



HAL
open science

Variabilité pluviométrique en Bolivie lors des phases extrêmes de l'Oscillation Australe du Pacifique (1950-1993)

Josyane Ronchail

► **To cite this version:**

Josyane Ronchail. Variabilité pluviométrique en Bolivie lors des phases extrêmes de l'Oscillation Australe du Pacifique (1950-1993). Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines, 1998. hal-02987821

HAL Id: hal-02987821

<https://hal.science/hal-02987821>

Submitted on 4 Nov 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

VARIABILITÉ PLUVIOMÉTRIQUE EN BOLIVIE LORS DES PHASES EXTRÊMES DE L'OSCILLATION AUSTRALE DU PACIFIQUE (1950-1993)

Josyane RONCHAIL *

Résumé

Les précipitations dans les Andes et la plaine de Bolivie (1950-1993), lors des deux phases de l'Oscillation Australe du Pacifique, sont très variables. On montre d'ailleurs que les précipitations saisonnières très fortes ou très faibles, à quelques exceptions près, peuvent se produire quelque soit la valeur de l'indice d'oscillation australe. Néanmoins, dans les Andes, des déficits pluviométriques moyens de 30% sont mesurés, de janvier à avril, lors de 7 événements ENSO sur 8. Dans la plaine, les seules anomalies significatives et cohérentes dans le temps et l'espace sont des déficits qui se produisent, après 1970, en phase LNSO, dans quelques stations du sud et du centre de la plaine.

Mots-clés : *Précipitations, Bolivie, Amérique du Sud, Oscillation Australe du Pacifique, ENSO, LNSO.*

VARIABILIDAD PLUVIOMÉTRICA DURANTE LAS FASES EXTREMAS DE LA OSCILACIÓN DEL SUR EN BOLIVIA (1950-1993)

Resumen

Las lluvias en los Andes y los llanos de Bolivia (1950-1993), durante las dos fases de la Oscilacion Austral del Pacífico, son muy variables en el tiempo y en el espacio. Las lluvias estacionales muy fuertes o muy débiles, menos algunas excepciones, pueden ocurrir cualquier que sea el valor del índice de oscilación austral. Pero, en los Andes, se verifica un déficit promedio de 30% de enero a abril durante 7 eventos El Niño sobre 8. En los llanos, las únicas anomalías significativas y coherentes en el tiempo y en el espacio, ocurren, después de 1970, durante eventos LNSO, en algunas estaciones del sur y del centro del llano.

Palabras claves: *Lluvias, Bolivia, América del Sur, Oscilación Austral del Pacífico, ENOS, LNSO.*

* Université de Paris 7 - Denis Diderot et Laboratoire de Météorologie Dynamique - CNRS, École Polytechnique, 91128 Palaiseau, France, e-mail: ronchail@cicrp.jussieu.fr.

RAINFALL VARIABILITY BASED ON EXTREME PHASES OF THE SOUTHERN OSCILLATION IN BOLIVIA (1950-1993)

Abstract

Rainfall variability in the Andes and in the lowlands of Bolivia is great during the two phases of the Pacific Southern Oscillation (SO). We show that very strong or weak seasonal rainfalls are independent of the SO Index, except in a few cases. In the Andes, negative rainfall anomalies occur during seven ENSO events above 8 (with a mean of -30%). In the lowlands, the only significant space-time consistent negative anomalies occur after 1970, during LNSO phases, in some southerly and central stations.

Key words: *Precipitations, Bolivia, South America, Pacific Southern Oscillation, ENSO, LNSO.*

INTRODUCTION

L'objectif de ce travail est de faire le point sur la nature et la stabilité des relations entre les deux phases de l'Oscillation Australe (OA) du Pacifique et les précipitations en Bolivie, sur l'Altiplano et dans la partie basse du pays, les llanos.

Dans les Andes tropicales, les auteurs se sont surtout intéressés aux relations entre les précipitations et la phase négative de l'OA ou El Niño-Southern Oscillation (ENSO) : en phase ENSO, Caviedes (1984) trouve de bas niveaux du lac Titicaca, Thompson *et al.* (1984) une faible accumulation de la neige, Francou & Pizarro (1985) et Aceituno (1988) des déficits pluviométriques, tout comme et Tapley & Waylen (1990) au Pérou & Ronchail (1995) en Bolivie.

