signification du test de Scheffé à 1 %, permet de conclure que la série est stationnaire sans segmentation.

4. Les pluies annuelles et l'Indice d'Oscillation Australe (SOI en anglais)

L'analyse de la variabilité de la pluviométrie se basera uniquement sur les éventuelles relations entre la pluviométrie et le SOI (*Southern Oscillation Index* ou IOA pour Indice d'Oscillation Australe). Le SOI est publié sur l'Internet par la NOAA nord-américaine. Il est calculé comme la valeur centrée réduite, après homogénéisation, de la différence des pressions atmosphériques au sol entre Tahiti (Polynésie française) et Darwin (nord de l'Australie). Il est connu de façon mensuelle et susceptible d'être ensuite moyenné ou lissé sur des périodes plus longues, si ces dernières se révélaient plus adéquates.

Nous considérons donc les valeurs des pluies mensuelles de San Calixto en années calendaires de janvier 1891 à septembre 2000, incluant les 48 mois de lacunes entre 1894 et 1897. Il existe 105 années calendaires pour lesquelles les pluies mensuelles et leurs totaux annuels sont

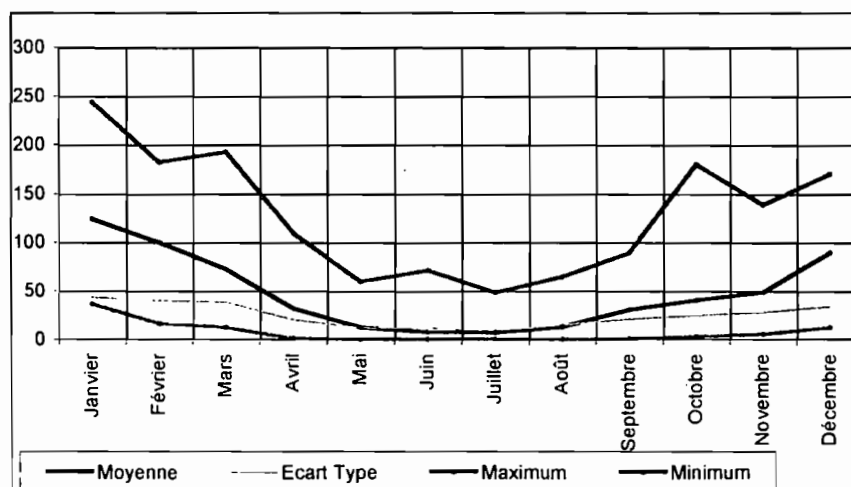


Fig. 2. — Répartition mensuelle des pluies à La Paz - San Calixto.

connus. Nous obtenons ainsi la répartition moyenne mensuelle des précipitations, avec indication des minima et maxima mensuels, qui montre que la saison des pluies commence véritablement en septembre. Cela permet de définir une année hydrologique qui va de septembre à août (fig. 2).

Afin de comparer ces valeurs de la pluviométrie aux SOI qui sont des données centrées réduites, il convient de traiter d'abord la pluviométrie de la même façon, c'est-à-dire en calculant ses valeurs centrées réduites qui s'obtiennent ainsi :

$$ECR_i = (P_i - P_m) / E$$

où ECR_i est l'écart-type centré réduit de la pluie de l'année i ; P_i , la pluie de l'année i ; P_m , la pluie moyenne sur N années ; E , l'écart-type des pluies sur N années.

Ce calcul a été effectué en années calendaires et hydrologiques, puis sur les trois périodes qui définissent les quadrimestres (septembre à décembre, le début de la saison des pluies ; janvier à avril, la fin de la saison des pluies ; et mai à août, la saison sèche) et enfin à l'échelle mensuelle.

La répartition des précipitations annuelles en années calendaires et sur les trois quadrimestres montre une assez bonne stabilité pendant plus d'un siècle avec des valeurs oscillant entre moins de 400 mm (minima : 344,9 en 1940) et un peu plus de 800 mm (maxima : 809,4 en 1932) (fig. 3). Aucune tendance significative ne semble pouvoir être

