



Bulletin de l'Institut français d'études andines  
ISSN: 0303-7495  
secretariat@ifea.org.pe  
Institut Français d'Études Andines  
Organismo Internacional

Rome-Gaspaldy, Sandra; Ronchail, Josyane  
La pluviométrie au Pérou pendant les phases ENSO et LNSO  
Bulletin de l'Institut français d'études andines, vol. 27, núm. 3, 1998  
Institut Français d'Études Andines  
Lima, Organismo Internacional

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12627330>

- ▶ How to cite
- ▶ Complete issue
- ▶ More information about this article
- ▶ Journal's homepage in redalyc.org

## LA PLUVIOMÉTRIE AU PÉROU PENDANT LES PHASES ENSO ET LNSO

*Sandra ROME-GASPALDY* \*, *Josyane RONCHAIL* \*\*\*

### Résumé

Les données mensuelles (1960-1990) de précipitations de 21 stations situées dans les trois domaines physiques du Pérou (côte, Andes et plaine amazonienne) sont analysées lors des phases ENSO et LNSO de l'Oscillation Austral du Pacifique. Ce n'est qu'à Piura, dans la région côtière du Nord, que les excédents sont significatifs en phase ENSO (test de Kolmogorov-Smirnov) mais les volumes précipités sont très différents d'un événement à l'autre. Ailleurs, n'apparaît pas de différence significative entre les pluies des phases ENSO (ou LNSO) et celles des périodes normales.

Toutefois, la pluviométrie est souvent déficitaire dans les Andes en phase ENSO ; en période LNSO, elle est également déficitaire au Sud des Andes, mais plus souvent excédentaire au Nord. Dans la plaine amazonienne, la variabilité spatio-temporelle est trop importante lors des deux phases pour que soit esquissé un comportement général.

**Mots-clés :** *OA, ENSO, LNSO, précipitations, Pérou.*

## LA PLUVIOMETRÍA EN EL PERÚ DURANTE LAS FASES ENSO Y LNSO

### Resumen

Los datos mensuales (1960-1990) de precipitación de 21 estaciones ubicadas en la Costa, la Sierra y la Selva de Perú son estudiados durante las fases ENSO y LNSO de la Oscilación del Sur del Pacífico. Las lluvias de Piura, en el norte de la Costa, son las únicas que presentan excesos significativos (test de Kolmogorov-Smirnov) durante la fase ENSO; pero los volúmenes cambian mucho de un evento a otro. No hay, en otros lugares, diferencia significativa entre las lluvias de las fases ENSO (o LNSO) y las lluvias de años normales.

Pero, muchas veces, la pluviosidad es deficitaria en los Andes durante los ENSO; durante los eventos LNSO, las lluvias son también deficitarias en los Andes del Sur, pero más veces hay excesos en el Norte. En la Selva Amazónica, la variabilidad espacio-temporal es demasiado grande para dibujar un comportamiento general.

**Palabras claves:** *OA, ENSO, LNSO, precipitación, Perú.*

\* Université Paris 7 - Denis Diderot, UFR GHSS, Case courrier 7001, 2 place Jussieu, 75251 PARIS CEDEX 05.

\*\* LMD-CNRS, École Polytechnique, 91128 PALAISEAU.

## RAINFALL IN PERU DURING THE ENSO AND LNSO PHASES

### Abstract

Monthly rainfall data (1960-1990) taken from 21 stations in three separate areas of Peru (the coast, the Andes and the Amazonian Plain) are analyzed during the ENSO and LNSO phases of the Pacific Southern Oscillation. Only at Piura, in the Northern coastal region of Peru, are high rainfall amounts significant during the ENSO phase (using the Kolmogorov-Smirnov test) but the rainfall amounts are very different from one event to another. In other areas, the differences between the ENSO (and the LNSO) phases and the normal periods are not significant.

Nevertheless, rainfall is often lower in the Andes during the ENSO. It is equally lower during the LNSO period in the Southern Andes but more often higher in the north. On the Amazonian Plain, the spatio-temporal variability is too important to allow us to identify a general pattern.