Une attention particulière sera donc donnée à la phase positive de l'OA ou La Niña-Southern Oscillation (LNSO) dont le rôle sur les précipitations dans les Andes est moins connu et réputé faible (Tapley & Waylen, 1990 ; Caviedes & Waylen, 1991; Aceituno & Garreaud, 1995).

Par ailleurs, peu nombreux sont les travaux concernant les précipitations des llanos en phase ENSO et LNSO. Pourtant, on s'interroge sur l'éventuelle appartenance de cette région, lors des deux phases de l'OA, soit au domaine amazonien aux pluies déficitaires en phase ENSO, soit au sud-est américain (sud-est brésilien/ nord-est argentin) dont les pluies sont excédentaires en phase ENSO (Kousky *et al.*, 1984 ; Ropelewski & Halpert, 1987; Aceituno, 1988). Cette dernière hypothèse est motivée par la fréquence des fronts froids dans les llanos de Bolivie (Ronchail, 1989) auxquels est également soumis le sud-est américain et qui individualisent bien cette région par rapport aux Andes.

1. DONNÉES

Les données de précipitations mensuelles utilisées sur la période 1950-1993 sont celles de 17 stations de plaine, situées à moins de 850 m d'altitude, entre 10 et 22°S, de 5 stations du nord de l'Altiplano, situées à plus de 3 500 m d'altitude et d'une station de vallée, Cochabamba, située à 2 560 m d'altitude. Les stations andines sont regroupées

entre 16 et 17,5° de latitude Sud (Fig. 1). Ces données proviennent du SENAMHI (*Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*) et de l'AASANA (*Administración de Aeropuertos y Servicios Auxiliares a la Navegación Aérea*). Leur qualité a été contrôlée par le test du double-cumul. Les données manquantes représentent moins de 2% du total. Elles ne sont pas comblées dans ce travail.

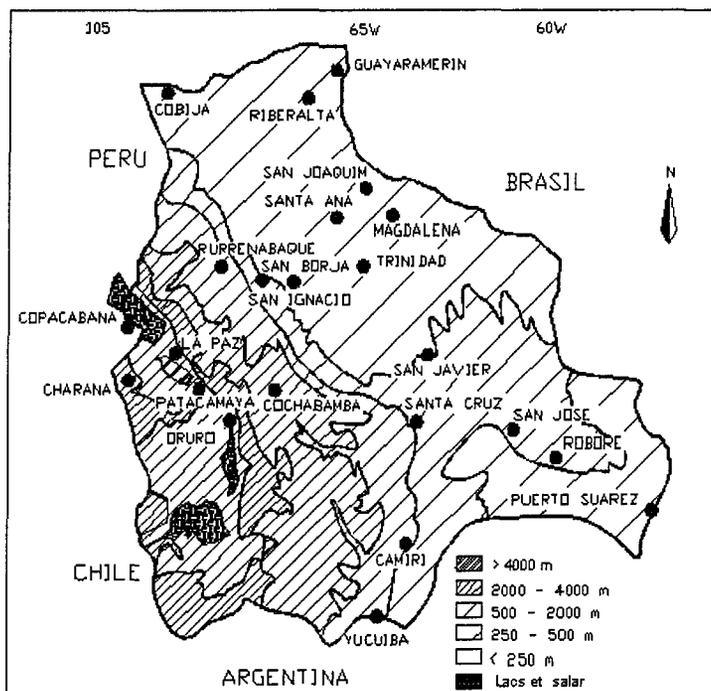


Fig. 1 - Topographie de la Bolivie et localisation des stations pluviométriques.

Les données mensuelles ont été totalisées sur des périodes de 4 mois ; en effet, il nous a paru souhaitable de nous affranchir, pense-t-on, des temps de latence qui peuvent exister entre circulation sur le Pacifique et précipitations sur le continent, en intégrant les résultats pluviométriques sur des 'saisons' : première partie de la saison des pluies, de septembre à décembre (SOND), deuxième partie de janvier à avril (JFMA) et saison sèche de mai à août (MJJA).

