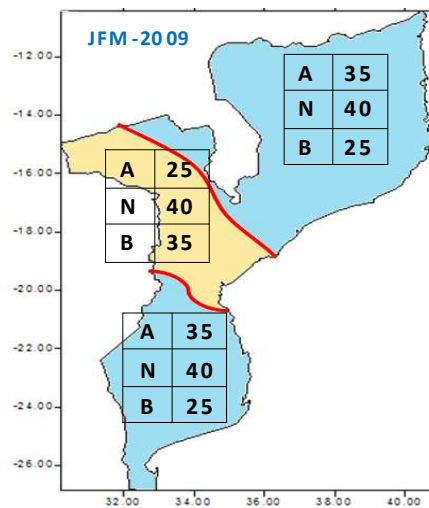


**Master 2 Géobiopshère. Option: Climatologie**

## **Prévisibilité Infra-saisonnnière des précipitations au Mozambique**



Par : **Arlindo Oliva MEQUE**

Sous la direction de: Yves Richard

Dijon, France  
Juin, 2009

## **Remerciements**

Merci tout d'abord au gouvernement Français de m'avoir donné l'opportunité de poursuivre mes études. Je pense ici tout particulièrement aux mes collègues de l'Institut National de Météorologie du Mozambique n'ayant pas eu cette chance.

En second lieu, je tiens à remercier à mon encadrant Yves Richard qui a accepté le défis de m'encadrer, malgré mon handicap en langue Française.

Je remercie chaleureusement toute l'équipe du CRC, pour son accueil et son soutien ainsi que tous ceux qui m'ont aidée et qui m'ont apporté leur sympathie pendant ce travail. Un grand Merci à Julien Crétat pour la patience et l'énorme aide dans le tournage des programmes en Matlab.

Je souhaite également associer ce travail à mes collègues, Paul Arthur, Joseph et Isabel qu'on contribué à enrichir ce travail.

# Sommaire

Résumé étendu .....	01
Introduction .....	03
<b>Chapitre1.Données et méthodes.....</b>	<b>04</b>
<b>Chapitre2.Démarrage de la saison des pluies au Mozambique.....</b>	<b>07</b>
2.1. Anomalies de circulation associées à un démarrage précoce au tardif de la saison des pluies au Mozambique.....	12
2.2. Relation entre la date de démarrage de la saison des pluies et Température de Surface de la Mer.....	16
2.3. Variabilité interannuelle des séquences sèches et pluvieuses.....	19
2.3.1. Séquences sèches.....	20
2.3.2. Séquences pluvieuses.....	27
2.4. Relation entre la date de démarrage de la saison des pluies et le nombre de séquences Sèches.....	31
<b>Chapitre3. Fin de la saison des pluies au Mozambique.....</b>	<b>33</b>
3.1. Longueur de la saison des pluies .....	35
3.2. Corrélation entre le début et fin de la saison des pluies.....	37
<b>Chapitre4.Prévisibilité des cumuls OND et date de démarrage de la saison des pluies...41</b>	
4.1. Prévisibilité des cumuls OND.....	41
4.2. Prévisibilité des dates de début de la saison des pluies.....	43
<b>Conclusion.....</b>	<b>44</b>

## Liste des acronymes

ACP : Analyse en Composante Principale  
CMAP : CPC Merged Analysis Prediction  
CHA: Classification Hiérarchique Ascendante  
CPC: Climate Prediction Center  
DJF: Décembre, Janvier et Février  
ENSO: El Niño Southern Oscillation  
LNSO: La Niña Southern Oscillation  
GPCP: Global Precipitation Climatology Project  
NCEP : National Centers for Environmental Prediction  
NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration  
OND : Octobre, novembre et Décembre  
OLR : Outgoing Longwave Radiation  
SOI : Southern Oscillation Index  
SST : Sea Surface Temperature  
TSM : Températures de Surface de la Mer  
ZCIT : Zone de Convergence Inter-Tropical

## **Extend Abstract**

This study investigates the onset and cessation dates of the rainy season over Mozambique, their interannual variability, and potential relationship with ENSO and regional circulation anomalies. Focus is placed on the onset and cessation dates because these rainy season characteristics are often of more relevance than seasonal rainfall totals to user groups such as farmers, water resource managers and health and tourism officials. The method of cumulative anomalies, applied to principal component analysis (PCA) of the daily rainfall, is employed to generate the rainfall onset and retreat dates series, while the method of stepwise multiple regression analysis was used to construct the required prediction models.

It was found that the mean onset date for the period 1979-2004 is 30 October over the southern part, 19 November over the Central and 21 November over the northern part of the country. A strong gradient exists between the south and the north in terms of rainfall amount, mean onset date and mean cessation date and all areas of the country experience significant variability, although, the variability seems to be strongest over the southern Mozambique. On average, the southern Mozambique experience relatively early onset of rains whereas the central and northern regions tend to show later onset.

Relationships between standardised anomalies in Niño3.4 SST and in onset date were examined. These exist for all regions but appear to be weakest for the northern region. This situation suggests that some other forcing may be responsible for the onset dates. Another relationship found was that between December, January and February (DJF) dry spells and onset dates over Mozambique. There are some periods when the onset and dry spell series are inversely related. An increase in dry spell frequency is observed over the southern and central Mozambique during El Niño years; however, not all seasons with anomalously high dry spell frequency correspond to El Niño. The southern part of Mozambique is frequently subjected to seasons with increased dry spell frequency, whereas northern Mozambique typically has relatively few dry spells during

the austral summer (DJF) rainy season. This decrease in dry spells over the north is likely due to the position of the ITCZ, which is located over the area during the summer.