**Key words:** *Southern Oscillation, ENSO, LNSO, rainfall, Peru.*

### 1. INTRODUCTION – OBJECTIFS

Dans le cadre d'un travail plus général consacré à l'analyse des relations entre la variabilité pluviométrique et les fluctuations de la production agricole au Pérou, on recherche les liens entre l'Oscillation Australe (OA) du Pacifique et les précipitations dans les trois domaines physiques du Pérou : côte, Andes et plaine amazonienne.

On sait que la phase El Niño Southern Oscillation (ENSO) est associée à des précipitations anormalement intenses sur la côte Nord du Pérou (Caviedes, 1975 ; 1976 ; Aceituno, 1988 ; Aceituno & Garreaud, 1995), provoquant la crue des fleuves (Caviedes, 1987) tandis que l'altiplano péruano-bolivien est caractérisé par des anomalies négatives de précipitations (Thompson *et al.*, 1986 ; Francou & Pizarro, 1986 ; Tapley & Waylen, 1990 ; Aceituno & Garreaud, 1995).

Les effets de la phase positive de l'OA ou phase LNSO (La Niña-Southern Oscillation) sur les précipitations au Pérou sont moins étudiés que ceux de l'ENSO. Néanmoins, Aceituno & Garreaud (1995) ne mesurent pas de différences significatives du niveau du Lac Titicaca entre les phases LNSO et les années normales.

Des informations manquent quant aux relations entre les deux phases de l'OA et les précipitations sur l'Amazonie péruvienne.

Aussi, nous proposons-nous d'analyser les relations entre précipitations dans les trois domaines du Pérou et les deux phases de l'OA. On utilise, d'une part, les données mensuelles de précipitations (1960-1990) de 9 stations côtières, 7 stations andines et 5 stations de plaine amazonienne (Fig. 1 et Tab. 1) pour essayer de reconstituer les précipitations d'événements ENSO et LNSO moyens par analyse composite.

D'autre part, on utilise les données annuelles hydrologiques (de septembre de l'année A, année de début de l'événement, à août de l'année A+1) des 21 stations pour représenter la variabilité des précipitations entre les événements.

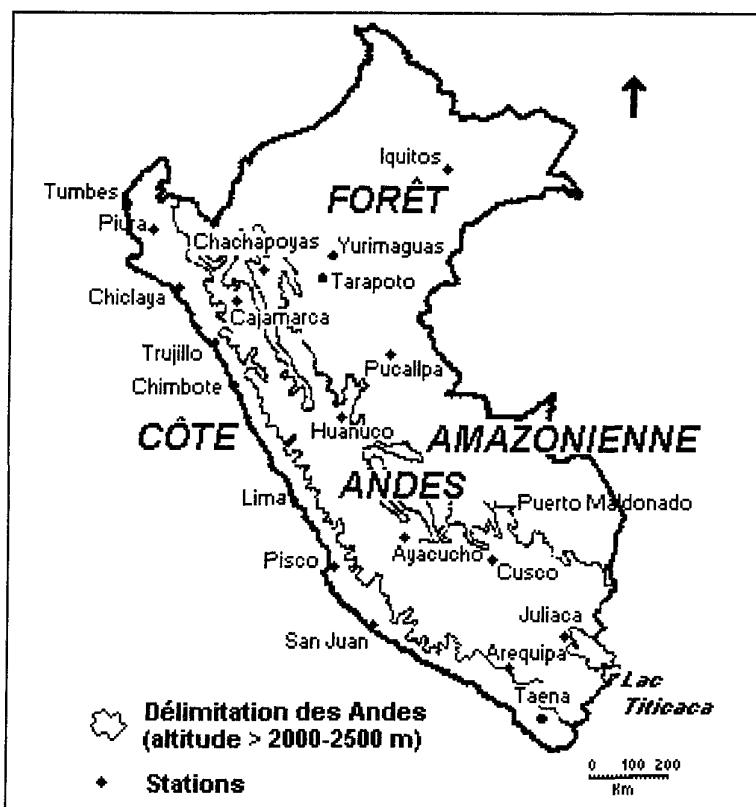


Fig. 1 - Réseau pluviométrique. Les régions d'altitude supérieure à 2 000 mètres sur le versant Pacifique et 2 500 mètres sur le flanc oriental des Andes, sont grisées.