Pour définir les phases ENSO et LNSO, l'indice d'OA (IOA), différence de pression mensuelle centrée et réduite (1950-1993, source : Mitchell@atmos.washington.edu) entre Tahiti et Darwin, a été moyenné sur les mêmes périodes de 4 mois. Les phases négatives (ou ENSO) sont celles pour lesquelles l'IOA moyenné sur 4 mois est inférieur à -0,5 ; les phases positives (ou phase LNSO) sont celles pour lesquelles l'IOA est supérieur à 0,5. Après ce premier tri, ne sont définitivement retenus (tab. 1) que les mois appartenant aux années le plus souvent citées par les auteurs (notamment Ropelewski & Halpert, 1996) .

Tableau 1 - Années ENSO et LNSO en hiver (mai à août), septembre à décembre (SOND) et janvier à avril (JFMA).

Hiver Austral		SOND		JFMA	
ENSO	LNSO	ENSO	LNSO	ENSO	LNSO
1951	1950	1951	1950	1958	1950
1965	1955	1957	1955	1966	1956
1972	1956	1965	1956	1969	1971
1982	1971	1972	1970	1983	1974
1987	1973	1982	1971	1987	1975
1991	1974	1986	1973	1992	1976
1993	1975	1991	1975	1993	1989
1988	1992	1988			

2. PHASES DE L'OA ET PRÉCIPITATIONS

Les précipitations totalisées sur 4 mois et moyennées en phases ENSO et LNSO sont comparées aux précipitations moyennes de saisons 'normales': leurs différences sont testées par le test de comparaison de moyennes de Student. Les différences considérées comme significatives le sont en acceptant un risque d'erreur de 5% (test unilatéral). Les saisons 'normales' sont celles dont l'IOA moyen est compris entre Q1 et Q3, quartiles inférieurs et supérieurs des séries saisonnières.

Par ailleurs, deux groupes d'années sont constitués, celui des années 1950 et 1960 qui furent plus sèches et celui des années 1970 et 1980 qui furent plus pluvieuses dans la plaine comme dans les Andes (Ronchail, 1996). On rappelle qu'une rupture se produit entre 1971 et 1972 dans les Andes et entre 1972 et 1973 dans la plaine. Pour plus de commodité dans le reste du texte on parlera de la rupture de '1970'.

2. 1. ENSO et précipitations

En septembre-octobre-novembre-décembre (SOND), on peut relever une fréquence plus importante des excédents pluviométriques avant '1970', et l'inverse après '1970', mais pas de différences significatives entre années ENSO et normales.

En janvier-février-mars-avril (JFMA), le déficit pluviométrique dans les Andes est significatif dans 3 stations avant et après '1970' (Fig. 2A et 2B).

Le déficit dépasse un écart-type dans la majorité des stations et notamment en 1966, 1983, 1992 (Fig. 3). Mais, en 1958, les précipitations sont légèrement excédentaires dans 4 stations andines sur 6.

Dans la plaine, les écarts à la normale, plus souvent négatifs que positifs, ne sont pas significatifs en JFMA et les conditions pluviométriques varient beaucoup d'un événement à l'autre : comme dans les Andes, des déficits plus ou moins prononcés sont observés en 1966, 1969, 1987, 1993 mais, au contraire, les pluies furent localement excédentaires en 1958, 1983 et 1992 (Fig. 3).