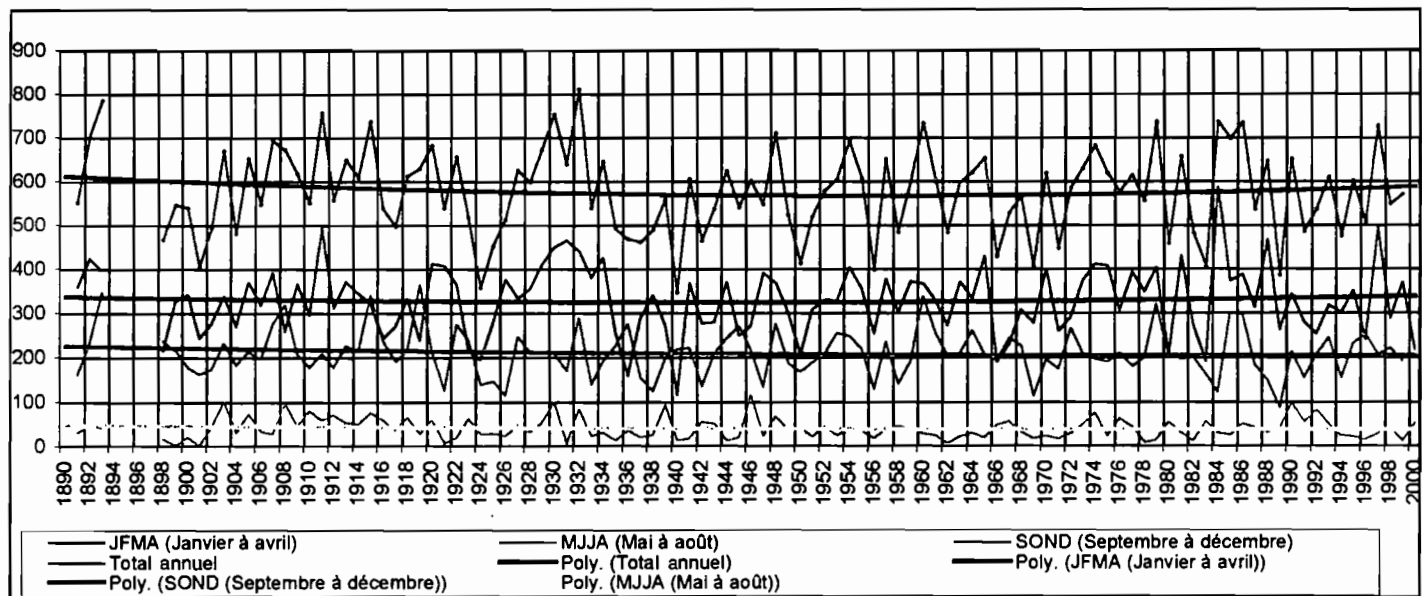


Fig. 3. — Pluies à La Paz - San Calixto en années calendaires.

observée, qu'il s'agisse de l'année complète ou des trois principales saisons.

5. Comparaison entre les précipitations et les valeurs correspondantes du SOI

5.1. COMPARAISON A L'ECHELLE ANNUELLE

Les totaux annuels selon les années hydrologiques et les valeurs correspondantes du SOI sont illustrés sur un graphique à double échelle d'ordonnées (fig. 4). On note une correspondance visuelle entre certains des forts déficits de précipitations et les SOI les plus faibles (1939-40 et 1982-83, FRANCOU & PIZARRO 1985). Toutefois, cela n'est pas systématique.

Le régime pluviométrique bolivien montrant une saison des pluies unique, il est logique d'étudier les précipitations annuelles selon un découpage préservant cette caractéristique. Par conséquent, nous considérerons une année hydrologique comportant une saison des pluies suivie par une saison sèche. Cette année commencera en septembre pour s'achever en août de l'année suivante.

Les grandes oscillations du SOI — tout au moins les épisodes El Niño — sont généralement centrées, elles aussi, sur la fin d'année. Cette approche en années hydrologiques «septembre-août» ne tronçonne pas la période de référence des épisodes El Niño. Elle est donc pertinente pour relier ces derniers avec les précipitations. Pour les épisodes La Niña, qui suivent ou précèdent les épisodes El Niño, ce découpage peut parfois ne pas être aussi satisfaisant car il peut segmenter les effets d'un épisode La Niña parfois centré sur les mois de juin et juillet.

Une corrélation directe entre les indices de précipitations centrées réduites et le SOI se révèle généralement décevante à toutes les échelles de temps. Nous pouvons cependant dégager une tendance en classant les précipitations annuelles centrées réduites selon les valeurs croissantes des SOI correspondants (RONCHAIL 1995, 1998).

Cela a d'abord été fait à l'échelle annuelle où les meilleurs résultats sont obtenus avec les valeurs des années hydrologiques (fig. 5). Cette figure montre qu'aux forts El Niño (à gauche) correspondent le plus souvent des précipitations annuelles déficitaires. Cette tendance dépasse en moyenne un demi écart-type. Elle est donc significative. L'examen des situations La Niña (à droite) fournit un résultat original puisqu'elles sont également associées à des précipitations souvent aussi déficitaires que