## 2. RECONSTITUTION D'ÉVÉNEMENTS ENSO ET LNSO MOYENS

Les stations sont regroupées en 6 domaines caractérisés par des volumes et des régimes pluviométriques similaires (Fig. 2). La saison des pluies de la côte Nord a lieu de janvier à avril (maximum en février et mars), alors que plus au Sud, les traces de pluie sont relevées en août et septembre. Les régimes pluviométriques sont sensiblement les mêmes dans les Andes et dans la plaine. Les pluies maximales dans les Andes sont enregistrées entre décembre et avril, avec un maximum de mars au Nord, de février au Sud et sur l'altiplano. Les précipitations amazoniennes les plus intenses se produisent généralement de septembre à avril avec un maximum d'automne austral (mars- avril) au Nord et d'été (décembre à février) au Sud. Les volumes de précipitations vont en diminuant de la plaine amazonienne à la côte Pacifique.

Les épisodes ENSO et LNSO sont déterminés par Rome-Gaspaldy & Ronchail (1996) après calcul d'un indice d'oscillation austral (IOA) qui est la différence trimestrielle de pression de surface entre Tahiti et Darwin pour la période 1960-1993.

On parle de phases ENSO (LNSO) lorsque la différence de pression trimestrielle est supérieure (inférieure) ou égale à un écart-type (soit environ 10 hPa) pendant au moins deux trimestres consécutifs.

Tableau 1 - Altitude et Localisation des stations.

	<i>Stations</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Altitude</i>
C	TALAR	-4,57	-81,25	85 m
	PIURA	-5,18	-80,6	49 m
	CHICLAYO	-6,78	-79,83	28 m
Ô	TRUJILLO	-8,1	-79,03	26 m
	CHIMBOTE	-9,17	-78,52	20 m
T	LIMA-CALLAO/AE	-12,1	-77	13 m
	PISCO	-13,75	-76,28	6 m
E	SAN JUAN	-15,38	-75,17	59 m
	TACNA	-18,07	-70,3	452 m
A	CHACHAPOYAS	-6,22	-77,83	2435 m
	CAJAMARCA	-7,13	-78,47	2620 m
	HUANUCO	-9,9	-75,75	1859 m
	AYACUCHO	-13,13	-74,22	2740 m
	CUZCO	-13,55	-71,98	3248 m
	JULIACA	-15,48	-70,15	3826 m
	AREQUIPA	-16,32	-71,55	2524 m
F	IQUITOS	-3,75	-73,25	125 m
O	YURIMAGUAS	-5,9	-76,08	179 m
R	TARAPOTO	-6,45	-76,38	281 m
Ê	PUCALLPA	-8,42	-74,6	148 m
T	PTO MALDONADO	-12,63	-69,2	265 m

Ainsi, on dénombre de 1960 à 1990, 5 événements ENSO qui sont ceux de juillet 1965 à mars 1966, avril 1972 à mars 1973, avril 1977 à mars 1978, avril 1982 à mars 1983 et octobre 1986-septembre 1987. L'événement de 1968-1969 n'est pas retenu car l'indice calculé est inférieur au seuil retenu (un écart-type). On compte 4 épisodes LNSO : octobre 1970 à décembre 1971, juillet 1973 à mars 1974, juillet 1975 à mars 1976 et juillet 1988 à juin 1989. Ces périodes ENSO et LNSO d'inégales durées et intensités correspondent, à un ou deux mois près, à celles retenues par d'autres auteurs (Rogers, 1988 ; Ropelewski & Halpert, 1987 ; Waylen *et al.*, 1994).

Les données mensuelles des précipitations sont composées de janvier de l'année A de début de l'événement à décembre de l'année A+1. Les pluies centrées et réduites de tous les événements de chaque signe et de toutes les stations sont moyennées par domaine. Les précipitations des stations amazoniennes du Nord et du Sud sont composées dans un seul ensemble faute de données suffisantes pour le sud du bassin. Les données de la côte aux distributions très dissymétriques ne sont pas composées, mais on calcule la fréquence des précipitations mensuelles (de septembre A à août A+1), dans les deux régions (côte Nord et côte Sud), lors des deux phases de l'OA et en années normales (sans ENSO ni LNSO).