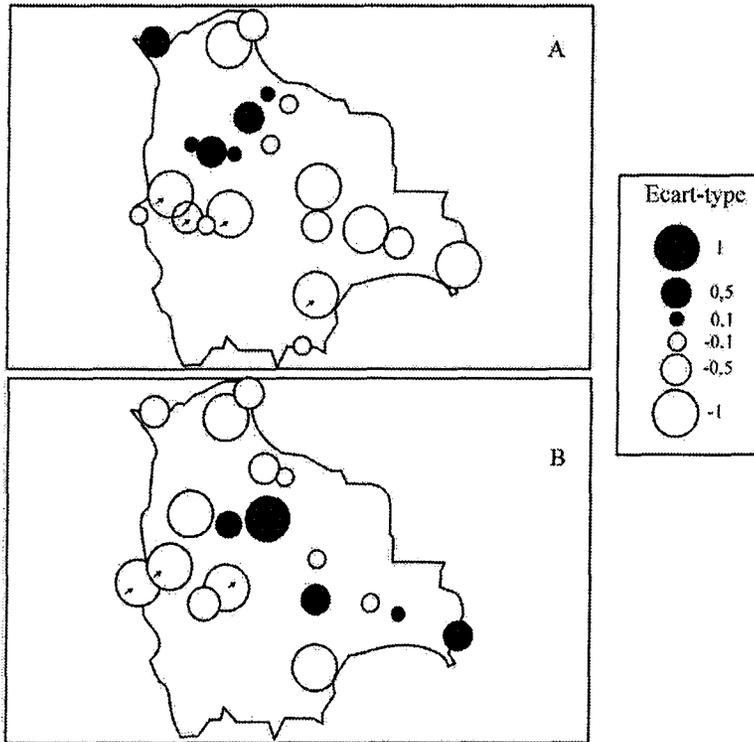


Fig. 2 - Moyennes des valeurs centrées et réduites de précipitations en phases ENSO de A) JFMA avant '1970', B) JFMA après '1970'. La standardisation est faite à partir des données de 1950-1970 ou 1973-1993, selon la période à laquelle appartient l'événement. Ne figurent pas sur les cartes les stations pour lesquelles manquent les données d'au moins un événement. Les stations signalées par une flèche ont des précipitations significativement différentes des précipitations 'normales' (voir définition dans le texte).

Durant la saison sèche, aucun écart à la normale n'est significatif. Dans les Andes l'hiver ENSO peut être tantôt sec (1965, 1982), tantôt pluvieux (1987, 1993). Dans la plaine aussi, la variabilité spatiale et temporelle des précipitations est très forte ; on relève des pluies abondantes en 1972 et 1982.

2. 2. LNSO et précipitations

En SOND les écarts à la normale ne sont pas significatifs.

En JFMA (Fig. 4A) et durant la saison sèche (Fig. 4B), les anomalies sont souvent négatives dans le centre et le sud de la plaine, après '1970'. Les déficits de JFMA sont significatifs après '1970' dans 4 stations du sud et ceux de MJJA le sont dans 4 stations du centre de la plaine, mais en partie à cause des forts déficits de l'hiver 1988 (50 à 80% de pluies en moins contre -10 à -40% les autres années).