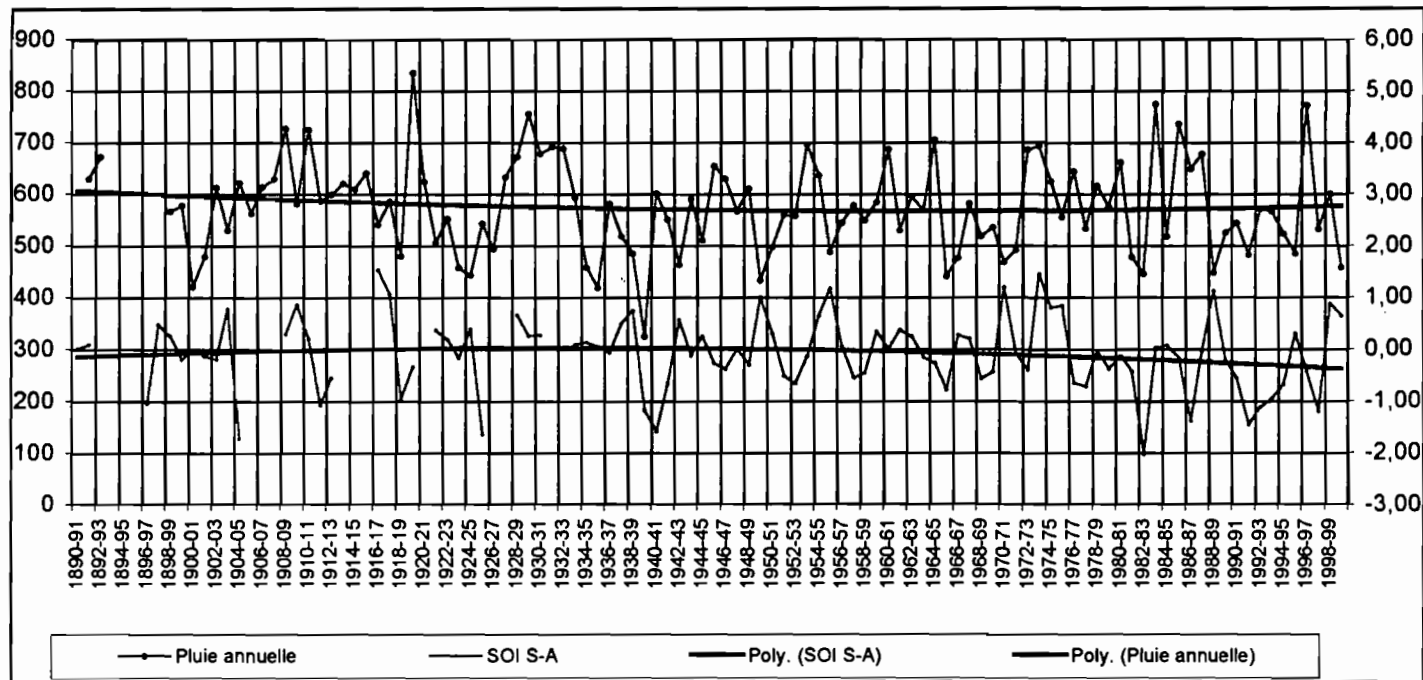


Fig. 4. — Pluies annuelles à La Paz - San Calixto et SOI (années hydrologiques : septembre à août).

dans le cas des épisodes El Niño. Ce sont les situations moyennes ou normales — c'est-à-dire «ni El Niño ni La Niña» — qui sont associées à des excès de précipitations, en moyenne tout au moins. En effet, pour ces années-là, on note des excès ou des déficits de précipitations qui peuvent atteindre un ou deux écarts-types. Ce dernier résultat de notre analyse n'est pas propre à la station de La Paz et peut être obtenu pour l'ensemble de l'Altiplano andin (VUILLE 1999), y compris le péruvien, dans la zone au nord-ouest de la Bolivie.

Sur cette figure 5, sont aussi reportées en vert clair les valeurs du SOI de l'année précédente. La courbe de tendance est globalement croissante, ce qui montre que les années à SOI négatif sont généralement précédées par des années de même caractéristique. L'inverse est aussi vrai ; les années à SOI positif sont elles-mêmes précédées par des années à SOI positif. Cette constatation montre à l'évidence que la durée des événements El Niño et La Niña est généralement supérieure à une année.

Un graphique comparable (non figuré ici) a été réalisé cette fois en classant, en ordre croissant, les années hydrologiques selon leur hauteur de précipitations centrées réduites. La courbe de tendance du SOI de l'année examinée et celle de l'année précédente ne montrent rien de significatif.

5.2. COMPARAISON A L'ECHELLE DU QUADRIMESTRE

Cette échelle temporelle est utilisée pour évaluer la contribution respective de chaque quadrimestre (début et fin de la saison des pluies, saison sèche) dans le comportement annuel. Le même type de présentation que celui de la figure 5 a donc été repris. Les deux graphiques correspondant au début et à la fin de la saison des pluies montrent une tendance comparable : les précipitations sont déficitaires en cas d'événements El Niño mais aussi pendant ceux de La Niña (figs 5.1. et 5.2.). Cette tendance est encore plus forte lors de la seconde période de la saison des pluies (janvier à avril) qu'à son début (septembre à décembre). Les valeurs moyennes du SOI (entre - 0,5 et + 0,5), correspondant aux «années normales», sont assez systématiquement associées à des précipitations excédentaires en seconde partie de la saison des pluies, à l'exception très notable de l'an 1936.