The correlation between the onset and cessation dates is very weak. In general, an early onset translates to a late cessation and, consequently, to a longer length of growing season.

This study has generated models that can predict rainfall onset dates in Mozambique, using the rainfall-producing factors of sea surface temperature, Outgoing longwave radiation and wind components. At 95% level of confidence, the value of coefficient of multiple determinations of the prediction models generated for the onset dates is significant over the central part of Mozambique. No prediction model was generated for the northern Mozambique. This issue needs to be fully explored in future research, given the importance of these fundamental aspects for the farmers. .

It is hoped that the findings of this study will be of practical application to the planning of the schedule of agricultural activities in different parts of the country.

## Introduction

Les précipitations constituent un élément déterminant dans les régions tropicales et un important facteur socio-économique dans les pays en voie de développement. C'est le cas du Mozambique où l'économie est basée majoritairement sur une agriculture pluviale. Les choix des espèces cultivées et des périodes optimales auxquelles effectuer les travaux agricoles dépendent étroitement du niveau de variabilité interannuelle des pluies et de caractéristiques infra-saisonniers des précipitations telles que la longueur de la saison des pluies, la fréquence des fortes averses ou l'existence de séquences sèches prolongées au sein de la saison des pluies (Camberlin, 1994).

En effet, un cumul saisonnier ou mensuel donné peut résulter de configurations infra-saisonniers de précipitations très différentes et dont l'impact sur les productions agricoles et la ressource en eau ne sera pas équivalent. Par exemple, une saison des pluies enregistrant un cumul anormalement faible peut résulter (i) d'une durée de saison anormalement brève du fait d'un démarrage tardif, ou d'une terminaison précoce ; (ii) de séquences sèches anormalement longues et/ou anormalement fréquentes alors que la durée de saison est normale; (iii) de séquences pluvieuses anormalement peu arrosées alors que la durée de saison et la fréquence et l'intensité des séquences sèches sont normales; (iv) d'une combinaison de ces trois signatures. Dans tous les cas, les parcours techniques adoptés par les agriculteurs (dates de semis, choix des variétés, intrants ...) ou par les gestionnaires de la ressource en eau seront différents afin de mitiger au mieux l'impact de cette variabilité pluviométrique et de réduire leur vulnérabilité.

Cette variabilité infra-saisonniers des pluies, qui tient une place prépondérante dans la production agricole et la ressource en eau, n'a fait l'objet que de très peu d'études et demeure à l'heure actuelle encore très mal connue au Mozambique. Ce travail a pour objectif l'étude de variables clés (dates de début et de fin de saison des pluies, nombre des événements secs et intensité des événements pluvieux) des saisons des pluies au Mozambique et de leur prévisibilité.

## Chapitre1 : Données et méthodes

Nous avons utilisé plusieurs jeux de données, à savoir les réanalyses Américaines NCEP2 (Kanamitsu et al 2002), les données de température de surface de la mer (Reynolds et al 2002), les données OLR (Liebman and Smith, 1996), le fichier de données GPCP issues de produits satellitaires (Xie et al, 2003) et les données quotidiennes et mensuelles de précipitations (originales) fournies par l'Institut National de Météorologie du Mozambique (INAM). Toutes les données ont une résolution de  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  sauf les données provenant de l'INAM.

Les réanalyses NCEP-DOE AMIP-II (NCEP2) proviennent d'une seconde implémentation du modèle du NCEP, permise par la mise à disposition des ressources de calcul du 'Department of Energy (DOE) ' et sous l'impulsion du 'Atmospheric Model Intercomparison Project'. Elles ont été initiées en 1998 afin de corriger ces dérives, ainsi que certaines erreurs humaines notées dans les réanalyses NCEP1. Outre ces corrections, des améliorations ont été apportées à la fois dans les bases de données assimilées, le système d'assimilation lui-même ou la physique du modèle (Phol, 2007).

La base de données OLR est issue d'interpolations basées sur les enregistrements des satellites à orbite polaire de la NOAA, depuis juin 1974 (avec une interruption de 10 mois en 1978 liée à la panne du satellite NOAA-5). Elle est finalement disponible sur une grille régulière de  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ , au pas de temps journalier et sur l'ensemble du globe. Sur l'Afrique, de nombreux travaux ont contribué à prouver son utilité et sa fiabilité (Phol, 2007).

Le fichier GPCP est obtenu en fusionnant les précipitations issues des stations et les précipitations estimées par les satellites. Les données GPCP ont servi pour identifier des zones homogènes au Mozambique en termes de précipitations. Nous avons construit une matrice (25E-45E et 30S-5S) dont le Mozambique en fait partie. Cette matrice a été soumise à la Classification hiérarchique ascendante (CHA). La fig.1 montre l'arbre de classification et la fig.2 montre les zones homogènes. On constate une nette différenciation entre les points de grille du Sud, du Centre et du Nord.