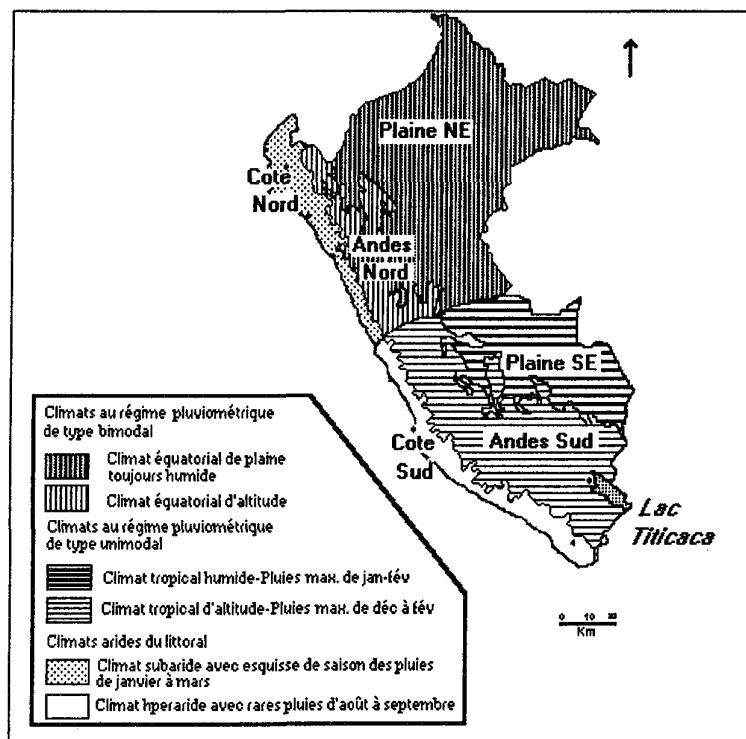
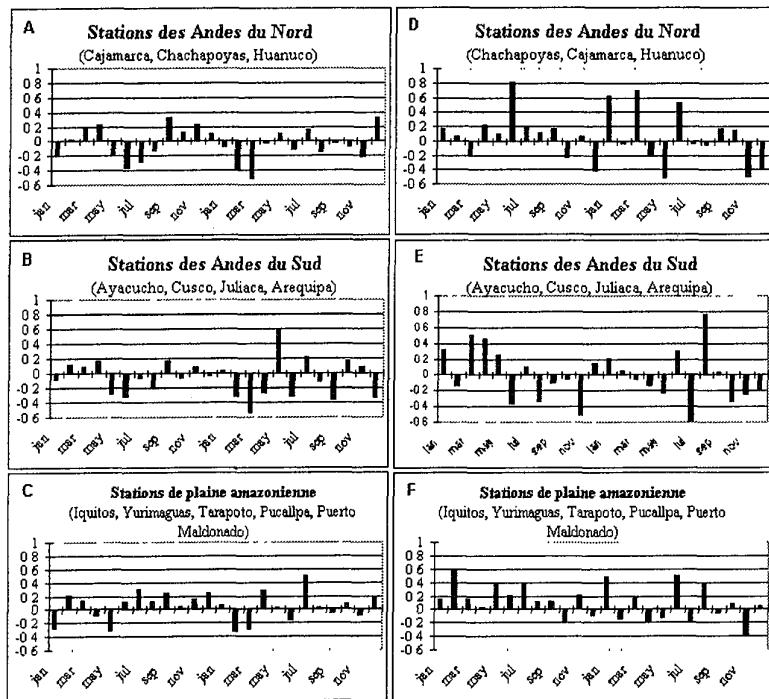


Fig. 2 - Les régions climatiques du Pérou.

### 3. LES PRÉCIPITATIONS MENSUELLES LORS DES PHASES CHAude ET FROIDE DE L'OA

#### 3. 1. Les précipitations mensuelles en phase ENSO

L'analyse composite des précipitations mensuelles centrées réduites recueillies lors des événements ENSO (Fig. 3) montre que les pluies de février A+1 et mars A+1 des stations andines du Nord et du Sud (Fig. 3a et 3b) sont légèrement déficitaires (-0,4 à -0,6 écart-type) en années ENSO. Dans la plaine amazonienne (Fig. 3c) les anomalies sont similaires mais encore plus faibles.