Les précipitations centrées réduites du quadrimestre de la saison sèche (mai à août) ont été classées de la même façon selon les valeurs croissantes du SOI (fig. 8). Ce graphique montre que les précipitations durant la saison sèche — il est vrai de peu d'importance à La Paz — sont nettement moins

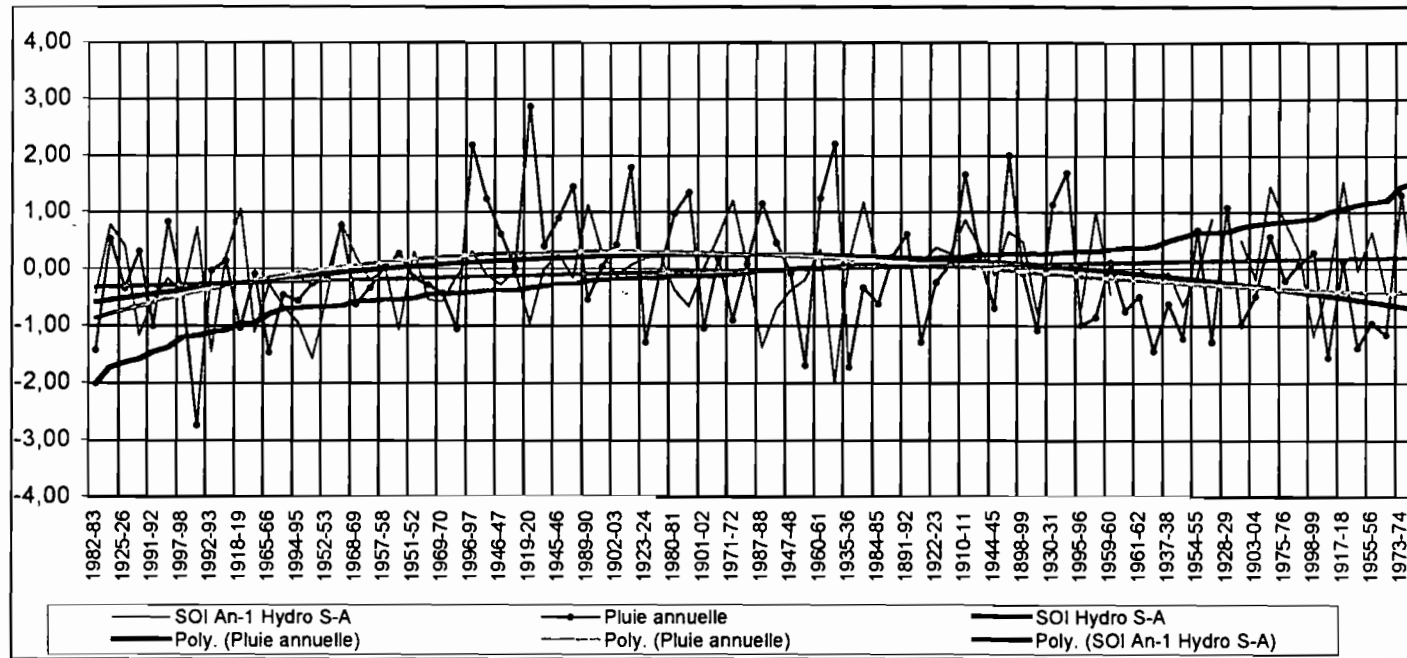


Fig. 5. — Pluies (en valeurs centrées réduites) et SOI à La Paz - San Calixto (années hydrologiques : septembre à août), années classées par SOI croissant.