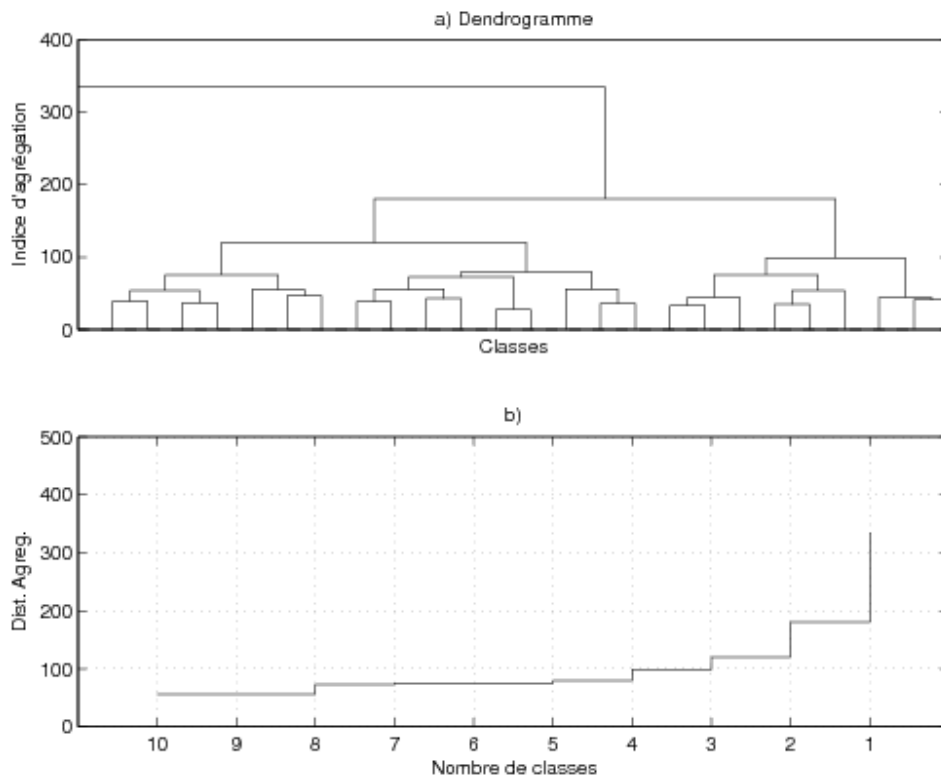


Fig.1. Classification hiérarchique ascendante (CHA) des pluies issues du fichier GPCP pour la période 1979-2004. Les données GPCP sont en pentades.

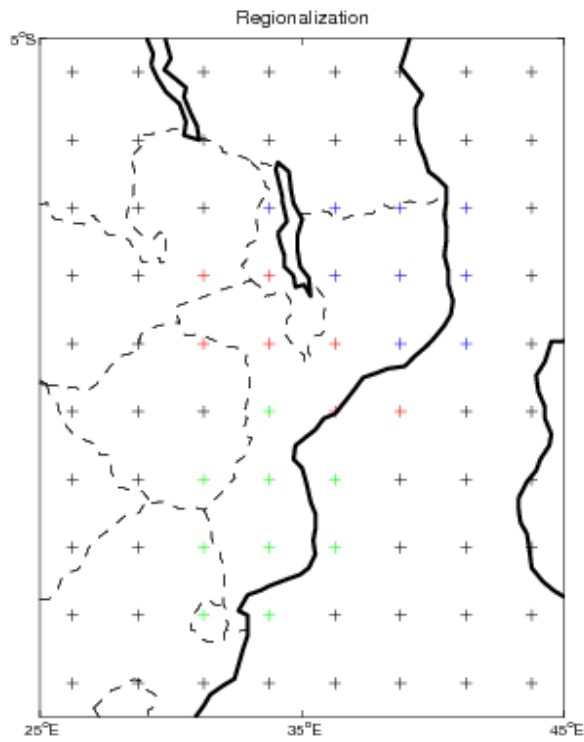


Fig.2. Zones homogènes issues du fichier GPCP.

Etant donné que le pas du fichier GPCP est pentadaire (5 jours), nous avons utilisé les données quotidiennes qui sont beaucoup plus précises pour calculer la date de démarrage et fin de la saison des pluies. Ainsi, à partir des données quotidiennes de précipitations fournies par l'Institut National de Météorologie du Mozambique nous avons choisi 5 stations du sud (Maputo-observatorio, Changalane, Xa-Xai, Inhambane et Vilankulo), 4 stations de Centre (Beira, Quelimane, Tete et Chimoio) et 5 stations du Nord (Nampula, Cuamba, Lichinga, Pemba et Mocimboa da Praia) du pays. Les critères de choix des stations sont au nombre de deux (Dieng et al, 2008):

- Le besoin d'avoir des données fiables, plus régulières avec peu de lacunes ;
- La nécessité de ne considérer que les stations disposant d'une longue série commune de mesure (1979-2004).

Selon ces critères, nous avons donc écarté certaines stations qui comportaient beaucoup de lacunes et ne couvraient pas toute la période d'étude que nous avons choisi (1979-2004), le réseau météorologique au Mozambique a été fortement perturbé durant la guerre civile qui a ravagé le pays.

