

# RELATIONS ENTRE LA PLUVIOMÉTRIE MENSUELLE D'OCTOBRE A DECEMBRE EN AFRIQUE DE L'EST ET L'INDICE D'OSCILLATION AUSTRALE

## RELATIONS BETWEEN MONTHLY OCTOBER-DECEMBER RAINFALL IN EASTERN AFRICA AND THE AUSTRAL OSCILLATION INDEX

Par G. BELTRANDO\* et B. DUCHIRON\*

### RESUME

La structuration spatiale de la pluviométrie saisonnière sur la façade orientale de l'Afrique (Est du 28°E, 15°N-19°S) soumise à l'alternance des moussons ainsi que les téléconnexions entre cette pluviométrie et plusieurs indicateurs de la circulation océano-atmosphérique sont aujourd'hui bien établies, en particulier pour la petite saison des pluies (octobre-décembre). Mais, les relations à l'échelle mensuelle entre la pluviométrie et les événements extrêmes de la circulation océano-atmosphérique du Pacifique sont moins bien précisées.

Les données mensuelles de précipitations de 79 stations et celles d'un Indice d'Oscillation Australe (IOA = différence de pression Tahiti - Darwin), sont analysées sur la période 1953-85. Nous présentons ici les résultats d'une classification ascendante hiérarchique de la pluviométrie d'octobre-décembre, puis nous montrons les relations entre la pluviométrie mensuelle de cette saison et les phases extrêmes des anomalies océano-atmosphérique du Pacifique.

Les événements ENSO (El Niño/Southern Oscillation), pour lesquels IOA est fortement négatif, correspondent toujours à des anomalies positives de la pluviométrie, surtout en novembre sur le Kenya, l'Ouganda ainsi que le centre et le nord de la Tanzanie (5°N-10°S). En octobre, les corrélations entre l'ENSO et la pluviométrie du sud de la Corne sont aussi significatives mais moins systématiques dans l'intérieur de la Somalie. En décembre, au sud du domaine (8 à 19°S), les liaisons sont peu évidentes. Dans quelques cas, la pluviométrie est aussi excédentaire, sur l'Afrique orientale, sans qu'il y ait d'événement ENSO. A l'opposé, pour les événements LNSO (La Niña/Southern Oscillation), la pluviométrie est fortement déficitaire, surtout en novembre sur le Kenya, l'Ouganda ainsi que le centre et le nord de la Tanzanie (5°N-10°S). Mais la saison octobre-décembre peut être aussi fortement déficitaire sans qu'il y ait d'événement LNSO.

**Mots-clés :** Afrique de l'Est, ENSO, LNSO, "petite saison des pluies", Variabilité des précipitations.

**Key-words :** East Africa, ENSO, LNSO, Short rain season, Rainfall variability

U.F.R. G.H.S.S. (c.c. 7001), Université Denis Diderot, 2 place Jussieu, 75251 Paris Cedex 05 (France)

\* et Laboratoire de Météorologie Dynamique du CNRS, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex (France)

### ABSTRACT

The spatial distribution of seasonal rainfall on the eastern facade of the African continent (East of 28°E, 15°N-19°S), subject to alternating monsoon systems and global teleconnections with several indicators of ocean-atmospheric circulation, is now well understood, particularly for the short rain season (October to December). However, the relations at the monthly scale between rainfall and extreme events of Pacific ocean-air circulation remain far less well understood.

Monthly rainfall data from 79 stations and from an Austral Oscillation index (AOI), have been analyzed for the 1953-1985 period. The results presented here concern a hierarchical ascending classification of October-December rainfall. We show the relations between monthly rainfall during this season and extreme anomalies in the Pacific ocean-air circulation.

These ENSO events (El Niño/Southern Oscillation) correspond to positive rainfall anomalies particularly in November in Kenya, Uganda as well as northern Tanzania (5°N-10°S). In October, the correlation between the ENSO and rainfall in the Southern Horn are also significant but are less systematic in the center of Somalia. In December, towards the south (8-19°S), the relationship is less clear. In certain areas, rainfall figures are also raised in Eastern Africa, though there are no ENSO phenomena. On the other hand, for LNSO (La Niña/Southern Oscillation) related events, rainfall is significantly reduced particularly in November in Kenya, Uganda as well as central and northern Tanzania (5°N-10°S). Nevertheless the October-December season may also record low rainfall despite there being no LNSO event.

## I. INTRODUCTION

La variabilité inter-annuelle de la pluviométrie sur la façade est de l'Afrique a fait l'objet de nombreux travaux depuis une quinzaine d'années, essentiellement à des échelles "régionales" : l'Afrique orientale (Kenya, Ouganda et Tanzanie) (Ogallo, 1989 ; Beltrando, 1990 ; Nyenzi, 1992...), l'Afrique australe tropicale (Richard, 1993...), la Corne de l'Afrique et l'Ethiopie (Camberlin, 1994...).

Ces trois ensembles régionaux sont soumis à l'alternance des moussons entre les positions extrêmes de l'équateur météorologique (Leroux, 1983). Dans une récente communication, Richard & al. (1997) montrent que la cohésion maximale de la pluviométrie de ce trimestre concerne l'ensemble de la zone soumise au balancement annuel de l'équateur météorologique (16°N, 19°S) à l'est des grands lacs (l'est du Zaïre étant exclu des analyses faute de données). A partir d'analyses en composantes principales (ACP), les auteurs montrent que la pluviométrie de ce trimestre, pour l'Ouganda et le Kenya mais aussi pour les moitiés nord de la Tanzanie et sud de la Somalie (deux régions situées de part et d'autre de l'équateur), est très bien décrite par une seule composante qui explique aussi une part non négligeable de la pluviométrie du nord de la Zambie (10 à 15°S) du nord de Madagascar ainsi que de l'Ethiopie (7 à 16°N).

Plusieurs auteurs (Ogallo et al., 1988 ; Beltrando & Cadet, 1990 ; Richard, 1993 ; Beltrando et Camberlin, 1993 & 1995...) ont montré qu'il y avait de fortes corrélations négatives (significativité à 1 %) entre les précipitations du trimestre octobre-décembre et un indice d'Oscillation australe jusqu'à 10°S environ. Au sud de ce parallèle, Hastenrath et al. (1993) notent que les corrélations sont positives et moins significatives. Tous les auteurs cités ci-dessus ont montré que les fortes précipitations de cette saison, en Afrique orientale, sont associées à des pressions élevées (basses) à l'est (ouest) de l'océan Indien ; de même, les températures de surface océanique sont élevées (faibles) à l'ouest (est). A l'opposé, les faibles températures de surface océanique à l'ouest de l'océan Indien limitent les ascendances sur l'Afrique de l'Est et inversement.... Ceci a été confirmé par l'étude des relations entre la pluviométrie de cette région et plusieurs autres indicateurs de la circulation atmosphérique sur l'océan Indien : rayonnement infrarouge, champs de vent à 850 et 200 hPa... (Beltrando, 1989 ; Beltrando et Cadet, 1990 ; Richard & al., 1997...).

La régionalisation de la pluviométrie d'octobre-décembre de l'est africain est donc clairement mise en évidence à partir d'analyses multivariées et les relations globales entre cette pluviométrie et de nombreux indicateurs de la circulation océano-atmosphérique sont bien établies. Nous cherchons ici principalement les relations à l'échelle mensuelle entre la pluviométrie et les événements extrêmes de la circulation océano-atmosphérique du Pacifique. Mais, plutôt que de rechercher des liaisons à partir des séries tem-

## I. INTRODUCTION

Inter-annual rainfall variability over the eastern facade of African has been the object of many studies over the last fifteen years, mainly on "regional" scales : eastern Africa (Kenya, Uganda, Tanzania) (Ogallo, 1989 ; Beltrando, 1990 ; Nyenzi, 1992...), tropical southern Africa (Richard, 1993...), the Horn of Africa and Ethiopia (Camberlin, 1994...).

These three groups of regions are subject to alternating monsoon systems between the extreme positions of the meteorological equator (Leroux, 1983). In a recent paper, Richard and al., (1997) have demonstrated that the maximum cohesion of rainfall of this quarter affects the whole zone which is subject to an annual oscillation of the meteorological equator (16°N, 19°S), to the east of the great Lakes (east of Zaire was excluded due to a lack of data). From principal component analysis (PCA), the authors have shown that the rainfall for this period, over Uganda and Kenya and also over the northern half of Tanzania and southern Somalia (two regions situated on either side of the equator), is clearly defined by a single component which also accounts for a non-negligible part of rainfall in northern Zambia (10° to 15°S), northern Madagascar as well as in Ethiopia (7° to 16°N).

Several other authors (Ogallo and al., 1988 ; Beltrando and Cadet, 1990 ; Richard, 1993 ; Beltrando and Camberlin, 1993 and 1995...) have demonstrated that important negative correlation (significance 1 %) between rainfall for this October-December quarter and an Austral Oscillation Index (AOI) up to approximately 10°S exists. To the south of this parallel, Hastenrath and al., (1993) have noticed that the correlation is positive and less significant. All the authors quoted above, have shown that the abundant rainfall of this season in eastern Africa, is related to high pressure (low) in the east (west) of the Indian Ocean ; likewise, ocean surface temperatures are high (low) in the west (east). On the contrary, the weak ocean surface temperatures in the west of the Indian Ocean limit the ascendance over East Africa and inversely... This has been confirmed by studying relationships between rainfall in this region and several other atmospheric circulation indicators over the Indian Ocean : infra-red radiation, wind fields from 850 to 200 hPa... (Beltrando, 1989 ; Beltrando and Cadet, 1990 ; Richard and al., 1997...).