**Fig. 3 - Précipitations mensuelles centrées réduites composées, de janvier de l'année A de début de l'événement à décembre de l'année A+1 de fin de l'événement, en périodes ENSO (1965-1966, 1972-1973, 1977-1978, 1982-1983, 1986-1987) pour a) les stations des Andes du Nord, b) les stations des Andes du Sud, c) les stations de plaine amazonienne et en périodes LNSO (1970-1971, 1973-1974, 1975-1976, 1988-1989), pour d) les stations des Andes du Nord, e) les stations des Andes du Sud, f) les stations de la plaine amazonienne.**

Mais dans ces deux domaines, les précipitations en phase ENSO ne sont pas significativement différentes (Test de Student) des pluies enregistrées en années normales (ni ENSO, ni LNSO).

Les histogrammes de fréquence des précipitations de la côte indiquent qu'au Nord (Fig. 4b) les pluies sont dans la plupart des cas inférieures à 50 mm ou nulles ; dans 8 % des cas les précipitations sont supérieures à 200 mm et dans 8 autres % elles dépassent 500 mm. En revanche, sur la côte Sud (Fig. 4e), les pluies annuelles sont toujours inférieures à 50 mm.

Cependant, il n'existe pas de différence significative (test de Kolmogorov-Smirnov) entre les précipitations des années ENSO et celles des années normales (Fig. 4a et 4d), sauf à Piura où les fréquences de fortes précipitations (supérieures à 100 mm) sont significativement différentes, avec un risque d'erreur de 5%, des fréquences équivalentes en périodes normales (Fig. 5). On relève que ces fortes valeurs sont toutes mesurées en 1982-1983 (3 cas) et 1986-1987 (1 cas).

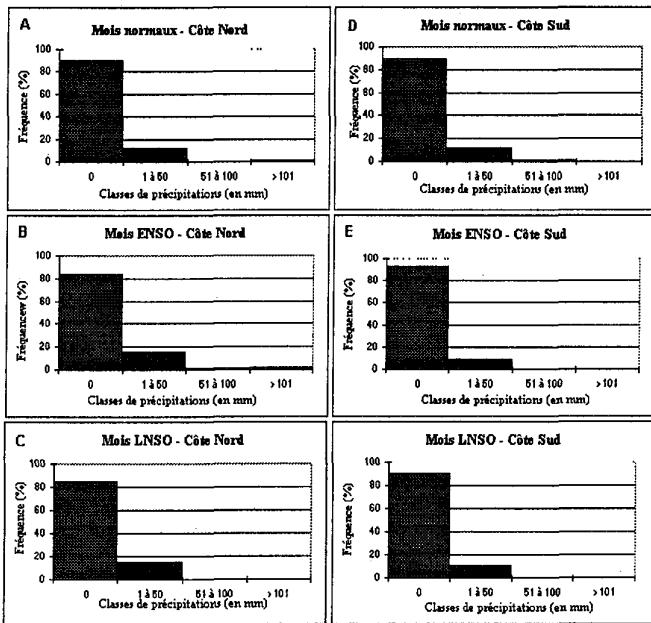


Fig. 4 - Distribution des précipitations mensuelles, de septembre A à août A+1, dans les stations de la côte nord (Talara, Piura, Chiclayo, Trujillo et Chimbote), a) tous mois normaux confondus, b) tous ENSO confondus, c) tous LNSO confondus ; dans les stations de la côte sud (Lima, Pisco, San Juan et Tacna) d) tous mois normaux confondus, e) tous ENSO confondus, f) tous LNSO confondus.

L'analyse des précipitations annuelles (septembre A - août A+1) qui intègrent les différences de régimes entre stations, est réalisée événement par événement (Fig. 6). Elle montre qu'il pleut généralement sur la côte Nord en phase ENSO mais les différences de volumes annuels d'un événement à l'autre sont extrêmement fortes. En effet, les précipitations enregistrées à Talara ont été nulles en 1965-1966 et 1977-1978, de 46 et 60 mm respectivement en 1972-1973 et 1986-1987 ; elles ont atteint 977 mm lors de l'événement de 1982-1983.