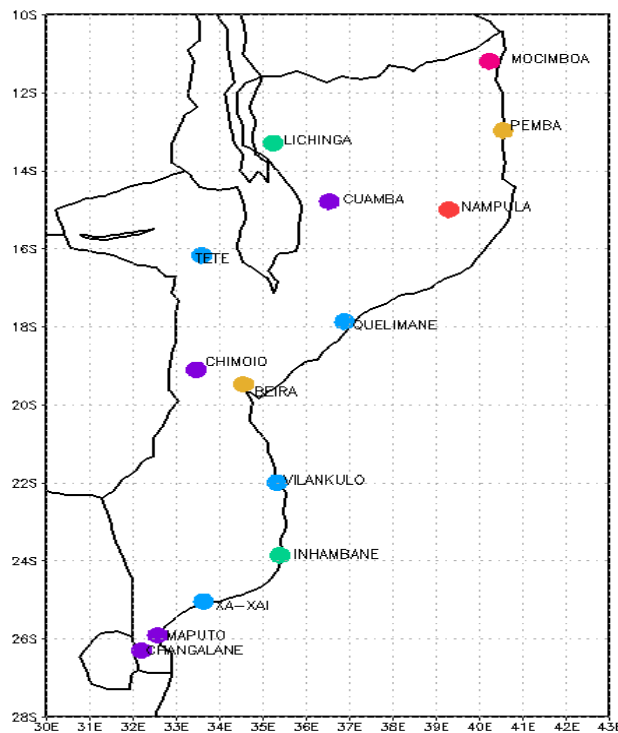


Fig.3. Répartition des stations

## **Chapitre2 : Démarrage de la saison des pluies au Mozambique**

Dans cette étude, nous cherchons à connaître la variabilité interannuelle de la date de démarrage de la saison des pluies au Mozambique. Pour les agriculteurs, une information sur le début de la saison donnée à l'avance serait d'un grand intérêt. En effet, pendant les premières semaines de la semence, une humidité du sol minimale, est requise pour un bon épanouissement de la plante (Hachigonta et al, 2008). Si la semence s'effectue trop tôt, lorsque les pluies sont plus erratiques et les séquences sèches fréquentes, il y aura une insuffisance d'humidité du sol empêchant le processus de germination. En revanche, si la semence se fait trop tard, lorsque les pluies sont plus intenses, la semence pourra être balayée (Reason et al, 2005).

Au cours des années, plusieurs définitions pour le démarrage de la saison de pluies ont été suggérées, par exemple, par Dodd & Jolliffe (2001), Stern et al (1981) et Sivakumar (1988). Selon Odenkule (2005), le début de précipitations peut être considéré comme la période, au début de la saison des pluies, où la distribution de précipitations devient adéquate pour le développement des plantes.

Selon Camberlin et Diop (2003), les méthodes pour identifier les dates de démarrage et fin de la saison des pluies peuvent être divisées en deux catégories principales : celles basées sur la distribution de précipitations (ou plus largement l'équilibre d'eau) et celles prenant en considération la dynamique de la atmosphère. Dans la Première Catégorie nous trouvons un nombre élevé des méthodes, la plus part du temps appliquées au niveau de la station, et souvent pour motifs agricoles.

Pour calculer les dates de début et fin de saison des pluies au Mozambique nous avons utilisé la méthode développée par Camberlin et Diop (2003). Cette méthode est basée sur le cumul des anomalies appliquées sur l'ACP des pluies quotidiennes. Ainsi, nous avons construit trois matrices de données, la première pour la région sud du Mozambique, la deuxième pour la région Centre et la dernière pour la région Nord. Chaque matrice a été soumise à une ACP. La date de démarrage de la saison des pluies correspond à la valeur minimum du cumul des anomalies de la première composante principale (fig.4). Cette date est calculée pour l'ensemble de données de chaque région ainsi que pour chaque station.

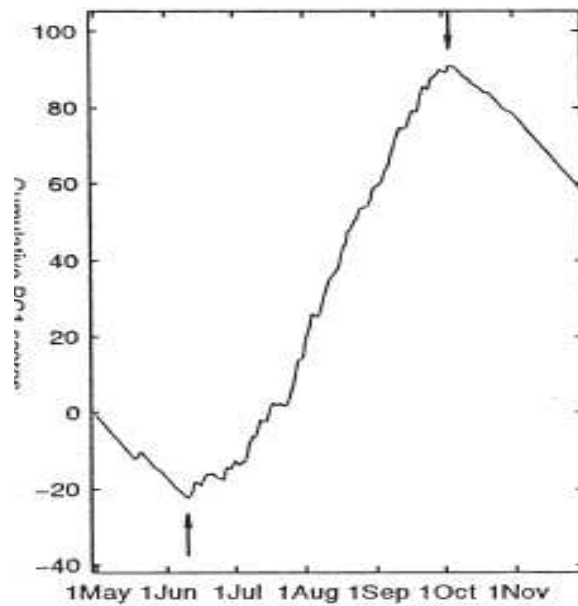


Fig.4. Cumul de la première composante principale (CPI). La première flèche correspond à la date de démarrage de la saison et la deuxième flèche montre la date de fin de la saison. Adapté de Camberlin & Diop (2003).

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est parmi les méthodes le plus largement et intensivement répandues en sciences atmosphériques pour étudier la variabilité des paramètres du climat (Hannachi et al, 2007). L'ACP est fondamentalement une méthode de réduction du nombre de variables. A partir d'une matrice à K variables et N individus, elle permet de trouver le nombre minimum de composantes significatives indépendantes, par combinaisons linéaires des variables initiales, capables de représenter un pourcentage donné de la variance totale (Rossianol, 1986).