The regionalisation of the October-December rainfall in eastern Africa has clearly been shown from multivariate analyses. Global relationships between this rainfall and numerous indicators of ocean-atmosphere circulation has been well established. In this paper, our principal objective was to highlight the relationships on a monthly scale between extreme anomalies in the ocean-atmosphere circulation of the

porelles obtenues par des traitements multivariés (ce qui a déjà été fait par plusieurs auteurs), nous utilisons ici tout le réseau disponible sur la période d'étude et nous nous intéressons principalement aux écarts à la moyenne, en pourcentage, sur des données brutes. L'Indice d'Oscillation Australe est calculé sur la même période que les données pluviométriques.

## II. DONNEES ET METHODES

Le fichier d'analyse comprend les données pluviométriques de 79 stations sur la période 1953-1985 (fig. 1). Ces données proviennent du *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) et du *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC). Les fichiers ont été complétés avec des données provenant des services météorologiques nationaux.

Pour avoir une meilleure couverture spatiale, quelques valeurs ont dues être estimées, par régressions linéaires simples ou multiples, pour les séries du Mozambique et de la Somalie. Les données de ce fichier ayant déjà été validées puis analysées par Richard et al. (1997), pour mettre en évidence la structuration spatiale de la pluviométrie à partir d'analyses multivariées, nous avons choisi ici de mettre en évidence une régionalisation de la pluviométrie et de regroupement des années similaires à partir d'une Classification Ascendante Hiérarchique (C.A.H.).

Pacific. However, rather than looking for relationships from temporal series obtained using multivariate processing (which has already been carried out by several authors), we have used all the network which was available during the study period and we were principally interested in the deviations from the mean, as a percentage, based on raw data. The AOI was calculated over the same period as rainfall data.

## II. DATA AND METHODS

The analysis file includes rainfall data from 79 stations for the 1953-1985 period (fig. 1). These data were provided by the National Center for Atmospheric Research (NCAR) and by the Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC). The files were completed using data from national weather boards.

To obtain better spatial cover, some values had to be estimated, by simple or multiple linear regression, for Mozambique and Somalia data sets. The data of this file has already been validated, then analysed, by Richard and al. (1997), to highlight the spatial distribution of rainfall from multivariate analyses. In this paper, we decided to highlight a regionalisation of rainfall and a grouping of like years from hierarchical ascending clustering (HAC).

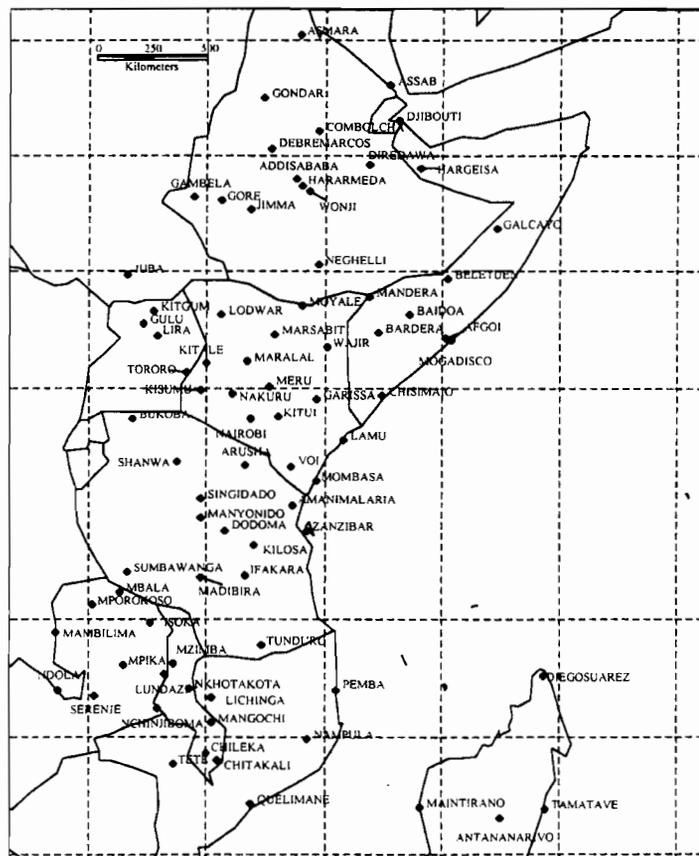


Figure 1 : LOCALISATION DES STATIONS UTILISÉES (1953-85)  
POSITION OF THE STATIONS USED (1953-1985).

L'analyse porte sur les valeurs trimestrielles correspondant à la moyenne des données mensuelles standardisées.

La méthode utilisée dans cette étude, pour la mesure des distances entre les différents individus afin de former des classes, est celle du carré de la distance euclidienne. Cette méthode permet d'affecter un plus grand poids aux individus qui sont les plus excentrés.

$$\text{Soit : } \text{dist}(x, y) = \sum (x_i - y_i)^2$$

Pour agréger les différentes classes entre elles, la méthode de Ward (1963) a été utilisée. Elle se distingue des autres méthodes par l'utilisation de l'analyse de variance, pour estimer la distance entre les classes en minimisant la somme des carrés de deux classes à chaque étape de l'agrégation. Cette méthode est considérée comme "très efficace mais elle tend à générer des classes de petite taille" (Ward, 1963). C'est sur l'arborescence qu'est choisi le nombre de classes, en tenant compte de la distance entre regroupements successifs, car la longueur des branches de l'arbre est proportionnelle au critère d'agrégation : plus elle est grande et plus les séries regroupées sont hétérogènes. L'échelle des distances de chaque branche (dlink) est calculée en pourcentage de la distance la plus grande (dmax) de la C.A.H.

$$\text{Soit : } (\text{dlink}/\text{dmax}) \times 100.$$

L'Indice d'Oscillation Australe (IOA) utilisé ici représente la différence de pression mensuelle brute (en hPa) entre Tahiti (18°S, 150°W) et Darwin (12°S, 131°E). Les données proviennent du Climatic Research Unit (U.K.). Elles sont standardisées (écart à la moyenne divisé par l'écart-type) par mois, sur la période 1953-1985 (Tab. 1).

La figure 2 montre la distribution des écarts de l'indice standardisé de l'IOA (12 mois x 33 ans du tableau 1). Près de 20 % des écarts sont supérieurs à +1,4 et environ 12 % des écarts sont inférieurs à -1,5. Nous qualifions un événement d'ENSO (El Niño/Southern

The analysis is based on 3-monthly values corresponding to the mean of standardised monthly data.

The method used in this study, to measure distances between the different members to form classes, is that of the squared Euclidean distances. This method enables greater weight to be given to members which are the most off centre.

$$\text{That is : } \text{distance}(x, y) = \sum (x_i - y_i)^2$$

To aggregate the different classes, Ward's method (1963) has been used. It differs from other methods by the use of variance analysis, to estimate the distance between the different classes by minimising the sum of squares of two classes at each stage of the aggregation. This method is considered as being "very efficient but tends to generate small-sized classes" (Ward, 1963). The choice of the number of classes is based on the tree, taking into account the distance between successive classes, since the length of tree branches is proportional to the aggregation criterion ; the greater it is the more the grouped series are heterogeneous. The scale of the distances of each branch (dlink) is calculated as a percentage of the greatest distance (dmax) of the HAC,

$$\text{that is } (\text{dlink}/\text{dmax}) \times 100.$$

The AOI which was used here represents the difference in raw monthly pressure (in hPa) between Tahiti (18°S, 150°W) and Darwin (12°S, 131°S). The data were provided by the Climatic Research Unit (UK). They were standardised (deviation from the mean divided by the standard deviation) per month, for the 1953-1985 period (table 1).

Figure 2 shows the distribution of the deviations of the AOI standardised index (12 months x 33 years from table 1). Nearly 20 % of the deviations are higher than 1.4 and approximately 12 % of the deviations are lower than -1.5. An event is considered to be ENSO

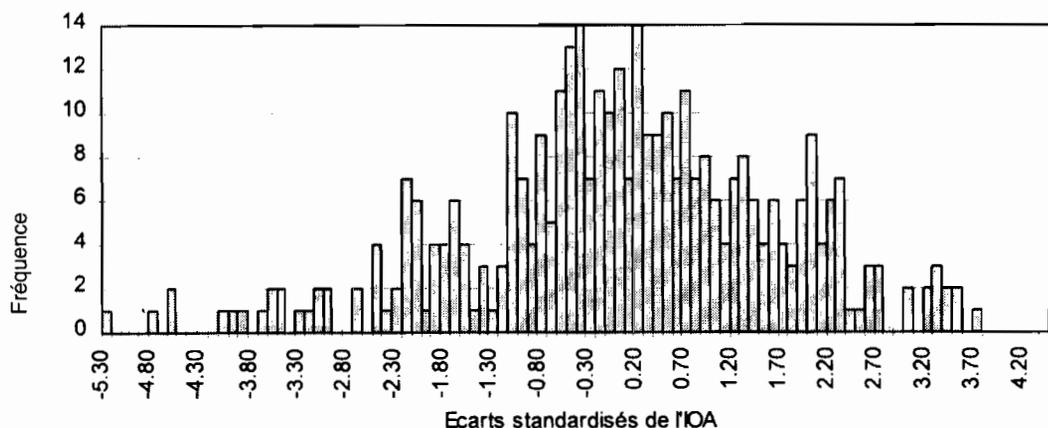


Figure 2 : FREQUENCE DES ECARTS A LA MOYENNE DES VALEURS MENSUELLES DE DIFFERENCE DE PRESSION STANDARDISEES ENTRE TAHITI ET DARWIN. FREQUENCY OF DEVIATIONS FROM THE MEAN OF THE MONTHLY VALUES OF DIFFERENCES IN STANDARDISED PRESSURE BETWEEN TAHITI AND DARWIN.