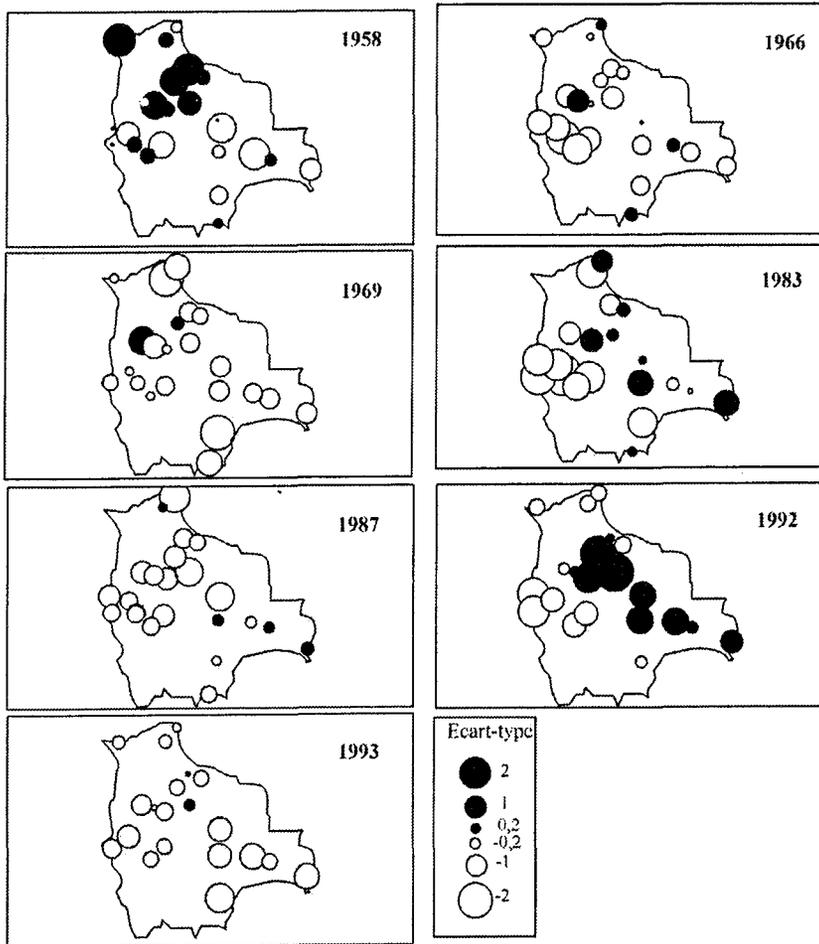


Fig. 3 - Précipitations centrées et réduites des événements ENSO, en JFMA, de 1950 à 1993. La standardisation est faite à partir des données de 1950-1970 ou 1973-1993, selon la période à laquelle appartient l'événement.

Dans les Andes, les anomalies positives de MJJA après '1970', non significatives sauf à Charana, sont essentiellement liées aux très fortes pluies de l'hiver 1974.

Les différences de pluviométrie entre années ENSO et LNSO sont significatives en JFMA, dans les Andes où, après '1970', il pleut moins en phase ENSO, et dans deux stations du sud de la plaine (Yacuiba et Santa Cruz) où il pleut moins en phase LNSO.

2. 3. Conclusion

2. 3. 1. *Les anomalies pluviométriques significatives et présentant une certaine cohérence spatiales* sont les suivantes :

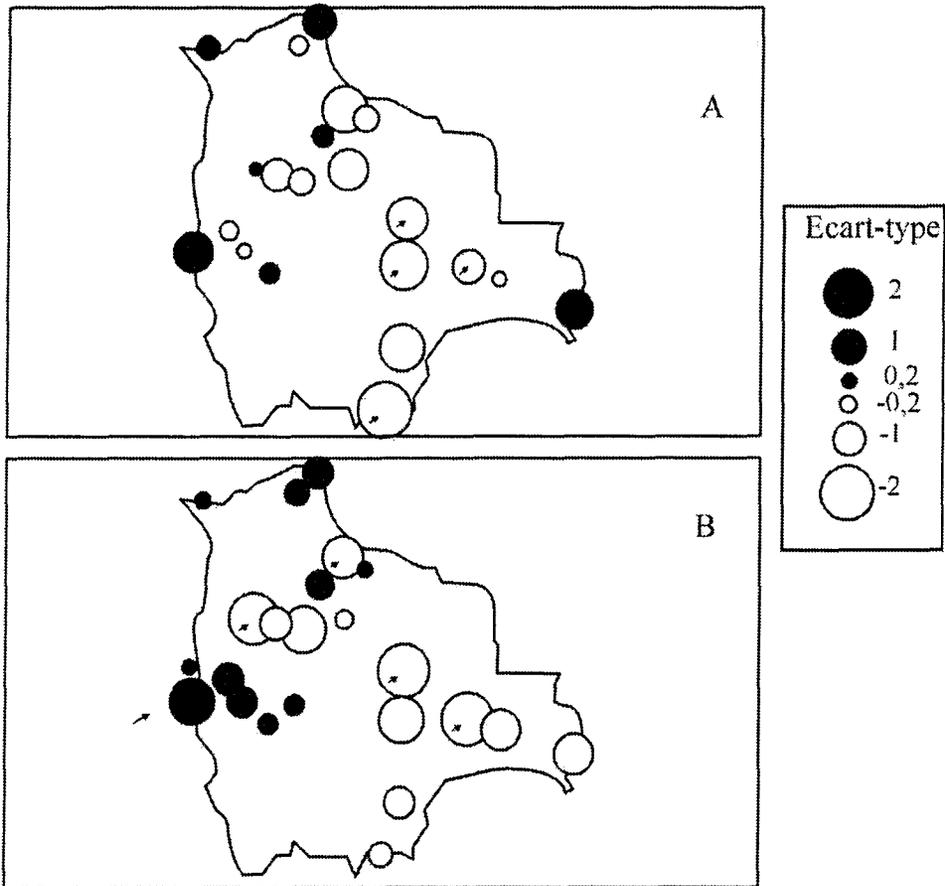


Fig. 4 - Même légende que pour la figure 2, mais en phases LNSO et A) en JFMA, B) en MJJA.