L'ACP est utilisée dans le sens spatial, c'est-à-dire que les stations sont considérées comme étant les variables et les jours comme étant les observations. Avant de faire des analyses, les racines carrées des données ont été calculées afin de réduire le « skewness ». Etant donné que la saison de pluies au Mozambique commence presque en octobre et finit en Avril/Mai de l'année suivante, nous ne nous sommes pas basés sur le calendrier civil. Nous avons organisé nos données de telle sorte que toute la saison de pluie tombe au sein d'une même année. Ainsi, au lieu de considérer une année de Janvier à Décembre, nous avons considéré comme année complet la période Juillet-juin.

Pendant les calculs, nous avons forcé que toutes les saisons des pluies démarrent au plus tard le 31 Décembre, en effet quelques années comme 2002, la saison n'a presque démarré au Centre du pays.

La fig.5 montre les dates de démarrage des saisons des pluies au sud du Mozambique au cours des 26 saisons. La première composante principale explique 47% de la variance totale. L'année 1981 a connu un démarrage précoce tandis que les saisons de 1982 et de 1994 ont été marquées par un début très tardif. Pour la région sud, la date moyenne de démarrage de saison des pluies est le 30 Octobre avec un écart type de 20 jours.

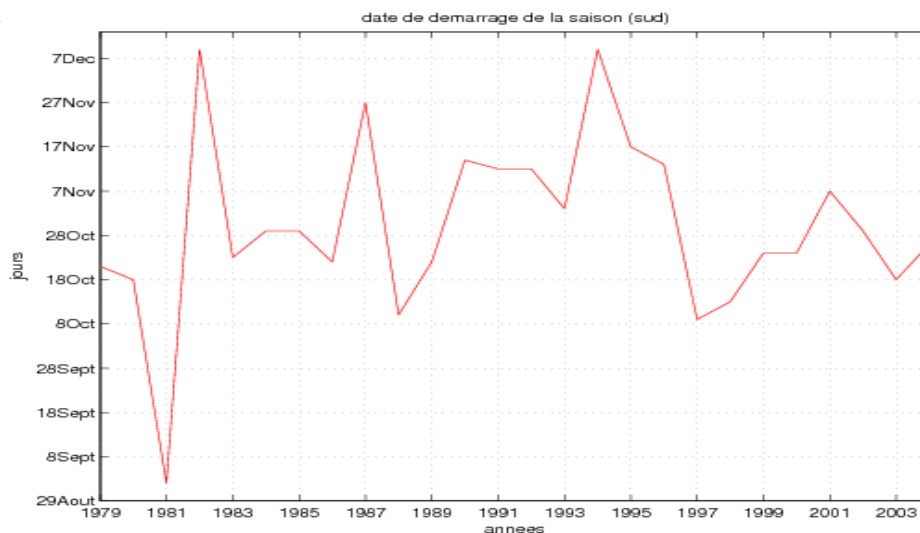


Fig. 5. Date de démarrage de la saison au Sud

Au centre du pays (fig.6), la première composante principale explique 52% de la variance totale. La saison 1983 a connu un démarrage très tardif et en 2002 la saison des pluies n'a presque pas démarré. Un comportement similaire est vérifié lors de la saison suivante (saison 2003). A l'opposé, la saison 1988 a été précoce, comme 2000. La date moyenne de démarrage de saison de pluies au centre du pays est le 19 Novembre avec un écart type de 19 jours.

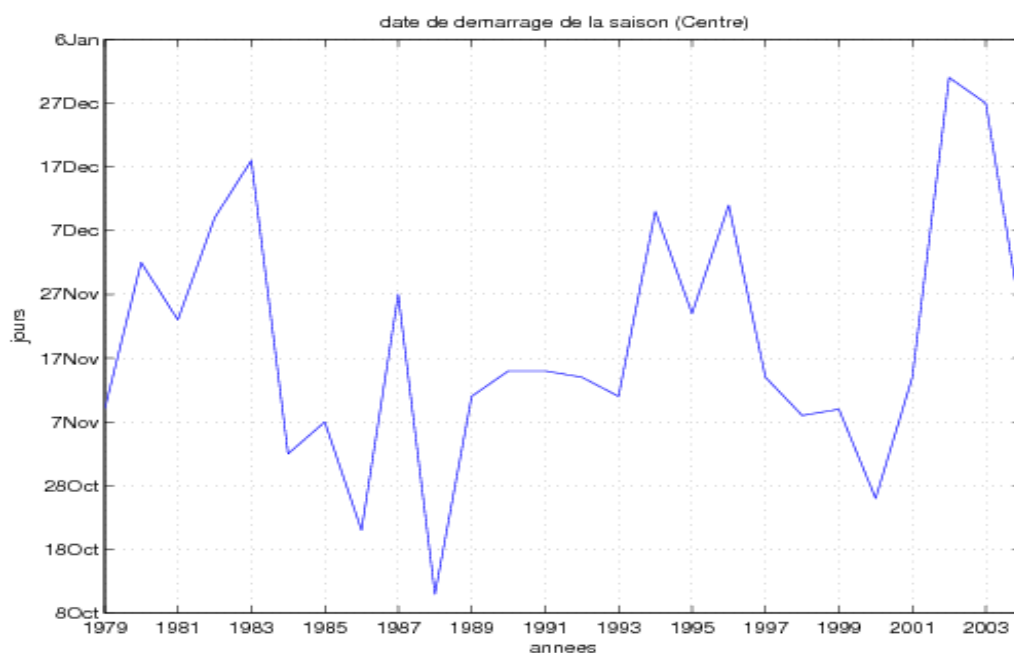


Fig.6. Date de démarrage de la saison au centre

Au Nord du pays, la première composante principale explique 47% de la variance de données. Les années 1988 et 2000 ont eu un démarrage très précoce. En revanche, les années 1983 et 1993 ont eu un démarrage très tardif. Le 21 Novembre a été trouvée comme étant la date moyenne de début de la saison de pluies au Nord du Mozambique avec un écart type de 14 jours (fig.7).