Année	jan	fév	mar	avr	mai	jun	juil	août	sep	oct	nov	déc	IOA (OND)	ACP F1
1953	0.35	<b>-1.00</b>	-0.97	-0.27	<b>-4.09</b>	<b>-0.47</b>	-0.05	<b>-3.01</b>	<b>-2.25</b>	-0.05	-0.39	-0.87	-0.44	-0.09
1954	0.99	-0.61	-0.14	0.62	0.31	-0.38	0.60	<u>1.54</u>	0.65	0.29	0.53	<u>1.91</u>	0.91	-0.93
1955	-0.84	<u>2.25</u>	0.45	-0.69	<u>1.53</u>	<u>2.56</u>	<u>3.13</u>	<u>2.30</u>	<u>2.24</u>				1.99	-0.69
1956	<u>1.78</u>	<u>1.86</u>	<u>1.59</u>	<u>1.52</u>	<u>2.24</u>	<u>1.92</u>	<u>1.89</u>	<u>1.67</u>	-0.07				1.66	-0.50
1957	0.86	-0.44	-0.14	0.20	<b>-1.64</b>	-0.47	0.12	<b>-1.79</b>	<b>-1.84</b>	-0.10	<b>-1.93</b>	-0.77	-0.94	0.01
1958	<b>-2.55</b>	-1.17	-0.21	0.01	<b>-2.13</b>	-0.29	0.26	1.14	-0.67	-0.73	-0.88	-1.29	-0.97	-0.67
1959	<b>-1.26</b>	<b>-2.22</b>	1.40	0.44	0.16	-1.15	-0.81	-1.05	-0.06	0.73	1.46	1.18	1.12	-0.41
1960	0.08	-0.26	0.95	1.02	0.40	-0.47	0.74	0.86	1.02	-0.19	0.99	0.89	0.56	-0.92
1961	-0.45	0.97	<b>-3.60</b>	1.38	0.10	-0.51	0.27	-0.22	0.05	-1.13	<u>2.70</u>	<u>2.93</u>	1.50	3.53
1962	<u>2.62</u>	-0.52	-0.19	0.27	<u>1.62</u>	0.66	-0.22	0.47	0.84	<u>1.76</u>	0.49	-0.19	0.69	-0.34
1963	1.31	0.54	1.20	0.66	0.16	<b>-1.73</b>	-0.22	-0.68	-1.04	<b>-2.33</b>	<b>-1.48</b>	<b>-2.15</b>	-1.99	1.24
1964	-0.59	-0.07	1.32	<u>2.23</u>	-0.07	1.21	0.90	<u>2.02</u>	<u>2.13</u>	<u>2.17</u>	-0.02	-0.77	0.46	-0.55
1965	-0.63	0.07	0.46	<b>-1.73</b>	-0.08	<b>-2.13</b>	<b>-3.78</b>	<b>-2.13</b>	<b>-2.54</b>	<b>-1.91</b>	<b>-3.33</b>	0.01	-1.74	0.90
1966	<b>-1.81</b>	-0.87	<b>-2.43</b>	-1.19	-1.08	0.38	-0.33	0.33	-0.45	-0.40	-0.25	-0.94	-0.53	-0.52
1967	<u>2.19</u>	<u>1.93</u>	1.24	-0.12	-0.64	1.21	0.21	0.73	0.67	-0.14	-0.80	-1.19	-0.71	1.71
1968	0.74	1.42	-0.57	-0.55	<u>1.77</u>	<u>2.07</u>	1.24	-0.30	-0.65	-0.45	-0.62	0.14	-0.31	0.47
1969	<b>-1.96</b>	-1.29	0.28	-1.16	-1.34	-0.11	-1.26	-1.08	<b>-1.97</b>	<b>-2.18</b>	-0.21	0.32	-0.69	-0.52
1970	<b>-1.62</b>	<b>-1.78</b>	0.29	-0.74	0.02	<u>1.64</u>	-0.97	0.49	<u>1.92</u>				2.30	-0.54
1971	0.46	<u>2.39</u>	<u>3.23</u>	<u>3.40</u>	1.29	0.60	0.16	<u>2.27</u>	<u>2.54</u>				1.43	-0.44
1972	0.60	1.18	0.36	-0.58	<b>-3.53</b>	<b>-2.22</b>	<b>-3.18</b>	<b>-1.73</b>	<b>-2.54</b>	<b>-1.76</b>	-0.53	<b>-2.25</b>	-1.52	0.91
1973	-0.45	<b>-2.17</b>	0.12	-0.52	0.34	<u>1.83</u>	0.95	<u>1.87</u>	<u>2.15</u>				2.87	-0.84
1974	<u>3.23</u>	<u>2.46</u>	<u>3.38</u>	<u>1.68</u>	<u>1.84</u>	0.41	<u>2.04</u>	0.89	<u>1.94</u>	1.37	-0.57	0.12	0.30	-1.12
1975	-0.77	0.85	<u>1.95</u>	<u>1.92</u>	0.72	<u>2.56</u>	<u>3.50</u>	<u>3.24</u>	<u>3.64</u>				2.66	-0.80
1976	<u>1.84</u>	<u>1.99</u>	<u>2.16</u>	0.33	0.75	-0.01	<b>-2.07</b>	<b>-2.27</b>	<b>-2.25</b>	0.35	1.24	-0.72	0.29	-0.84
1977	-0.46	1.14	<b>-1.62</b>	<b>-1.59</b>	<b>-1.81</b>	<b>-3.08</b>	<b>-2.53</b>	<b>-2.23</b>	<b>-1.64</b>	<b>-2.21</b>	<b>-2.33</b>	<b>-1.86</b>	-2.13	1.37
1978	-0.48	<b>-4.00</b>	-0.87	-1.16	<u>2.19</u>	0.64	0.64	0.18	0.04	-1.17	-0.37	-0.35	-0.63	0.75
1979	-0.54	1.08	-0.51	-0.86	0.67	1.09	<u>2.22</u>	-1.07	0.14	-0.48	-0.88	-1.38	-0.91	-0.27
1980	0.53	0.10	<b>-1.49</b>	<b>-2.14</b>	-0.55	-0.78	-0.29	-0.04	-0.95	-0.44	-0.66	-0.35	-0.48	-0.23
1981	0.49	-0.61	<b>-2.72</b>	-0.80	1.19	<u>1.98</u>	1.30	0.66	0.84	-1.06	0.18	0.55	-0.11	-0.67
1982	1.43	0.07	0.31	-0.59	<b>-1.12</b>	<b>-3.26</b>	<b>-3.17</b>	<b>-4.18</b>	<b>-3.63</b>	<b>-3.62</b>	<b>-4.83</b>	<b>-3.72</b>	-4.05	1.49
1983	<b>-4.66</b>	<b>-5.30</b>	<b>-4.69</b>	<b>-2.71</b>	1.17	-0.39	-1.11	-0.20	<u>1.56</u>	0.73	-0.12	-0.24	0.13	-0.37
1984	0.20	0.81	-1.06	0.54	-0.08	<b>-1.49</b>	0.17	0.16	0.24	-0.89	0.57	-0.33	-0.22	0.13
1985	-0.61	1.21	0.50	1.17	-0.29	<b>-1.82</b>	-0.33	1.18	-0.06	-1.17	-0.46	0.13	-0.50	-0.26

Tableau 1 : DIFFERENCE DE PRESSION STANDARDISEE DE TAHITI MOINS DARWIN (VALEURS EN HPA, FICHER DU C.R.U.).

Les données sont standardisées par mois sur la période 1953-85. Les mois qualifiés d'ENSO sont en gras et les LNSO sont soulignés. Pour octobre-décembre, les événements qualifiés d'ENSO sont dans un cadre en trait renforcé et les LNSO en gris.

La moyenne de l'IOA des mois d'octobre à décembre est aussi indiquée, ainsi que les coordonnées de la première composante temporelle d'une ACP portant sur le cumul trimestriel des données pluviométriques du même réseau de stations. Les deux séries sont représentées sur la figure 5.

Table 1 - DIFFERENCE IN STANDARDISED PRESSURE OF TAHITI LESS DARWIN (VALUES EXPRESSED IN hPa, FILE FROM C.R.U.).