- les déficits pluviométriques dans les Andes en seconde partie de la saison des pluies (JFMA), en phase ENSO, avant et surtout après '1970' quand se produisent les forts événements de 1983 et 1992. Il ne s'agit ici que d'une confirmation de résultats déjà connus, cohérents avec la réduction de la convection sur le bassin amazonien et un affaiblissement des alizés de nord-est (Aceituno, 1988).

-en phase LNSO, après '1970', les déficits pluviométriques en JFMA dans 4 stations du sud de la plaine et ceux d'hiver dans 4 stations du centre de la plaine.

Cette dernière anomalie fait penser que la plaine, au moins dans ses parties centrale et méridionale, se comporte de façon similaire au sud-est de l'Amérique du Sud même si Pisciotano *et al.* (1994) décrivent des déficits d'octobre à décembre en années LNSO.

On remarque l'existence d'anomalies significatives surtout après '1970', sans doute à cause de l'existence d'événements de forte intensité.

2. 3. 2. *Mais, une forte variabilité des précipitations entre événements de même signe* reste la règle. Elle se double d'une variabilité spatiale lors de chaque événement, entre les Andes et les llanos mais aussi à l'intérieur de chacun de ces domaines.

Ainsi, par exemple, dans les Andes (Fig. 3), en phase ENSO, le déficit moyen est de 30% en JFMA (moins 100 mm environ sur un total moyen avoisinant 300 mm). Ce déficit est relativement régulier à La Paz et Cochabamba, mais très variable à Charana ou Patacamaya où les déficits furent faibles en 1969 (-16 et -11%) mais beaucoup plus forts en 1983 (-87 et -73%). C'est pendant ce dernier événement que sont enregistrés les déficits les plus importants (plus de 50% de pluies en moins dans toutes les stations) suivis de près par ceux de 1992.

Dans le sud de la plaine, en phase LNSO, les déficits de JFMA tendent à décroître du sud vers le nord, de Yacuiba qui perd la moitié de ses pluies (environ 400 mm sur 950), à Camiri et Santa Cruz qui perdent environ un tiers des pluies habituelles (200 mm sur 600) et San Javier qui n'enregistre qu'un déficit de 15%. Ces déficits sont relativement réguliers, mais en 1989, notamment, ils ne sont mesurés qu'à l'extrême sud du pays (Yacuiba et Camiri).

3. PRÉCIPITATIONS EXTRÊMES ET PHASES DE L'OA

En JFMA, dans les Andes, les années les plus sèches, notamment après '1970', sont souvent des années ENSO, mais pas exclusivement (Tab. 2) ; à La Paz notamment, parmi les 5 années les plus sèches (aux précipitations inférieures au quartile inférieur, Q1) après '1970', 3 sont des années ENSO, une est une année LNSO (avec un IOA supérieur à 1) et une année est considérée comme normale (1980, avec un IOA égal à -0,24).

Les années les plus pluvieuses (aux précipitations supérieures au quartile supérieur, Q3) par contre, sont dans la majorité des cas des années normales ou des années LNSO (1974, 1975) mais jamais des années ENSO.

Donc dans les Andes, une année ENSO peut avoir des pluies déficitaires ou des pluies moyennes mais n'a jamais donné de pluies supérieures à Q3, avant ou après '1970'.

En JFMA, dans le sud de la plaine (Tab. 3), les pluies des années LNSO, pourtant significativement inférieures à celles des années normales, ne sont pas souvent inférieures à Q1, sauf à Santa Cruz et Yacuiba.

En MJJA, dans le centre de la plaine, les pluies en phase LNSO sont souvent inférieures à la médiane et celles de phases ENSO souvent supérieures à la médiane.

Tableau 2 - Précipitations triées (en millimètres) de Janvier-Février-Mars-Avril (JFMA), après '1970', dans les stations andines.