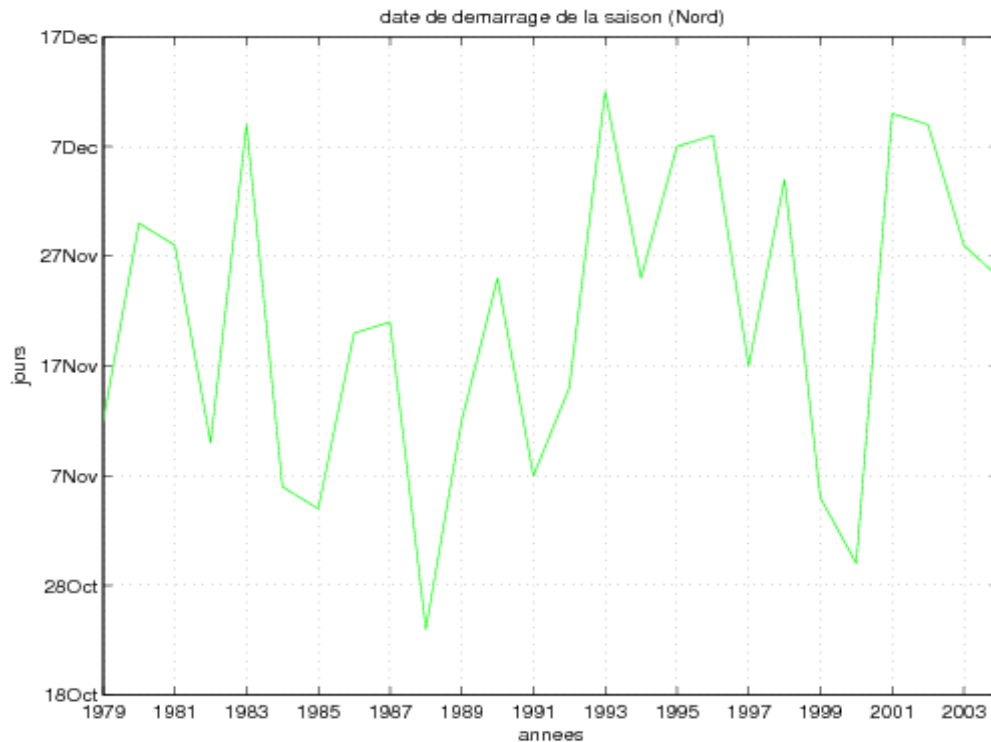


Fig.7. Date de démarrage de la saison au Nord

Dans les trois régions, on assiste à une variabilité interannuelle considérable de la date de début de la saison. Néanmoins, cette variabilité semble être moins marquée au Nord du Pays. En effet, la région sud, où la date de démarrage de la saison est le 30 Octobre, possède l'écart type le plus élevé tandis que au Nord, où la saison des pluies commence midi Novembre, possède un écart type de deux semaines. En général, la saison des pluies commence tôt au Sud du pays qui éprouve parfois des précipitations significatives en Septembre et avance progressivement vers la région centre et Nord, preuve que cette date n'est pas directement fonction de la position latitudinale de la Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT) qui, en octobre, novembre et Décembre (OND) se déplace depuis le Nord vers le Sud.

## 2.1. Anomalies de Circulation Associées à un démarrage précoce ou tardif de la saison des pluies

Afin d'étudier les patterns associés à un démarrage précoce ou tardif, chaque saison a été soigneusement observée en utilisant les données NCEP. En suite, les analyses composites ont été construites. Nous avons calculé les anomalies standardisées pour chaque région. Ainsi, les années qui possèdent une anomalie standardisée supérieure à 1 (inférieure à -1) ont été considérées comme tardives (précoces).