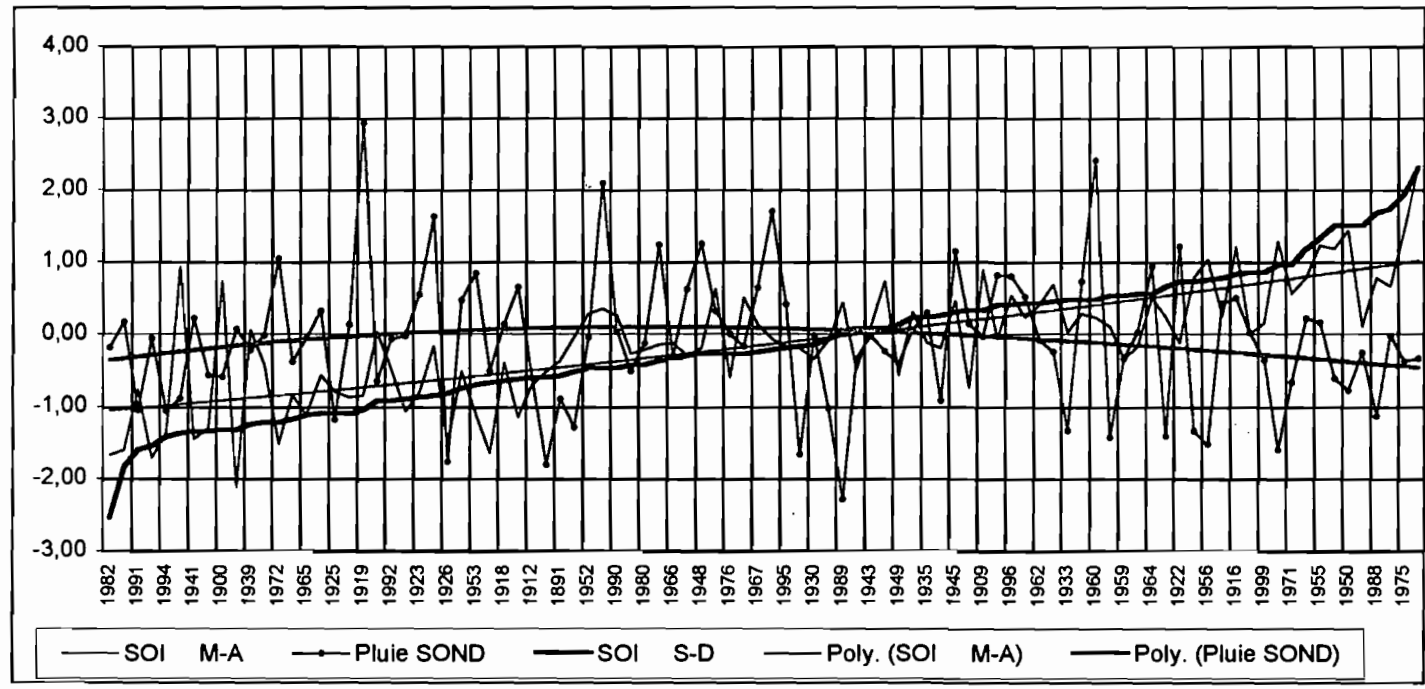


Fig. 6. — Pluies (valeurs centrées réduites) à La Paz - San Calixto. Quadrimestre de septembre à décembre, années classées par SOI SD croissant.

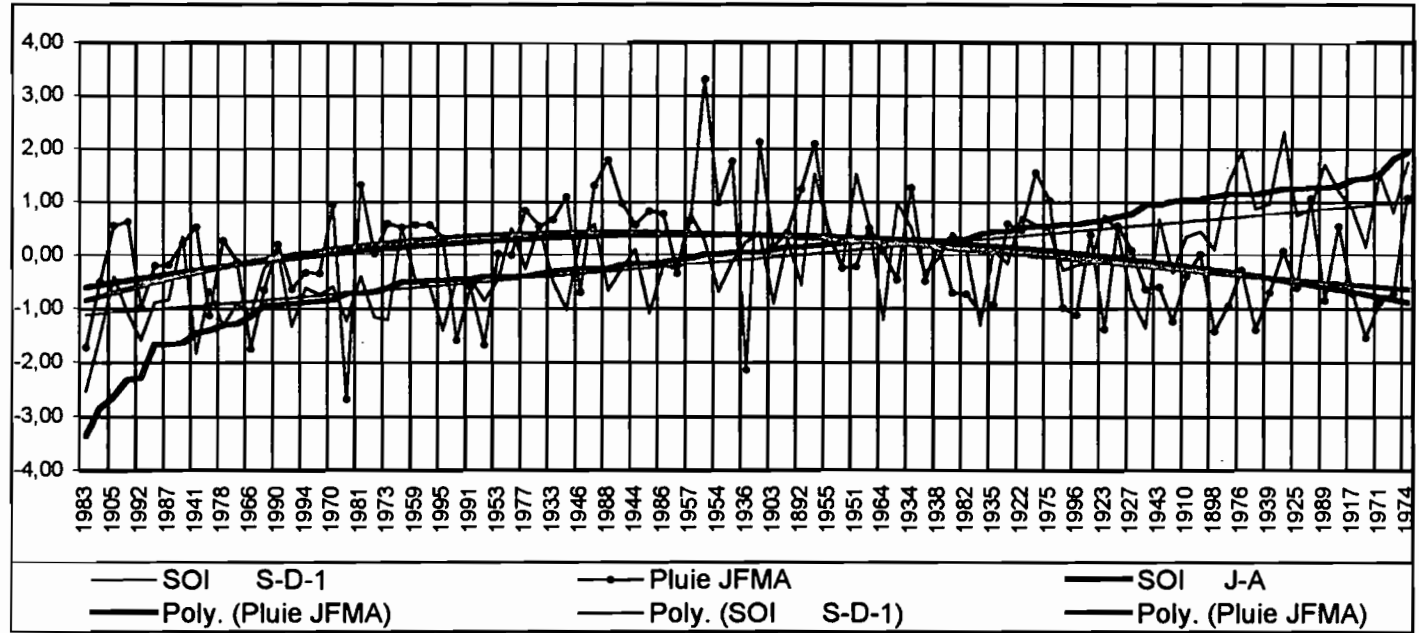


Fig. 7. — Pluies (valeurs centrées réduites) à La Paz - San Calixto. Quadrimestre de janvier à avril, années classées par SOI JA croissant.