Charana	Cocha-bamba	Copacabana	La Paz	Oruro	Patacamaya						
Préc. Année											
34	1983	171	1983	238	1990	155	1983	138	1980	70	1983
66	1992	171	1980	255	1992	216	1992	148	1992	159	1989
102	1990	187	1990	286	1983	218	1980	165	1991	165	1977
148	1981	202	1992	306	1991	229	1993	168	1983	170	1990
159	1980	216	1987	317	1989	241	1989	171	1973	175	1991
165	1991	219	1989	394	1987	258	1982	172	1986	178	1992
188	1993	225	1977	409	1980	275	1976	203	1989	210	1973
198	1987	240	1973	442	1988	275	1987	203	1990	213	1987
218	1985	260	1991	479	1982	290	1991	244	1987	223	1980
226	1988	279	1993	552	1977	307	1990	251	1993	245	1976
231	1977	324	1981	558	1985	328	1973	263	1978	246	1978
248	1979	335	1988	564	1986	339	1978	289	1977	265	1986
263	1982	345	1975	590	1974	353	1986	305	1988	285	1981
267	1989	350	1974	609	1979	359	1985	306	1976	288	1974
275	1976	357	1985	626	1978	376	1977	310	1982	302	1982
284	1978	358	1986	670	1976	378	1974	325	1981	329	1975
315	1986	385	1978	707	1975	391	1975	340	1979	344	1988
342	1975	426	1979	709	1981	394	1981	358	1974	348	1985
383	1973	437	1982	726	1973	404	1979	438	1975	357	1984
392	1974	498	1984	978	1984	474	1988	514	1985	400	1979
397	1984		1976		1993	577	1984	537	1984		1993

Années ENSO



Années LNSO



Donc, à quelques exceptions près, les pluies extrêmes, notamment les plus faibles, sont indépendantes de la valeur de l'IOA puisqu'elles peuvent se produire aussi bien en années normales, qu'en années ENSO ou LNSO.

4. CONCLUSIONS

Quelques régularités apparaissent en Bolivie lors des deux phases de l'OA : hormis les déficits andins en JFMA ENSO déjà connus, ce sont, après '1970' et moins

Tableau 3 - Précipitations triées (en millimètres) de Janvier-Février-Mars-Avril (JFMA), après '1970', dans les stations du Sud des Llanos.

San Javier		Santa Cruz		San José		Camiri		Yacuiba	
Préc.	Année	Préc.	Année	Préc.	Année	Préc.	Année	Préc.	Année
384	1973	243	1973	314	1973	225	1983	300	1975
505	1993	332	1976	316	1978	232	1993	474	1976
526	1987	378	1990	342	1993	245	1990	505	1989
537	1990	402	1975	363	1976	245	1991	520	1977
548	1975	417	1974	465	1975	309	1989	656	1978
574	1991	419	1993	466	1990	364	1975	677	1973
578	1976	518	1984	477	1977	405	1988	736	1987
615	1988	537	1988	494	1987	422	1977	751	1974
632	1984	588	1978	509	1983	469	1976	813	1990
650	1978	633	1985	539	1989	495	1978	948	1991
654	1974	669	1989	542	1980	496	1985	972	1980
762	1989	676	1980	578	1986	512	1973	1067	1983
784	1979	723	1979	601	1974	519	1974	1112	1986
788	1983	750	1987	633	1991	525	1992	1226	1988
824	1986	771	1991	662	1985	556	1987	1240	1982
880	1977	838	1982	705	1984	617	1979	1253	1981
882	1985	854	1981	705	1988	635	1980	1293	1979
987	1981	919	1983	744	1979	931	1981	1478	1985
1015	1992	960	1977	785	1981	943	1984	1664	1984
1050	1980	968	1986	796	1982	975	1982		1992
1066	1982	1033	1992	799	1992		1986		1993

Années ENSO 

Années LNSO 

systématiquement, les déficits du sud de la plaine en JFMA LNSO et ceux du centre de la plaine en MJJA LNSO.