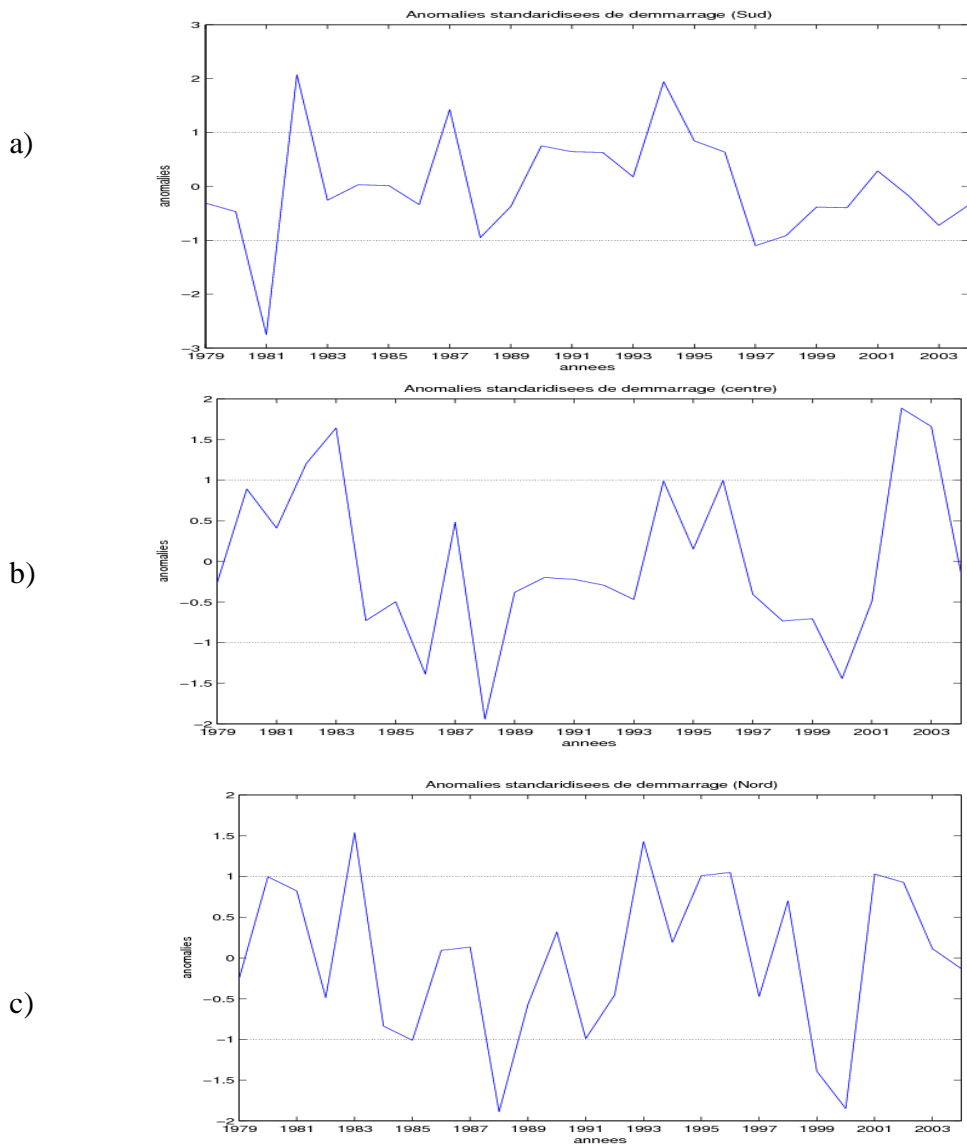


Fig. 8. Anomalies standardisées de début de la saison des pluies au Sud (a), au Centre (b) et au Nord (c). Les lignes horizontales montrent les anomalies supérieures (inférieures) à 1(-1).



Au Sud, une analyse composite sur le flux d'humidité (fig.9) pour les 4 années où le démarrage de la saison des pluies est précoce montre la présence d'anomalies cycloniques et l'existence d'une convergence (fig.10) dans la zone côtière. Par contre, pour le démarrage tardif, chacune des trois années présente sa particularité. Par exemple la saison 1982/83 est dominée par un fort flux de nord-ouest qui commence dans l'océan Atlantique et traverse l'Angola, Zambie, Zimbabwe jusqu'au canal du Mozambique. La saison 1987/88 est dominée par des anomalies de sud-ouest associées à une zone de basses pressions au sud de Madagascar. Finalement, la saison 1994/95, où nous assistons aussi à un démarrage tardif, est dominée par des anomalies cycloniques qui provoquent un flux d'Est en provenance de l'Océan indien vers le continent.

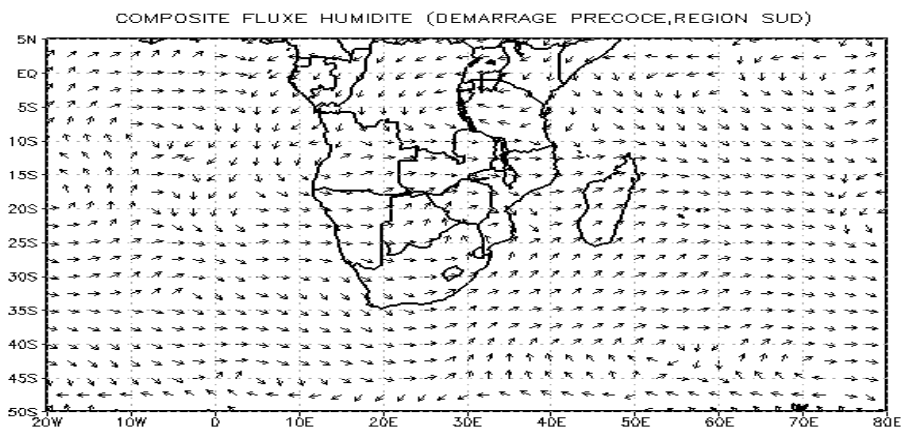


Fig.9 Analyse composite des anomalies de flux d'humidité pour les mois d'Août, Septembre et Octobre au niveau de 850 hpa. L'unité de flux d'humidité est  $0.1 \text{ kg/kg ms}^{-1}$