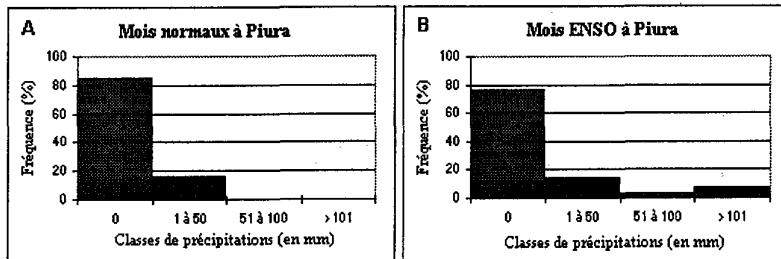


Fig. 5 - Distribution des précipitations mensuelles, de septembre A à août A+1, à Piura, a) tous mois normaux confondus, b) tous mois ENSO confondus.

Dans la partie méridionale de la côte Pacifique, les précipitations des années ENSO sont très faibles (inférieures à 10 mm) ou inexistantes sauf en 1972-1973.

Dans les Andes, les pluies sont généralement déficitaires, sauf en 1972-1973, et dans le Nord en 1982-1983, mais encore une fois les déficits sont variables d'un événement à l'autre ; ainsi, par exemple, le déficit est très faible à Cuzco en 1977-1978 (677 mm pour une moyenne annuelle de 707 mm) mais fort en 1982-1983 (582 mm soit un déficit de 18 %) ou en 1986-1987 (521 mm, soit 26 % de pluies en moins). Ces déficits sont aussi très variables dans l'espace au sein d'un même événement : à Juliaca, au sud-est de Cuzco, le pourcentage de pluies manquantes n'est que de 11 % en 1986-1987. Arequipa, station de vallée, voisine de la côte, a un comportement atypique, avec des excédents trois fois sur cinq.

Dans la plaine, la variabilité spatio-temporelle est importante. On relève les fortes et uniformes anomalies positives de 1972-1973, avec des excédents de 5 à 30% selon les lieux. En 1982-1983, par contre, des anomalies négatives prédominent dans le Nord, avec 21 % de déficit à Tarapoto, mais seulement 13 % à Yurimaguas ce qui représente néanmoins 272 mm de moins que la moyenne.

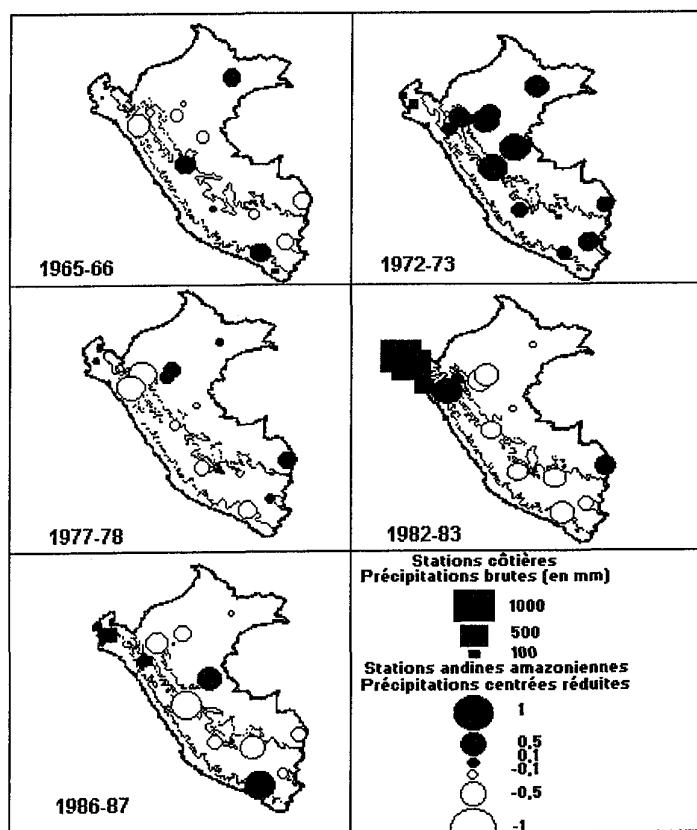


Fig. 6 - Précipitations en années ENSO.

### 3. 2. Les précipitations mensuelles en phase LNSO

L'analyse des événements LNSO montre encore une fois que les précipitations régionales en phase LNSO ne sont pas significativement différentes des pluies enregistrées en années normales (ni ENSO, ni LNSO).