Data are standardised over the 1953-85 period. ENSO related months are in bold print and LNSO related months are underlined. For October-December, ENSO related events are in a box with a thick outline and LNSO related events are in grey. The AOI mean for October-December is also indicated as well as the co-ordinated of the first temporal component of a PCA based on the quarterly total of rainfall data from the same network of stations. Both series are shown in fig. 5.

Oscillation, c'est-à-dire une phase basse bien marquée de la composante méridienne de la circulation) lorsque la valeur moyenne de trois mois consécutifs est inférieure à  $-1,5$  et nous qualifions de LNSO (La Niña/Southern Oscillation, c'est-à-dire une phase haute bien marquée de la composante méridienne de la circulation) un événement correspondant à une valeur supérieure à  $+1,4$ . Les phases extrêmes négatives (ENSO) se détachent mieux que les phases positives (LNSO) de l'ensemble des valeurs.

Sur la période d'étude et pour le trimestre octobre-décembre, nous obtenons ainsi 5 ENSO (1963, 65, 72, 77 & 82) et 6 LNSO (1955, 56, 70, 71, 73 & 75). Pour chacun de ces événements nous calculons, pour la pluviométrie, l'écart du trimestre considéré par rapport à la moyenne 1953-1985 (valeur en pourcentage). Le même type de calcul est ensuite effectué pour chacun des mois du trimestre de chacun de ces dix événements.

### III. RESULTATS

L'analyse de l'arborescence C.A.H. du trimestre octobre-décembre individualise en premier lieu les stations kenyanes et du nord-est tanzanien. Les autres stations peuvent être subdivisées en deux groupes, d'une part, celles de l'ouest et du sud tanzanien, du Malawi et du nord Mozambique ; d'autre part, celles de la Corne de l'Afrique et de l'Ethiopie (fig. 3).

La C.A.H. des années (fig. 4) individualise très distinctement 9 trimestres (classe 1 : les 5 événements ENSO, ainsi que les années 1967, 68, 78 et 84), classe qui s'unit ensuite à l'année 1961 (classe 2). Ces dix années correspondent strictement aux valeurs positives qui ressortent sur la composante temporelle d'une ACP (tab. 1) portant sur ces mêmes données (Richard & al., 1997). Par contre, dans l'autre groupe d'années (classe 3, 23 cas), les événements LNSO ne se regroupent pas. Ces 23 saisons correspondent aux cas où la valeur de la composante temporelle de l'ACP est négative (précipitations globalement faibles sur l'ensemble de la région). La C.A.H., en imposant un découpage en classes, fait ressortir ici trois bandes orientées N.O.-S.E ; seules les stations de la moitié nord de l'Ethiopie (région peu arrosée à cette saison) s'individualisent par des appartenances variables d'une station à l'autre. Ce découpage en trois classes laisse supposer l'existence de variations intra-saisonnières de la pluviométrie.

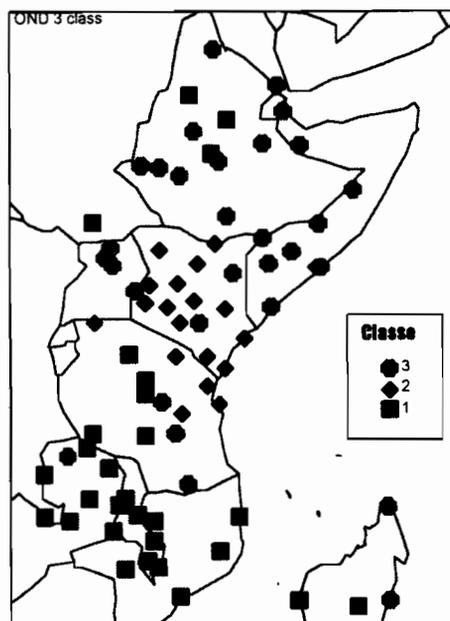


Figure 3 : CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHIQUE DES PRECIPITATIONS DU TRIMESTRE OCTOBRE-DECEMBRE. CARTOGRAPHIE D'UNE PARTITION ET 3 CLASSES POUR LA PERIODE 1953-85. HIERARCHICAL ASCENDING CLUSTERING FOR RAINFALL OF THE OCTOBER-DECEMBER QUARTER. MAPPING OF A SEPARATION AND 3 CLASSES FOR THE 1953-1985 PERIOD.

related (El Niño/Southern Oscillation, that is a pronounced low phase of the meridian component of the circulation) when the mean value of three consecutive months is lower than  $-1.5$  and LNSO related (La Niña/Southern Oscillation, that is a pronounced high phase of the meridian component of the circulation) when the mean value is higher than  $+1.4$ . The negative extreme phases (ENSO) are more clearly defined than the positive phases (LNSO) from the set of values.

For the length of the study and for the October-December period, 5 ENSO (1963, 65, 72, 77 and 82) and 6 LNSO (1955, 56, 70, 71, 73 and 75) events were obtained. For each of these events we calculated rainfall, the deviation of the quarter in question in relation to the 1953-1985 mean (value expressed as a percentage). The same type of calculation was then carried out for each month of the quarter and for each of these 11 events.

### III. RESULTS

The analysis of the HAC tree for the October-December period, clearly highlights the Kenyan and north-eastern Tanzanian stations. The other stations can be subdivided into two groups, those in western and southern Tanzania, Malawi, northern Mozambique, and those in the Horn of Africa and Ethiopia (fig. 3).

The HAC of the years (fig. 4) clearly highlights 9 quarters (class 1 : the 5 ENSO events, as well as years 1967, 68, 78 and 84) which then joins with 1961 (class 2). These 10 years strictly correspond to the positive values which emerge on the temporal component of a PCA (table 1) based on these same data (Richard and al., 1997). However, in the other year group (class 3, 23 cases) the LNSO events are not grouped. These 23 seasons correspond to the cases where the value of the temporal component of the PCA is negative (rainfall low over all the region). The HAC, by imposing a cutting up into classes, highlights three bands orientated NW-SE, only the stations in the northern half of Ethiopia (a region where little rainfall is recorded during this season), are highlighted by their variable affinity to one station or another. This cutting into 3 classes suggests that intra-seasonal variations in rainfall exist.

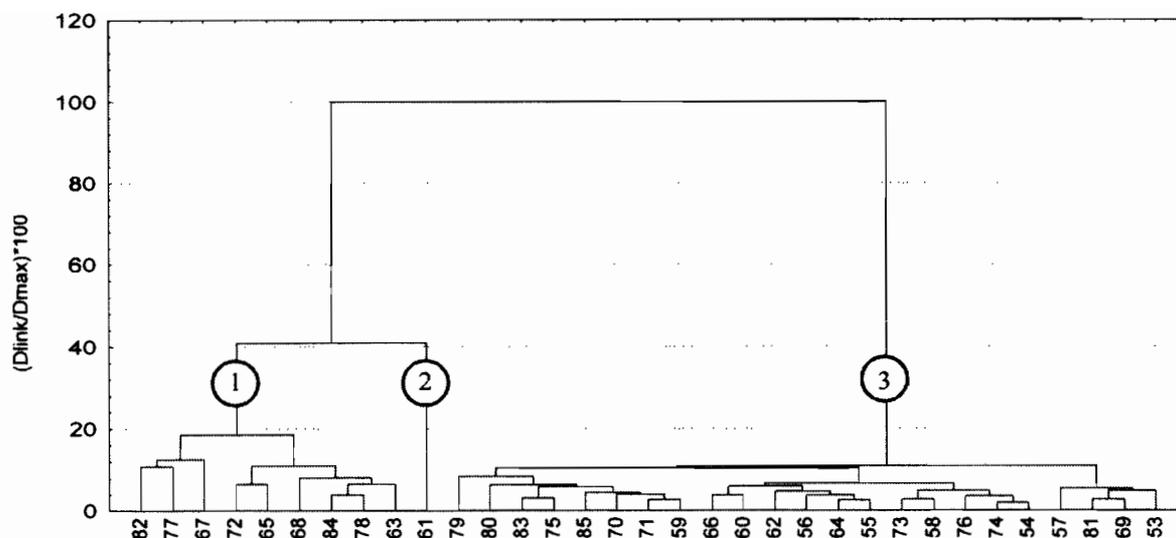


Figure 4 : **CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHIQUE DES PRECIPITATIONS DU TRIMESTRE OCTOBRE-DECEMBRE. CLASSEMENT SUR LES ANNEES.**  
**HIERARCHICAL ASCENDING CLUSTERING FOR RAINFALL OF THE OCTOBER-DECEMBER QUARTER ; CLASSIFICATION BASED ON THE YEARS.**

La figure 5 montre la valeur moyenne trimestrielle de l'IOA d'octobre à décembre et la première composante temporelle d'une ACP portant sur le total des précipitations de ce même trimestre. La corrélation entre les deux séries est significative ( $r = -0,43$ ) mais on remarque que l'amplitude des différences entre les deux séries est variable d'une année à l'autre. Si dans quelques cas, les relations inverses semblent très nettes (par exemple pour les IOA négatifs - ENSO - qui correspondent aux forts totaux pluviométriques), dans d'autres cas, les écarts sont de même signe pour les deux séries (1961, 1967,...).