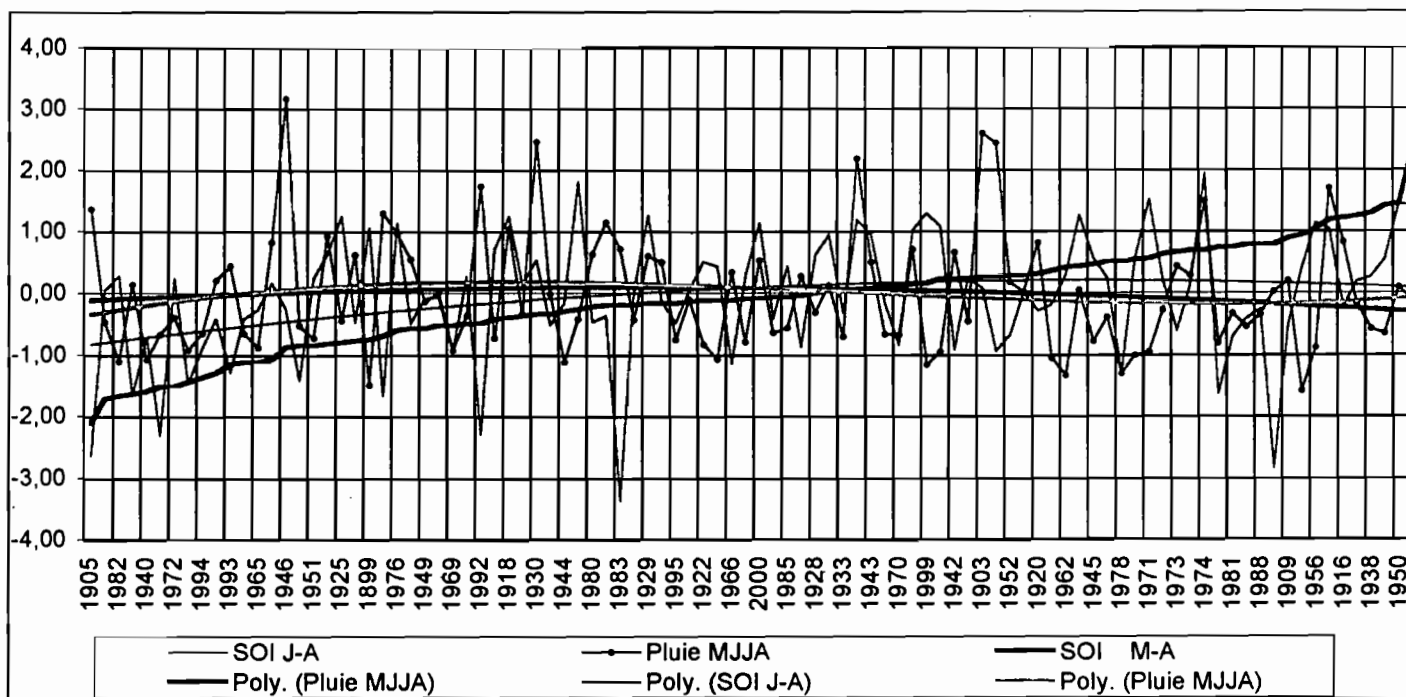


Fig. 8. — Pluies (valeurs centrées réduites) à La Paz - San Calixto. Quadrimestre de mai à août, années classées par SOI MA croissant.

dépendantes des valeurs du SOI, dans ses phases positives aussi bien que négatives, que les pluies observées durant le reste de l'année.

Ces tendances ont été chiffrées en calculant, pour chaque quadrimestre, les hauteurs de la pluie centrée réduite qui correspondent, d'abord, aux 6 classes suivantes des valeurs de l'indice SOI : <-1 ; -1 à -0,5 ; -0,5 à 0 ; 0 à +0,5 ; +0,5 à +1 ; > +1. Ensuite, le découpage adopté correspond aux quatre classes plus amples suivantes : <-1 ; -1 à 0 ; 0 à +1 ; > +1 (tab. 1).

Tableau 1

Moyennes des précipitations (en valeurs centrées réduites) par quadrimestre et pendant l'année hydrologique (septembre-août) pour différentes classes de l'indice SOI

Classe SOI	Type d'année	JFMA	MJJA	SOND	Classe SOI	Année SA
<-1	NIÑO*	-0,16	-0,28	-0,08	<-1	-0,16
-1 < -0,5	Niño*	0,01	0,30	-0,01	-1 < -0,5	0,01
-0,5 < 0		0,42	-0,01	0,24	-0,5 < 0	0,32
0 < 0,5		0,33	0,01	0,05	0 < 0,5	-0,07
0,5 < 1	Niña*	-0,01	-0,27	-0,01	0,5 < 1	-0,01
>1	NIÑA*	-0,51	0,01	0,01	>1	-0,42
Classe SOI	Type d'année	JFMA	MJJA	SOND	Classe SOI	Année SA
<-1	NIÑO*	-0,16	-0,28	-0,08	<-1	-0,16
-1 < 0		0,15	0,11	0,03	-1 < 0	0,13
0 < <+1		0,20	-0,09	-0,14	0 < <+1	0,13
>+1	NIÑA*	-0,51	0,01	-0,35	>+1	0,42

* NIÑO, El Niño fort ; Niño, El Niño moins prononcé. Idem pour NIÑA et Niña.