On observe cependant que les Andes du Nord bénéficient de pluies excédentaires (supérieures à un demi écart-type) en janvier et en mars (Fig. 3d) ce qui n'est pas le cas dans les Andes du Sud (Fig. 3e).

Dans les stations amazoniennes les écarts à la moyenne sont très faibles et changent de signe chaque mois (Fig. 3f).

Sur la côte (Fig. 4c et 4f), les précipitations mensuelles sont généralement faibles, ne dépassant jamais 50 mm d'eau, comme en phase normale.

Les précipitations annuelles hydrologiques (septembre à août) lors de chaque épisode LNSO (Fig. 7) sont très variables dans le temps et dans l'espace. Sur la côte elles sont globalement faibles comme on pouvait s'y attendre et toujours inférieures à 100 mm y compris dans le Nord, mais elles ne sont pas nulles (sauf en 1975-1976 où la sécheresse est presque générale sur la côte).

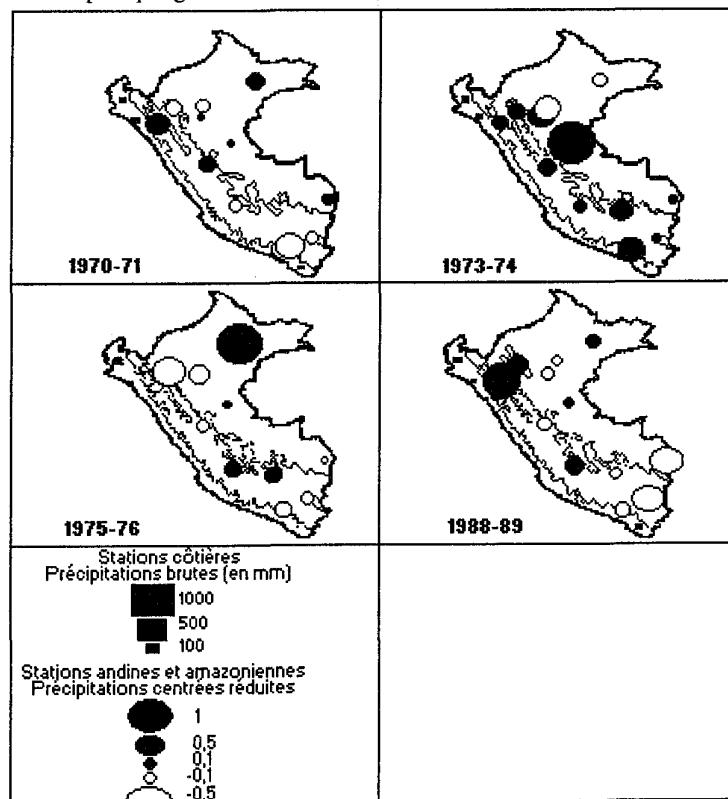


Fig. 7 - Précipitations en années LNSO.

Les précipitations des Andes septentrionales sont globalement excédentaires en 1970-1971, 1973-1974 et 1988-1989 ; Cajamarca reçoit environ 270 mm d'eau de plus que la moyenne en 1988-1989. Les pluies sont déficitaires en 1975-1976 ; le déficit pluviométrique est fort à Chachapoyas (moins 35 %) mais très faible à Cajamarca et à Huánuco (inférieur à 6 %).

Les Andes du Sud ont des précipitations souvent déficitaires, notamment en 1970-1971 et en 1988-1989. Cependant en 1973-74 les pluies sont excédentaires dans toutes les stations.

Dans la plaine on observe une très forte variabilité des pluies entre les événements, et dans l'espace au sein de chaque événement.

#### 4. CONCLUSIONS

La variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie au Pérou en phases positive et négative de l'OA est telle qu'il semble difficile de parler *d'effets pluviométriques* de cette oscillation. En effet, aucune différence significative n'existe entre pluviométrie des phases ENSO et LNSO et pluviométrie des périodes normales, sauf à Piura au Nord de la côte, en phase ENSO.

Rappelons que Tapley & Waylen, 1990 et Aceituno & Montecinos, 1992 mentionnaient déjà l'instabilité de la relation entre pluie et OA, au Pérou et en Amérique du Sud.