La figure 6 montre les écarts en pourcentage à la moyenne (1953-85) de la pluviométrie du trimestre octobre-décembre, pour la moyenne des 5 événements ENSO (fig. 6a) et pour 5 des 6 événements LNSO (fig. 6b). Les écarts correspondant à l'événement LNSO de 1970 ne sont pas représentés car ils sont très proches de ceux de l'année 1971.

Figure 5 shows the AOI quarter mean value from October to December and the first temporal component of a PCA based on the rainfall totals of this same quarter. The correlation between the two series is significant ( $r = -0.43$ ) but the size of the differences between the two series is variable from one year to the next. If, in certain cases, inverse relationships clearly appear (e.g. for negative AOI - ENSO - which correspond to abundant rainfall totals), in others, deviations bear the same sign for both series (1961, 1967,...).

Figure 6 shows rainfall deviations expressed as a percentage from the mean (1953-1985) for the October-December period, for the mean of 5 ENSO events (fig. 6a) and for 5 and 6 LNSO events (fig. 6b). The deviations corresponding to the 1970 LNSO event are not shown since they are very close to those of 1971.

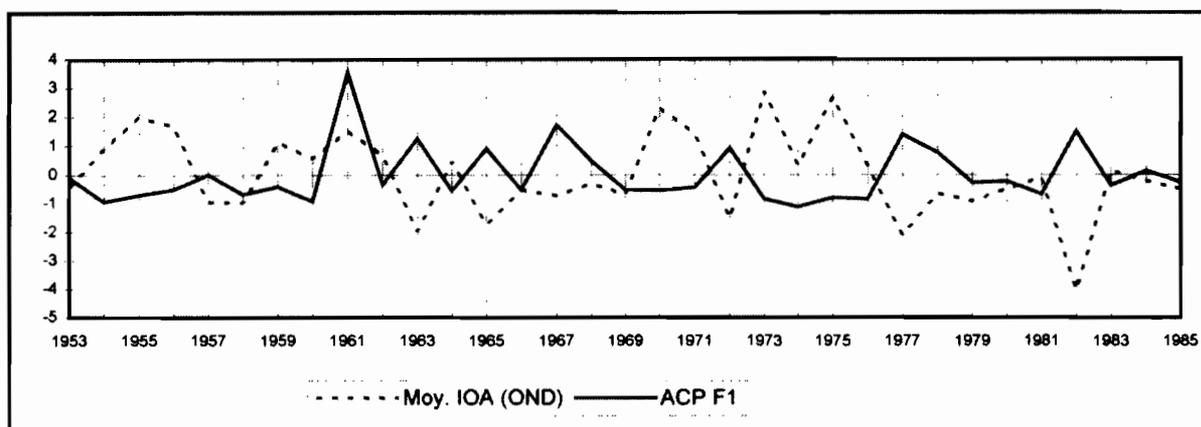


Figure 5 : **MOYENNE DE L'INDICE D'OSCILLATION AUSTRAL D'OCTOBRE À DECEMBRE ET PREMIÈRE COMPOSANTE TEMPORIELLE DE L'ACP SUR LES PRECIPITATIONS DU MEME TRIMESTRE (PERIODE 1953-1985).**  
**AOI MEAN FROM OCTOBER TO DECEMBER AND THE FIRST TEMPORAL COMPONENT OF THE PCA BASED ON RAINFALL OF THE SAME QUARTER (1953-1985 PERIOD)**

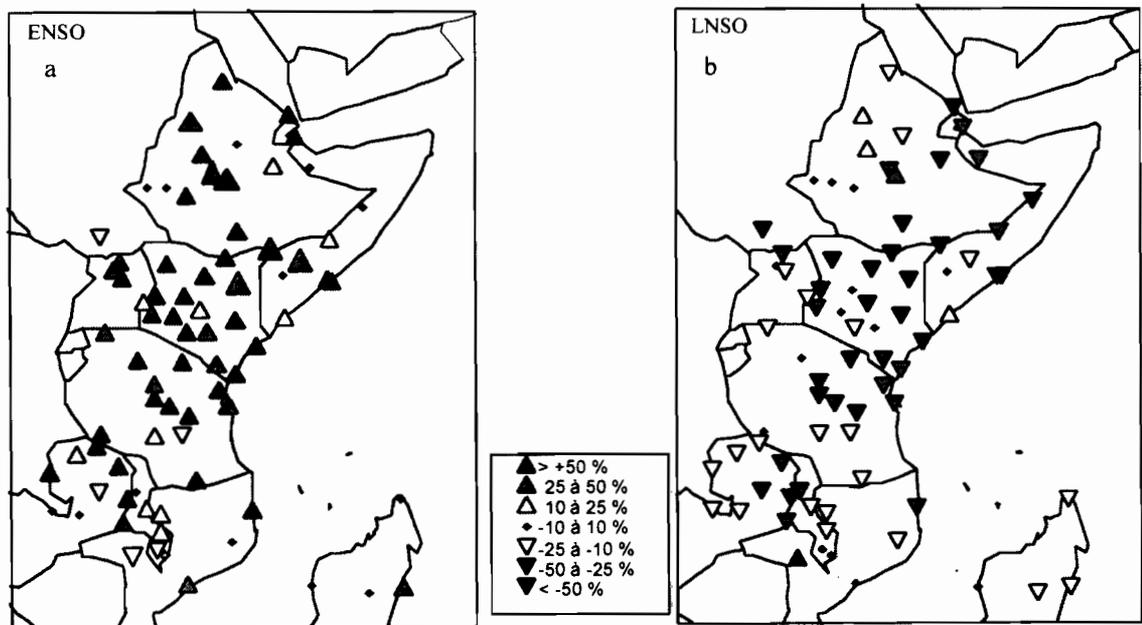


Figure 6 : **ÉCARTS, EN POURCENTAGE, ENTRE LA MOYENNE 1953-85 DE LA PLUVIOMÉTRIE D'OCTOBRE-DÉCEMBRE ET LA MOYENNE DES 5 ÉVÉNEMENTS ENSO (A : 1963, 65, 72, 77 & 82) ET DES 5 ÉVÉNEMENTS LNSO (B : 1955, 56, 71, 73 & 75).**

**DEVIATIONS EXPRESSED AS A PERCENTAGE, BETWEEN THE 1953-85 MEAN FOR THE OCTOBER, NOVEMBER AND DECEMBER MONTHLY RAINFALL AND MONTHLY RAINFALL FOR 5 ENSO EVENTS (a : 1963, 65, 72, 77 and 82) AND 5 LNSO EVENTS (b : 1955, 56, 71, 73 and 75).**

74 des 79 stations enregistrent des écarts positifs lors des années ENSO (les 5 exceptions sont caractérisées par des écarts négatifs peu marqués et à la périphérie sud et ouest du domaine d'étude) dont 24 avec des écarts positifs supérieurs à 50 %.

Pour les événements LNSO, les écarts pluviométriques sont radicalement opposés. Seules 4 des 79 stations enregistrent de légers écarts positifs entre octobre et décembre (3 sur les montagnes du nord-ouest de l'Éthiopie, 1 au sud du Mozambique). Par-

74 out of 79 stations recorded positive deviations during the ENSO years (the 5 exceptions are characterised by small negative deviations and occur at the southern and western edges of the study zone), 24 of which recorded positive deviations higher than 50 %.

For LNSO events, the rainfall deviations are completely the opposite. Only 4 out of the 79 stations recorded slight positive deviations between October and December (3 over the mountains of north-west Ethiopia, 1 in southern Mozambique). Everywhere