Ces résultats appellent quelques remarques :

- les déficits pluviométriques sont les seules anomalies significatives ;
- les anomalies significatives sont plus fréquentes après '1970' ;
- les phases opposées de l'OA ne génèrent pas les anomalies pluviométriques opposées attendues ;
- les anomalies significatives sont différentes dans les Andes et la plaine, ce qui est le reflet de circulations atmosphériques différentes, pour partie, dans ces deux

domaines. Le sud et le centre de la plaine se rattachent en phase LNSO au sud-est du continent tandis que les Andes se rattachent, en phase ENSO, au nord du continent.

Mais, comme l'ont fait apparaître Tapley & Waylen (1990), Aceituno & Montecinos (1992), etc..., ce travail montre aussi que les précipitations en Bolivie lors des deux phases de l'Oscillation Australe du Pacifique, sont très variables dans le temps et dans l'espace. Ceci est confirmé par le fait que des analyses sur des lots de stations et d'événements différents ne donnent des résultats qu'en partie similaires (Ronchail, 1995).

Enfin, si la sécheresse est souvent associée à l'ENSO dans les Andes, à LNSO dans la plaine, elle peut aussi se produire en année 'normale' ou LNSO.

Cette constatation et l'analyse du risque inverse — l'excédent d'eau — impliquent le recours à des facteurs explicatifs complémentaires ou différents de l'OA.

Références citées

- ACEITUNO, P., 1988 - On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector Part 1 : surface climate. *Mon Wea. Rev.*, **116** : 505-524
- ACEITUNO, P. & MONTECINOS, A., 1992 - Análisis de la estabilidad de la relación entre la oscilación del sur y la precipitación en América del Sur. in. *'Paleo ENSO records' Intern. Symp. Extended Abstracts* (L. Ortlieb & J. Macharé Eds.) : 7-13, Lima : ORSTOM-CONCYTEC, march 1992
- ACEITUNO, P. & GARREAUD, R., 1995 - Impacto de los fenómenos El Niño y la Niña en regímenes pluviométricos andinos *Revista de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica*, **10** : 33-43
- CAVIEDES, C N, 1984 - El Niño 1982-83. *Geogr Rev.*, **74** : 268-290.
- CAVIEDES, C. N. & WAYLEN, P R, 1991 - Chapters for a climatic History of South America. *Freiburger Geographische Hefte*, **32**: 149-180, "Beiträge zur regionalen und angewandten klimatologie" ; Fribourg.
- FRANCOU, B. & PIZARRO, L., 1985 - El niño y la sequía en los altos Andes Centrales: Perú y Bolivia *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, **14(1-2)** : 1-18.
- KOUSKY, V E, KAGANO, M.T. & CAVALCANTI, I F.A., 1984 - A review of the Southern Oscillation. oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies *Tellus*, **36A** : 490-504.
- PISCIOTTANO, G, DIAZ, A., CAZES, G & MECHOSO, C.R, 1994 - El Niño-Southern Oscillation impact on rainfall in Uruguay. *J. of Climate*, **7** : 1286-1302.
- RONCHAIL, J., 1989 - Advections polaires en Bolivie . mise en évidence et caractérisation des effets climatiques. *Hydrol. Continent.*, **4** : 49-56.
- RONCHAIL, J, 1995 - Variabilidad interanual de las precipitaciones en Bolivia. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, **24** : 369-378.
- RONCHAIL, J. 1996 - Variabilité pluridécennale des précipitations en Bolivie Essai de mise en relation avec les températures de surface océaniques de l'Atlantique extra-tropical. *Publ. Assoc Intern. Clim N(?)* : 504-511.
- ROPELEWSKI, C.F. & HALPERT, M S., 1987 - Global and regional scale precipitation patterns associated with El-Niño Southern Oscillation *Mon. Wea. Rev.*, **115** : 1606-1626

-
- ROPELEWSKI, C.F. & HALPERT, M.S., 1996 - Quantifying Southern Oscillation-Precipitation Relationships. *J. of Climate*, **9** : 1043-1059.
- TAPLEY, T.D. & WAYLEN, P.R., 1990 - Spatial variability of annual precipitation and ENSO events in western Peru. *Jour. des Scien. Hydrol.*, **35** : 429-446.
- THOMPSON, L.G., MOSLEY-THOMPSON, E. & ARNAO, B., 1984 - El Niño-Southern Oscillation events recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya ice cap, Peru. *Science*, **226** : 50-53.