Cependant, certains excès ou déficits plus fréquents ou spectaculaires se dégagent.

Comme l'a souligné Caviedes (1976 ; 1987), il apparaît que les fortes, et surtout les très fortes, précipitations annuelles (supérieures à 500 mm) se sont produites en phase ENSO sur la côte Nord du Pérou pendant l'événement exceptionnel de 1982-1983, et pendant l'événement en cours de 1997-1998 ; elles ne caractérisent pas tous les épisodes ENSO. Ces très fortes précipitations, durant les trente ans étudiés, ne se sont jamais produites en phase LNSO ou en période "normale".

Au contraire, les phases chaudes de l'OA s'accompagnent, en général, d'une sécheresse d'été dans les Andes péruviennes, pas uniquement sur l'Altiplano péruvano-bolivien, mais du Nord au Sud des Andes.

Contrairement à ce qui était attendu, les phases LNSO aussi sont souvent associées à des déficits, notamment dans les Andes du Sud (trois fois sur quatre à Juliaca et Arequipa), alors que les précipitations des Andes septentrionales sont généralement renforcées en phase LNSO.

La région amazonienne ne semble pas réagir directement aux phases de l'Oscillation Australe du Pacifique, mais la faible densité des stations rend les conclusions difficiles. Dans ce domaine, le manque de données disponibles et de bonne qualité est, comme dans les Andes, un handicap à un travail plus approfondi. L'utilisation de données issues de modèles ou de satellites devraient permettre d'affiner ces résultats.

Enfin, on s'interroge sur les excédents généralisés qui se produisent au début des années 1970, aussi bien en phase ENSO (1972-1973) qu'en phase LNSO (1973-1974).

### Remerciements

Nous tenons à remercier Léna Sanders (CNRS, équipe P.A.R.I.S.) de ses suggestions en statistiques et Bertrand Duchiron, étudiant en thèse à Paris 7, de son aide pour l'extraction des données pluviométriques péruviennes du site Web du CDIAC/ORNL et pour la cartographie.

### 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 sur y la precipitación en América del Sur. in: 'Paleo ENSO records' Intern. Symp., Extended Abstracts (L. Ortílieb & 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 fluviométricos andinos. *Revista de la Sociedad chilena de Ingeniería Hidráulica*, Vol. **10**: 33-43.
- CAVIEDES, C.N., 1975 - El Niño 1972: its climatic, ecological, human, and economic implications. *The Geographical Review*, Vol. **65**: 493-509.
- CAVIEDES, C.N., 1976 - Geografía de "El Niño", 1972. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*, Tomo XCV: 15-29, Enero-Diciembre 1976.
- CAVIEDES, C. N. & WAYLEN, P. R., 1987 - El Niño y crecidas anuales en los ríos del norte del Perú. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, **XVI**(1-2): 1-19.
- FRANCOU, B. & PIZARRO, L., 1986 - El Niño et la sécheresse dans les hautes Andes centrales : étude d'une possible corrélation. *Les Cahiers d'Outre Mer*, **156**: 371-390.
- ROGERS, J.C., 1988 - Precipitation variability over the Caribbean and Tropical Americas associated with the Southern Oscillation. *J. Climate*, **1**: 172-182.
- ROME-GASPALDY, S. & RONCHAIL, J., 1996 - Fluctuations de la production et du rendement des céréales au Pérou et variabilité de l'Oscillation Australe. *Publications de l'Associat. Internat. Climato.*, **9**: 496-503
- 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.
- TAPLEY, T.D. JR. & WAYLEN, P.R., 1990 - Spatial variability of annual precipitation and ENSO events in western Peru. *Hydrological Sciences Journal*, **35**: 429-445.
- 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.
- WAYLEN, P. R. & CAVIEDES, C. N., 1990 - Annual and seasonal fluctuations of precipitation and streamflow in the Aconcagua River Basin, Chile. *Journal of Hydrology*, **120**: 79-102.
- WAYLEN, P.R., QUESADA, M. & CAVIEDES, C.N., 1994 - The effects of El Niño-Southern Oscillation on precipitation in San José, Costa Rica. *Int. J. Of Climate*, **14**: 559-568.