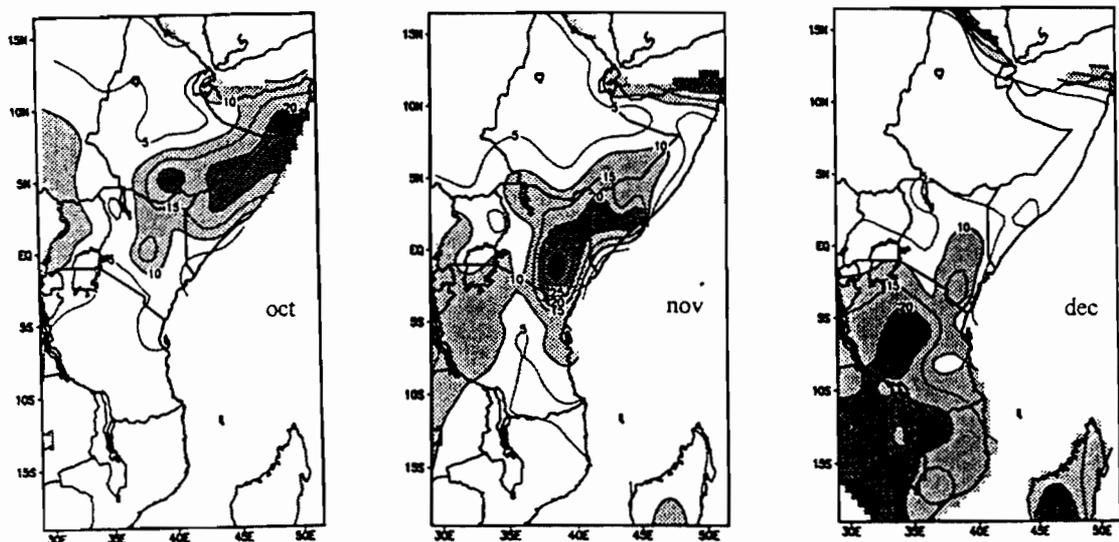


Figure 7 : **PRECIPITATIONS MENSUELLES MOYENNES (1953-1985) EN POURCENTAGE DU TOTAL ANNUEL (RICHARD ET AL., 1997).**

**MEAN MONTHLY RAINFALL 1953-85 AS A PERCENTAGE OF THE ANNUAL TOTAL (RICHARD AND AL., 1997).**

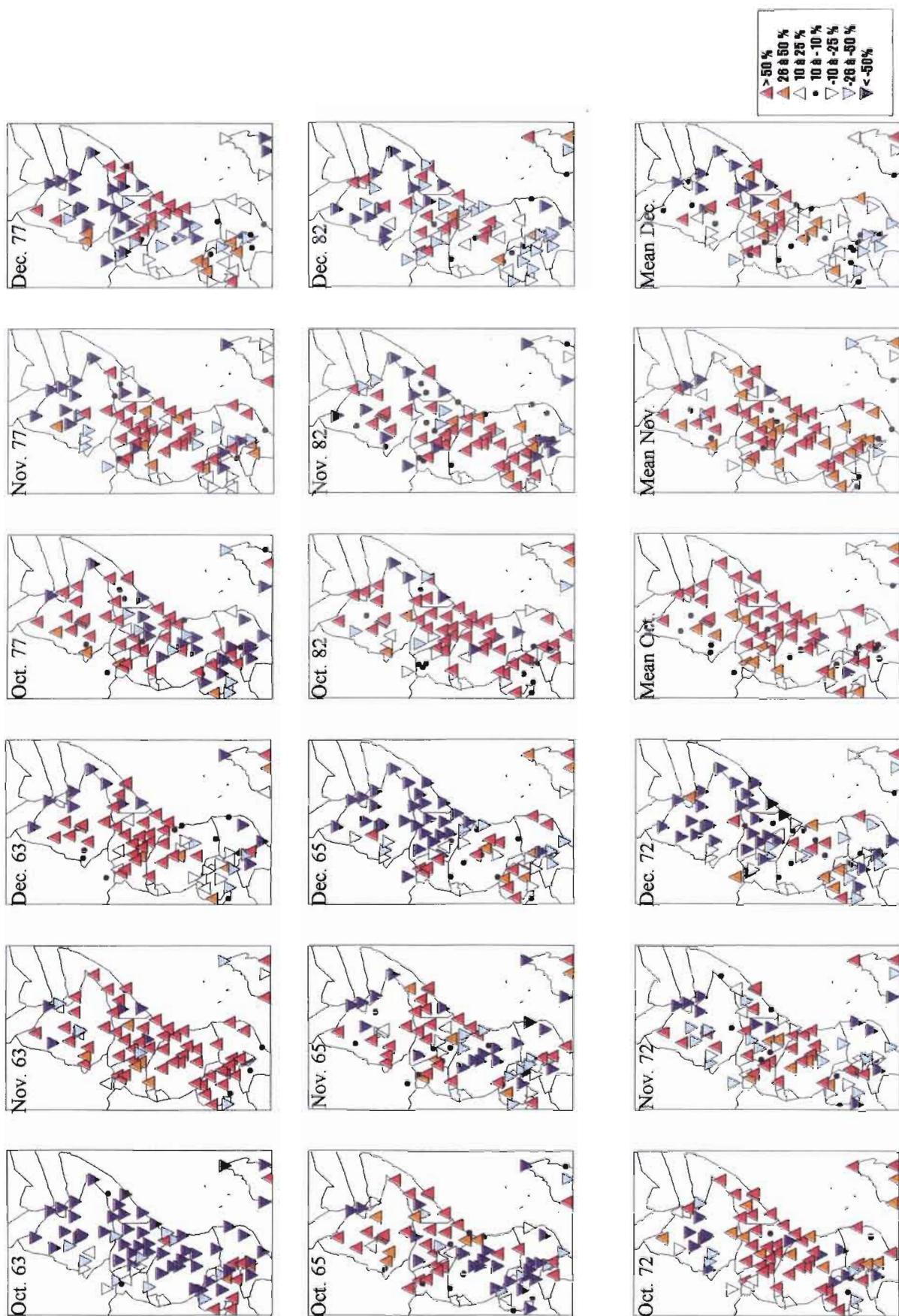


Figure 8 : ECARTS, EN POURCENTAGE, ENTRE LA MOYENNE 1953-85 DE LA PLUVIOMETRIE MENSUELLE D'OCTOBRE, NOVEMBRE ET DECEMBRE ET LA PLUVIOMETRIE MENSUELLE DE 5 EVENEMENTS ENSO (1963, 65, 72, 77 & 82).

DEVIATIONS, AS A %, BETWEEN THE 1953-85 MEAN OF MONTHLY RAINFALL, FOR OCTOBER, NOVEMBER AND DECEMBER AND THE MONTHLY RAINFALL 5 ENSO EVENTS (1963, 65, 72, 77 & 82).

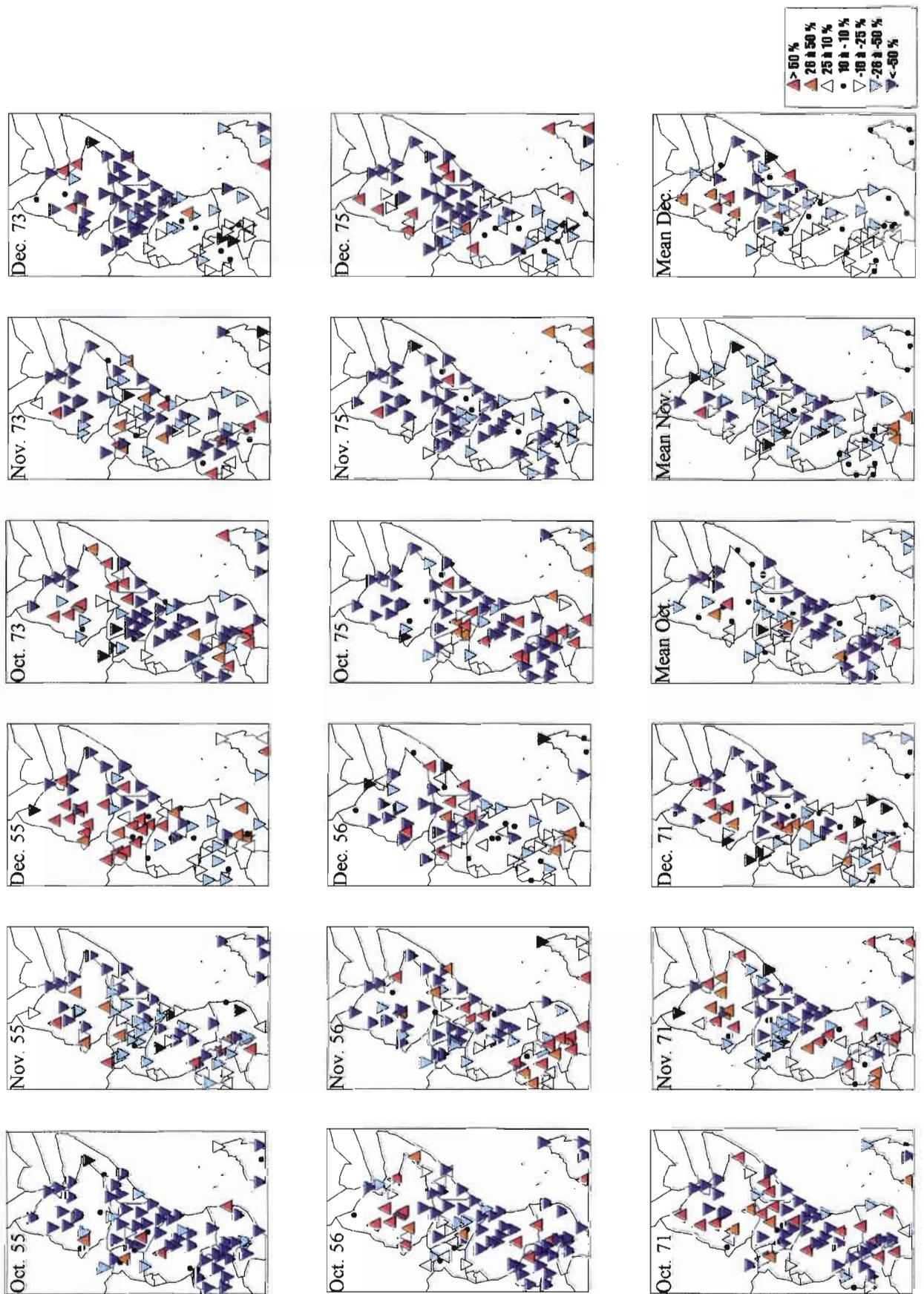


Figure 9 : ECARTS, EN POURCENTAGE, ENTRE LA MOYENNE 1953-85 DE LA PLUVIOMETRIE MENSUELLE D'OCTOBRE, NOVEMBRE ET DECEMBRE ET LA PLUVIOMETRIE MENSUELLE DE 5 EVENEMENTS ENSO (1955, 56, 71, 73 & 75).