Un examen minutieux de ce tableau montre que le déficit des précipitations est aussi prononcé en seconde partie de la saison des pluies (janvier à avril), si ce n'est davantage, en année La Niña (SOI fort) qu'en année El Niño. Cette tendance systématique des précipitations à La Paz, donc aussi significativement déficitaires lors des années La Niña, est bien mise en évidence sur l'ensemble des 105 années de l'échantillon de San Calixto.

5.3. COMPARAISON A L'ECHELLE MENSUELLE

Cette dépendance significative des précipitations vis-à-vis du SOI s'exprime également à l'échelle mensuelle. La méthode précédente de

classement des pluies en fonction des valeurs mensuelles du SOI a été employée mais il est difficile d'en faire une synthèse comparative sur un même graphique. A cette échelle du mois, les variations «désordonnées» des valeurs de l'indice SOI non «lissé» et le fait que les événements El Niño et La Niña peuvent être — plus ou moins — soit précoces, soit tardifs, conduisent à des interprétations délicates et il faudrait commenter séparément chaque mois.

Que retenir ? En début de saison des pluies (septembre et octobre), il n'apparaît pas encore de tendance véritablement significative. Toutefois, nous pouvons noter une légère baisse des précipitations en septembre lors des épisodes La Niña. En novembre apparaît une nette tendance à la baisse des précipitations pour les épisodes La Niña. Cette tendance à la diminution des pluies se confirme en décembre, à la fois pour les événements El Niño et La Niña. Cette tendance disparaît en janvier en ce qui concerne les événements La Niña mais persiste pour les événements El Niño. Il semblerait donc que ce mois du cœur de la saison des pluies, le plus arrosé de toute l'année, ne verrait guère sa hauteur d'eau influencée par les événements La Niña mais que cette lame montrerait toujours une légère influence des événements El Niño dont la signature est une légère baisse du total pluviométrique. Par contre, en février et mars, s'observe une très nette tendance à la diminution des précipitations, lors des événements El Niño et La Niña. En avril, cette tendance à la baisse des pluies se conserve très fortement en année La Niña mais disparaît en année El Niño. Avec l'installation de la saison sèche, en mai, juin et juillet, il n'apparaît plus aucune tendance véritable, sauf pour les forts El Niño aux précipitations encore déficitaires. En août, par contre, s'observe une tendance assez nette à l'excès de précipitations, en année El Niño, et à la sécheresse, en année La Niña. Toutefois, ces dernières constatations doivent être relativisées, vu les très faibles pluies de la saison sèche qui est encore plus marquée au mois d'août.

Ces résultats sont synthétisés, cette fois-ci au niveau mensuel, avec le même type de présentation que celui adopté précédemment (tab. 2). Ce tableau montre le déficit pluviométrique, presque systématique, au cours de toute l'année lors des forts et — parfois même — des moyens événements El Niño. Ce déficit reste néanmoins assez modeste. Il montre surtout que les événements La Niña sont presque systématiquement associés aussi à des déficits de précipitations et que ces déficits peuvent être importants particulièrement en février, mars et avril.

Tableau 2

Moyennes des précipitations mensuelles (en valeurs centrées réduites)
pour différentes classes de l'indice SOI.

Classe SOI	Type d'année	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
<-1	NIÑO*	-0,06	-0,19	0,08	-0,13	-0,15	-0,37	-0,27	0,08	-0,26	-0,30	-0,12	0,42
-1 < <-0,5	Niño	-0,24	0,19	0,15	-0,13	0,15	-0,02	-0,19	-0,14	-0,09	-0,05	-0,01	0,18
-0,5 < <0		0,06	-0,40	0,05	0,22	0,00	0,46	0,17	0,02	-0,06	-0,06	0,01	0,05
0 < < 0,5		0,22	-0,12	0,37	-0,11	0,19	0,04	0,18	0,18	0,10	0,14	-0,18	-0,22
0,5 < < 1	Niña	-0,05	-0,09	-0,39	0,09	-0,33	0,06	-0,08	-0,20	-0,27	0,15	-0,04	0,00
>1	NIÑA	-0,24	-0,05	-0,36	-0,35	-0,05	-0,36	-0,09	-0,09	0,19	-0,08	0,10	-0,29
Classe SOI	Type d'année	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
<-1	NIÑO	-0,06	-0,19	0,08	-0,13	-0,15	-0,37	-0,27	0,08	-0,26	-0,30	-0,12	0,42
-1 < < 0		-0,09	-0,11	0,10	0,05	0,08	0,22	-0,01	-0,06	-0,08	-0,06	0,00	0,12
0 < < +1		0,09	-0,17	-0,01	-0,01	-0,07	0,05	0,05	-0,01	-0,09	0,15	-0,14	-0,17
>+1	NIÑA	-0,24	-0,05	-0,36	-0,35	-0,05	-0,36	-0,09	-0,09	0,19	-0,08	0,10	-0,29

* NIÑO, El Niño fort ; Niño, El Niño moins prononcé. Idem pour NIÑA et Niña.