DEVIATIONS, AS A %, BETWEEN THE 1983-85 MEAN OF MONTHLY RAINFALL, FOR OCTOBER, NOVEMBER AND DECEMBER AND THE MONTHLY RAINFALL 5 ENSO EVENTS (1955, 56, 71, 73 & 75).

tout ailleurs, les écarts à la moyenne sont négatifs (pour 12 de ces stations le déficit est de plus de 50 %).

Pour mieux apprécier l'espace affecté par d'éventuelles anomalies, nous considérons les données de tout le réseau, car à cette saison, l'équateur météorologique se déplace très vite vers le sud et la zone pluvieuse également (*fig. 7*). Les cartes de la *figure 8* donnent la décomposition, mois par mois, pour chacun des événements ENSO, ainsi que la moyenne mensuelle de ces événements ; celles de la *figure 9* fournissent les mêmes informations mais pour les 5 événements ENSO. La *figure 7* permet de relativiser les écarts mis en évidence sur les *figures 8 et 9* : en particulier pour le mois d'octobre au sud du domaine et pour le mois de décembre au nord. Dans ces régions, pour les mois considérés, on peut avoir de forts écarts, en pourcentage, sans que cela se traduise pas de grosses différences en mm tombés.

### III.1. Cas des événements ENSO

Dans l'ensemble, la pluviométrie des trois mois de la petite saison des pluies est excédentaire pour ces événements (*fig. 8*).

En 1963, la pluviométrie est globalement déficitaire, en particulier en octobre, sur les régions qui reçoivent généralement des précipitations à cette saison. Par contre, en novembre, les excédents concernent toute la zone et en particulier, l'Afrique orientale, très arrosée durant ce mois (*fig. 7*). En décembre, la pluviométrie reste relativement importante dans les parages de l'équateur mais pas au sud du 10° Sud où les écarts sont de signe variable d'une station à l'autre. Cette année là, l'anomalie de pression entre Darwin et Tahiti était très faible jusqu'en septembre, ce qui pourrait suggérer un décalage d'environ un mois entre celle-ci et la pluviométrie (*tab. 1*). Mais cette hypothèse reste à vérifier.

En 1965, les écarts pluviométriques sont bien marqués en octobre en Somalie, mais ils sont moins nets en novembre près de l'équateur, cependant la dominante de cette région reste excédentaire. En décembre, ils sont plutôt déficitaires au sud du 13° parallèle Sud (sauf sur le littoral et à Madagascar). A la différence du cas précédent, l'IOA a été très marquée de juin à novembre, ce qui pourrait expliquer les fortes valeurs de précipitations du début de la petite saison des pluies.

En 1972, la pluviométrie est fortement excédentaire en octobre en Somalie mais aussi au Kenya et dans le nord de la Tanzanie (l'IOA est très fortement négatif depuis le mois de mai). En novembre, seules les stations du nord de la Tanzanie enregistrent des écarts positifs marqués (l'IOA a fortement diminué durant ce mois). En décembre, la tendance pluviométrique dans le sud du domaine est négative.

La petite saison des pluies des années 1977 et 82, présente des situations assez proches l'une de l'autre mais assez différentes des cas précédents. En

else, the deviations from the mean are negative (for 12 stations, this deficit was higher than 50 %).

To better understand the area affected by possible anomalies, data from the whole network were taken into consideration, since during this season, the meteorological equator and rainy zones move very quickly southwards (*fig. 7*). *Figure 8* gives the breakdown, month by month, for each ENSO event as well as the monthly mean for these events ; *figure 9* provides the same information but for 5 ENSO events. *Figure 7* enables the deviations shown on *figs. 8 and 9* to be put into perspective, especially during October, in the south of the domain, and during December in the north. In these regions, for the months in question, there can be important deviations, as a percentage, without there being important differences in the amount of rain which fell, in mm.

### III.1. ENSO events

In general, high rainfall figures were recorded for the three months of the short rain season for these ENSO events (*fig. 8*).

In 1963, there were overall shortages of rainfall, especially in October, in regions where rainfall is normally recorded during this season. On the other hand, in November, figures were high for the whole zone, especially over eastern Africa, where abundant rainfall was recorded (*fig. 7*). In December, rainfall was relatively important near the equator but not south of 10°S, where deviations were of variable sign from one station to the next. In 1963, the pressure anomaly between Darwin and Tahiti was very low up to September, which could indicate a delay of about one month between the pressure anomaly and rainfall (*table 1*). However, this hypothesis has to be verified.

In 1965, rainfall deviations were pronounced in Somalia, but were less marked in November near the equator, but on the whole excess rainfall dominated in this region. In December, deviations were negative to the south of 13° parallel South (apart from over the littoral and at Madagascar). Unlike the previous case, the AOI was very pronounced from June to November which could explain the raised rainfall values at the beginning of the short rain season.

In 1972, rainfall figures were very high in October in Somalia but also in Kenya and northern Tanzania (the AOI had been very negative since May). In November, only stations in the north of Tanzania recorded pronounced positive deviations (the AOI had greatly lessened during this month). In December, the rainfall anomalies in the south of the domain were negative.

The 1977 and 1982 short rain seasons were fairly similar but different from the previous cases. In October, the positive rainfall anomalies were very different from one station to the next in Somalia ; on the other hand, in November, they were very important in sou-

octobre, les excédents pluviométriques sont très contrastés d'une station à l'autre en Somalie ; par contre, en novembre, ils sont très forts dans le sud du Kenya et le nord de la Tanzanie. En décembre, dans le sud de la zone d'étude, ils sont peu marqués pour l'année 77 et déficitaires pour l'année 1982. Pour ces deux années, les totaux pluviométriques de décembre restent assez fortement excédentaires dans plusieurs stations kenyanes et nord-tanzaniennes. L'IOA de ces deux années est caractérisé par des valeurs négatives très marquées depuis le mois de juin et ces anomalies persistent jusqu'au printemps de l'année suivante.

Sur la période d'étude, c'est donc la pluviométrie des mois d'octobre et novembre qui semble la mieux liée aux variations de la circulation océano-atmosphérique du type ENSO : les anomalies pluviométriques affectent essentiellement la zone comprise entre le 12°N et le 12°S à l'est du 30° Est.

Dans quelques cas, la pluviométrie mensuelle et trimestrielle de l'Afrique orientale est fortement excédentaire, sans qu'il n'y ait d'anomalie marquée de la circulation océano-atmosphérique sur le Pacifique (1961, 67, 68 et 78). C'est en particulier le cas de l'automne 1961, où toutes les stations ont reçu des excédents compris entre une et deux fois la moyenne sur les régions littorales du Kenya et de la Tanzanie, et entre deux et sept fois dans les stations à l'intérieur des terres. Cette année là a été caractérisée par une forte anomalie de la circulation cellulaire zonale surtout entre 5°N et 5°S, mais uniquement sur l'océan Indien (Reverdin et al., 1986 ; Beltrando et Cadet, 1990 ; Kapala et al., 1994...). Un schéma assez proche apparaît en 1967...

### III.2. Cas des événements LNSO

Pour ces événements, il y a moins de différence d'une année à l'autre, au moins pour les régions qui reçoivent, pour un mois donné, plus de 15 % de leur total annuel moyen (*fig. 6*). En 1955 par exemple (*fig. 8*), la pluviométrie d'octobre (Somalie) et de novembre (Kenya-Tanzanie) est très fortement déficitaire dans les régions sous l'influence de l'équateur météorologique. En décembre, le sud du domaine ne semble pas lié à l'événement LNSO, les écarts à la moyenne sont généralement moins marqués (inférieurs à 50 % et leur signe varie d'une station à l'autre). Les forts écarts positifs enregistrés, au Kenya, en Ouganda et dans l'ouest de l'Éthiopie portent sur des valeurs absolues faibles. Ce schéma se reproduit pour les autres événements LNSO à quelques exceptions près : dans le sud de la Somalie, à l'intérieur des terres, les écarts sont positifs dans 3 stations en 1971 et 1973 (Barbera, Baïdoa...), mais sur le littoral voisin ils sont négatifs ; en novembre 1956 et 73, quelques stations dans l'est des Hautes Terres du Kenya (Voi, Garissa...) enregistrent des déficits plus ou moins importants.

thern Kenya and northern Tanzania. In December, in the south of the study zone, they were not very marked in 1977 and shortages were recorded in 1982. For these two years, the December rainfall totals remained fairly high in several Kenyan and north Tanzanian stations. The AOI for 1977 and 1982 was characterised by very pronounced negative values since the beginning of June and these anomalies persisted until the following spring.

During the study period, it was the October and November rainfall which appeared to be the best linked to variations in the ocean-atmosphere circulation of the ENSO type : the rainfall anomalies mainly affected the zone between 12°N and 12°S to the east of 30°E.

In certain cases, rainfall figures for monthly and quarterly periods over eastern Africa were very high without there being a pronounced anomaly in the ocean-atmosphere circulation over the Pacific (1961, 67, 68 and 78). This was the case in autumn 1961, where excess rainfall was measured at all stations, in coastal regions between two to three times more rainfall than normal was recorded, and in inland regions three to eight times more. In 1961 there had been an important anomaly in zonal cell circulation, especially between 5°N and 5°S, but only over the Indian Ocean (Reverdin et al., 1986 ; Beltrando and Cadet, 1990 ; Kapala et al., 1994...). A similar pattern occurred in 1967....