6. Conclusion

Cette communication vise à mettre en évidence les liaisons entre les épisodes El Niño et La Niña et la pluviométrie observée à la station de San Calixto de La Paz aux échelles de temps de l'année (année hydrologique, septembre à août), du quadrimestre et même du mois. Les résultats ne sont pas ceux qui pouvaient être attendus, selon les travaux publiés jusqu'à ce jour. Certes, les précipitations associées aux épisodes El Niño sont plutôt déficitaires durant toute l'année, surtout à la fin de la saison pluvieuse. Toutefois, il apparaît aussi un déficit presque systématique, et souvent plus important, lors des événements La Niña. Ce déficit est plus particulièrement notable durant les mois de mars et d'avril, c'est-à-dire en fin de saison des pluies, et soit aussi à la même période que pour les épisodes El Niño.

REMERCIEMENTS

L'ensemble du personnel de l'Observatoire de San Calixto est remercié très chaleureusement, en particulier le Père Drake, son Directeur, et Mme Juana Patzzi. Le projet ARCHISS (*Archival Climate History Survey*) a parrainé partiellement ce travail dans le cadre du PP Unesco #00BOL603 et du PHI-LAC.

NOTE

- [1] Certes, la station de Sucre (2 850 m) avait été ouverte antérieurement (dès 1882) mais la qualité des données est moindre ; les lacunes et imprécisions de lecture y sont grandes. Enfin, elle fut fermée dans les années 1950. Seule, la station de l'aéroport de Sucre subsiste aujourd'hui.

BIBLIOGRAPHIE

- DESCOTTES, P. sj. 1949. El periodo anual de lluvias en La Paz. — *Boletín Sociedad Geográfica La Paz*, **54** (70) : 37-40.
- DRAKE, L. sj. 2000. Los jesuitas y los inicios de la meteorología y de la sismología en la Bolivia andina. — In : PENARANDA, M.E. (ed.), Anuario 2000, Archivo y Biblioteca Nacionales de Bolivia, Sucre, ABNB, pp. 411-420.
- ESCOBAR, I. 1948. Consideraciones sobre las lluvias en la ciudad de La Paz. — *Revista de Meteorología de Montevideo*, **26** : 75-97.
- FRANCOU, B. & PIZARRO, L. 1985. El Niño y la sequía en los altos Andes centrales (Pérou-Bolivie). — *Bull. Inst. français Etudes Andines*, **16** : 1-18.

- HUBERT, P & CARBONNEL, J. P. & CHAUCHE, A. 1989. Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest. — *Journal of Hydrology*, **110** : 349-367.
- HUBERT, P., SERVAT, E., PATUREL, J. E., KOUAME, B., BENDJOUDI, H. & CARBONNEL, J. P. 1998. La procédure de segmentation dix ans après. — *IASH*, **252** : 267-73.
- KhronoStat version 1.0. 1998. Logiciel développé par l'Orstom UR 2-21, l'Ecole des Mines de Paris et l'UMR GBE de l'Université Montpellier II.
- LUBES-NIEL, H., MASSON, J. M., PATUREL, J. E. & SERVAT, E. 1998. Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. — *Revue des Sciences de l'Eau*, **11** (3) : 383-408.
- RAMIREZ, E., MENDOZA, J., SALAS, E. & RIBSTEIN, P. 1995. Régimen espacial y temporal de las precipitaciones en la cuenca de La Paz. — *Bull. Inst. français Etudes Andines*, **24** : 391-401.
- RONCHAIL, J. 1995. L'aridité sur l'Altiplano bolivien. — *Sécheresse*, **6** : 45-51.
- RONCHAIL, J. 1998. Variabilité pluviométrique lors des phases extrêmes de l'Oscillation Australe du Pacifique en Bolivie (1950-1993). — *Bull. Inst. français Etudes Andines*, **27** : 687-698.
- RONCHAIL, J. & GIODA, A. 1998. San Calixto de La Paz : las lluvias y las fases de la Oscilación Austral durante cerca de un siglo. — *In* : Seminario El Fenómeno de El Niño en Bolivia (La Paz, 3-5 junio 1998), SENAMHI, pp. 73-86.
- SEGALINE NIETO, H. & CABRE, R. sj. 1988. El clima de La Paz. Datos del Observatorio San Calixto. — La Paz, Observatorio San Calixto, 80 pp.
- VUILLE, M. 1999. Atmospheric circulation over the Bolivian Altiplano during dry and wet period and extreme phases of the Southern Oscillation. — *Intern. J. of Clim.*, **9** : 1579-1600.

Second International Conference on

**TROPICAL CLIMATOLOGY,
METEOROLOGY AND HYDROLOGY**

**Climate-related Risk Analysis and Sustainable Development
in Tropical Areas**

Brussels, 13-14 December, 2001



Royal Meteorological Institute
of Belgium



Royal Academy
of Overseas Sciences

Guest Editors : G. Demarée, M. De Dapper, J. Alexandre

2004