### III.2. LNSO events

For these events, there was less difference from one year to the next, at least for regions where 15 % of their mean annual total rainfall occurred within a given month (*fig. 6*). In 1955 for example (*fig. 8*), very important negative rainfall deviations were recorded in October (Somalia) and November (Kenya-Tanzania) due to the influence of the meteorological equator. In December, events in the south of the domain did not appear to be linked to an LNSO event, deviations from the mean were less marked (below 50 % and their sign varied from one station to the next). The very positive deviations recorded in Kenya, Uganda and in western Ethiopia were based on weak absolute values. This pattern recurred for other LNSO events apart from a few exceptions : inland in southern Somalia, the deviations were positive for 3 stations in 1971 and 1973 (Barbera, Baïdoa...), but negative over the neighbouring littoral ; in November 1956 and 73 certain stations in the east of the Kenyan High Lands (Voi, Garissa...) recorded more or less important deficits.

La moyenne mensuelle confirme ces résultats, et montre en particulier que le déficit pour ces événements concerne surtout le littoral somalien en octobre, l'ensemble de l'Afrique orientale (Kenya, Ouganda, centre et nord de la Tanzanie) en novembre. Par contre, pour le sud du domaine, en décembre il n'y a pas de relation nette entre la pluviométrie et l'IOA.

#### IV. CONCLUSION

Cette étude apporte quelques précisions supplémentaires sur les relations entre les phases extrêmes de l'Oscillation australe (Pacifique) et les écarts pluviométriques dans la partie orientale de l'Afrique soumise à la mousson indienne. Nous avons effectué cette étude sans exclure, ni les données de stations qui s'individualisent par des écarts différents de la majorité du réseau (cas de la Somalie), ni la partie "résiduelle" de l'information de départ (comme cela se fait lorsque l'on travaille sur les résultats d'analyse en composantes principales). Ceci permet d'évaluer l'amplitude des écarts de chaque station mais sans tenir compte des éventuelles erreurs dans les données. L'étude au pas de temps mensuel apporte des précisions sur la répartition des écarts à la moyenne à l'intérieur d'une même saison des pluies : les écarts pluviométriques liés à un événement ENSO ou LNSO n'apparaissent pas toujours le même mois et l'extension du champs d'anomalies varie d'un événement à l'autre.

Cette étude montre, en particulier, que les événements ENSO sont toujours associés à des saisons des pluies fortement excédentaires (par rapport aux moyennes saisonnières ou mensuelles) en octobre, dans la Corne de l'Afrique et en novembre pour l'Afrique orientale (ces deux régions reçoivent plus de 15 % de leurs précipitations annuelles durant le mois considéré). Par contre, en décembre, dans le sud du domaine d'étude (8-19°S), les relations entre la pluviométrie et l'ENSO sont moins évidentes : pour un événement donné, le signe des écarts est souvent différent d'une station à l'autre. Mais la pluviométrie peut être excédentaire dans des proportions équivalentes, sans qu'il y ait d'anomalies de circulation sur le Pacifique (1961, 67, 68 et 78) ; dans ces cas-là, les anomalies de circulations méridiennes semblent spécifiques à l'océan Indien (cas de 1961 et 1967).

Les événements LNSO correspondent à des anomalies mensuelles négatives de la pluviométrie surtout sur le littoral somalien en octobre, sur l'ensemble du Kenya et la moitié nord de la Tanzanie en novembre. En décembre, pour la région soumise à un régime pluviométrique unimodal (10-19°S), il n'y a pas de relations nettes avec les événements LNSO.

The monthly mean confirmed these results, and demonstrated that the deficit linked to LNSO events especially affected the Somali littoral in October, the whole of eastern Africa (Kenya, Uganda, central and northern Tanzania) in November. On the other hand, in the south of the domain, there was no clear relationship between rainfall and the AOI.

#### IV. CONCLUSION

This study has provided certain supplementary precessions on the relationship between the extreme phases of the Austral Oscillation (Pacific) and rainfall deviations in the eastern part of Africa subject to the Indian monsoon. When we carried out this study we did not exclude station data where deviations were different from the rest of the network (case of Somalia), nor the "residual" part of the initial information (as is performed on the results from principal component analysis). This enabled the amplitude of the deviations of each station to be evaluated but without taking possible errors in the data into consideration. The study on the monthly scale provided detail on the distribution of deviations from the mean within the same rain season : the rainfall deviations linked to an ENSO or LNSO event did not always occur, the same month and the extension of the anomaly field varied from one event to the next.

This study demonstrates, in particular, that ENSO events are always associated with seasons where rainfall figures are very high (in relation to the seasonal or monthly mean) in October, in the Horn of Africa and in November for eastern Africa (in these two regions, more than 15 % of the annual rainfall occurs during the month in question). On the other hand, in December, in the south of the study zone (8°-19°S), the relationships between rainfall and ENSO events are less clear : for a given event, the sign of the deviations is often different from one station to the next... But, rainfall figures can be high everywhere without there being any anomaly in the ocean-atmosphere circulation over the Pacific (1961, 67, 68 and 78), in these cases the meridian circulation anomalies appear to be specific to the Indian Ocean (1961 and 1967 cases).

LNSO events correspond to rainfall negative monthly anomalies, especially over the Somali littoral in October, over the whole of Kenya and the northern half of Tanzania in November. In December, for the region subject to a single mode rainfall regime (10°-19°S), there are no clear relationships with LNSO events.

## REFERENCES

- BELTRANDO G., 1989. – Rayonnement grande longueur d'onde et circulation atmosphérique sur l'Afrique et l'océan Indien : relation avec la pluviométrie en Afrique orientale. *Publ. de l'Assoc. Internat. de Climat.*, 2, 143-150
- BELTRANDO G., 1990. – Space-time variability of rainfall in April and October-November over East Africa during the period 1932-83. *Int. J. of Climat.* 10, 691-702.
- BELTRANDO G., CADET D. L., 1990. – Variabilité interannuelle de la petite saison des pluies en Afrique orientale : relations avec la circulation atmosphérique générale. *Veille Climatique Satellitaire*, 33, 19-36.
- BELTRANDO G., CAMBERLIN P., 1993. – Interannual variability of rainfall in the Eastern Horn of Africa and indicators of atmospheric circulation. *Int. J. Climato.*, 13, 533-546.
- BELTRANDO G., CAMBERLIN P., 1995. – Les sécheresses en Ethiopie et dans l'est de l'Afrique. *Sécheresse*, 6, 87-94.
- CAMBERLIN P., 1994. – *Les précipitations dans la Corne orientale de l'Afrique*. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 379 p.
- HASTENRATH S., NICKLIS A., GREISCHAR L., 1993. – Atmospheric-hydrospheric mechanisms of climate anomalies in the Western Equatorial Indian Ocean. *J. Geophysical Res.*, 98, 20.219-20.235.
- KAPALA A., BORN K., FLOHN H., 1994. – Monsoon anomaly or an El Niño event at the equatorial Indian ocean ? Catastrophic rains 1961/62 in East Africa and their teleconnections. in Proc. Int. Conf. on Monsoon Variability and Prediction, Trieste, 9-13 May 1994. OMM/TD n° 619, 119-126.
- LEROUX M., 1983. – *Le climat de l'Afrique Tropicale*. Ed. H. Champion/M. Slatkine, Paris/Genève. Tome 1 : 636 p., 349 fig. ; tome 2 : notice et atlas de 250 cartes.
- NYENZI S., 1992. – An analysis of the interannual variability of rainfall over East Africa. *J. African Meteo. Soc.*, 1, 57-79.
- OGALLO L. J., JANOWIAK J. E., HALPERT M. S., 1988. – Teleconnection between seasonal rainfall over East Africa and global sea-surface temperature anomalies. *J. Meteor. Soc. Japan*, 66-6, ser. II, 807-822.
- OGALLO L. J., 1989. – The spatial and temporal patterns of the East African seasonal rainfall derived from principal component analysis. *Int. J. Climato.*, 9, 145-167.
- PHILANDER S. G., 1990. – *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*, Academic Press, 293p.
- REVERDIN G., CADET D. L., GUTSLER D., 1986. – Interannual displacements of convection and surface circulation over the equatorial Indian Ocean. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 112, 46-47.
- RICHARD Y., 1993. – *Relations entre la variabilité pluviométrique en Afrique australe tropicale et la circulation océano-atmosphérique*. Thèse, Université d'Aix-Marseille I, 2 vol., 252 p. + 204 figures.
- RICHARD Y., CAMBERLIN P., BELTRANDO G., 1997. – Recherche de structures spatiotemporelles en climatologie : l'exemple de la variabilité pluviométrique en Afrique orientale. Accepté à *Espace Géogr.* pour n° 3-4 (20 pages dactylo., sous presse).
- WARD J. H. 1963. – Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. of the American Statistical Associat.* 58, 256.

Beltrando G., Duchiron B.

Relations entre la pluviométrie mensuelle d'octobre à décembre en Afrique de l'Est et l'indice d'oscillation australe = Relations between monthly october-december rainfall in Eastern Africa and the austral oscillation index.

Veille Climatique Satellitaire, 1996, (58-59), p. 97-110.

ISSN 1144-2026