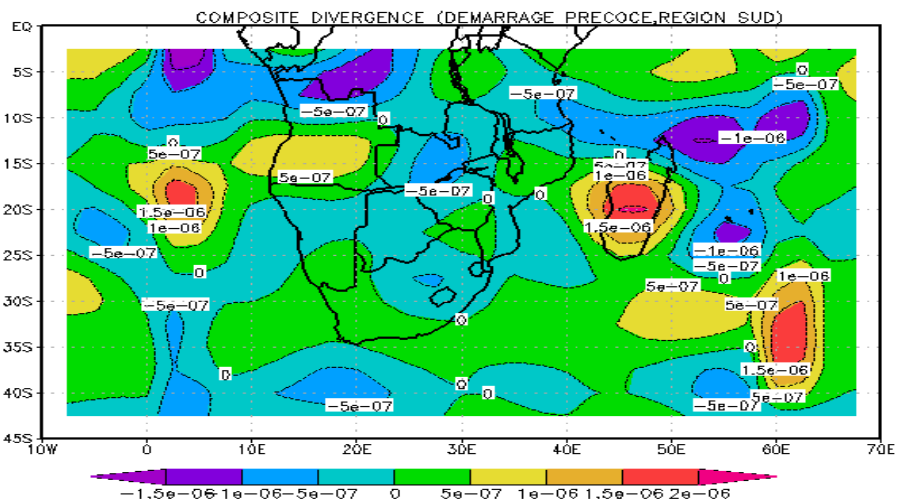


Fig.10. Analyse composite des anomalies de divergence du vent (une divergence négative signifie une Convergence).

Au Centre, en excluant la saison 1994/95 (qui est dominée par des anomalies d'Est), les saisons des pluies restantes, où le démarrage est tardif, sont dominées par des anomalies de Sud-ouest, voir ouest (fig.11). Les anomalies d'Ouest sont responsables du manque d'humidité en Afrique Australe (Mason, 2001). De façon similaire comme la région Sud, les saisons où le démarrage est précoce ne possèdent pas un pattern commun. Chacune a ses spécificités. Par exemple, la saison 1986/87 est dominée par des anomalies intenses d'un flux d'ouest provenant d'un centre de basses pressions au nord du Canal du Mozambique. La saison 1988/89 est caractérisée par des anomalies de Sud-est qui se transforment en anomalies de sud-ouest dans l'intérieur du Zimbabwe. Et finalement, la saison 2000/01 est caractérisée par des anomalies de Nord-est associées à une large circulation anticyclonique qui couvre presque l'Afrique Australe.

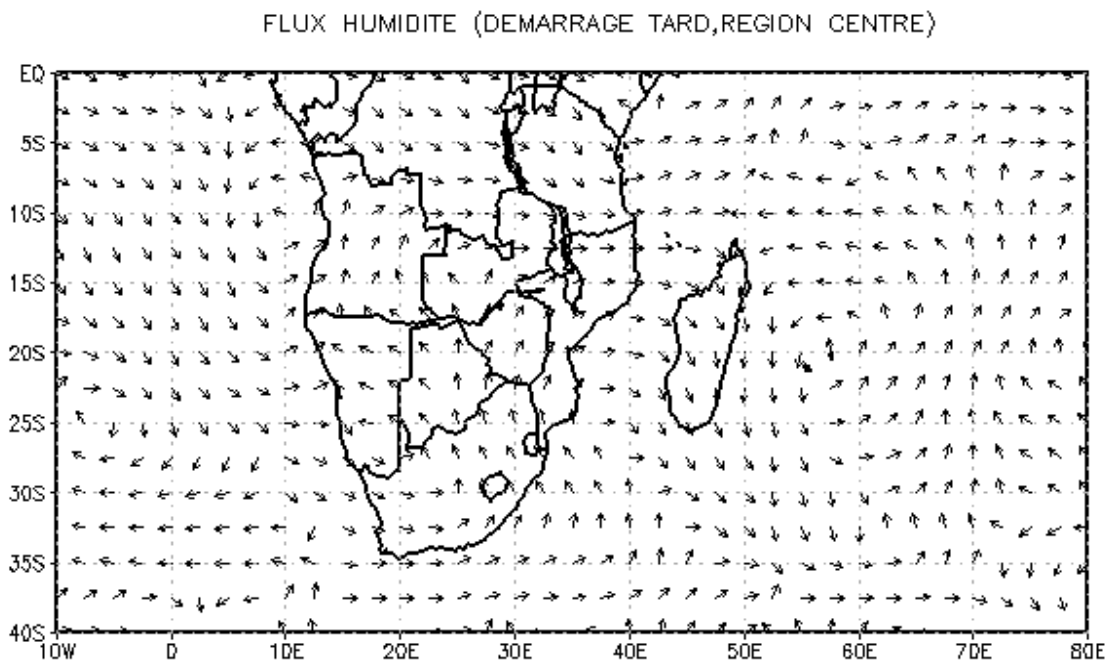


Fig.11. Analyse composite des anomalies de flux d'humidité pour les mois d'Octobre, Novembre et Décembre au niveau de 850 hpa. L'unité de flux d'humidité est  $0.1 \text{ kg/kg ms}^{-1}$

Le démarrage précoce au Nord du pays est dominé par des anomalies de flux d'Est, une circulation anticyclonique s'impose au Nord du Madagascar. Un flux d'Est favorise l'entrée de l'humidité depuis l'Océan Indien (Mason, 2001).

Pour les saisons où le démarrage est tardif, on voit la présence d'anomalies d'Ouest provenant d'un centre de basse pression qui s'installe au sud du pays (fig.12) et qui affecte une grande partie de l'Afrique Australe. La fig.13 qui représente les anomalies de géopotentiel renforce cette idée d'un centre de basse pression très creusé.

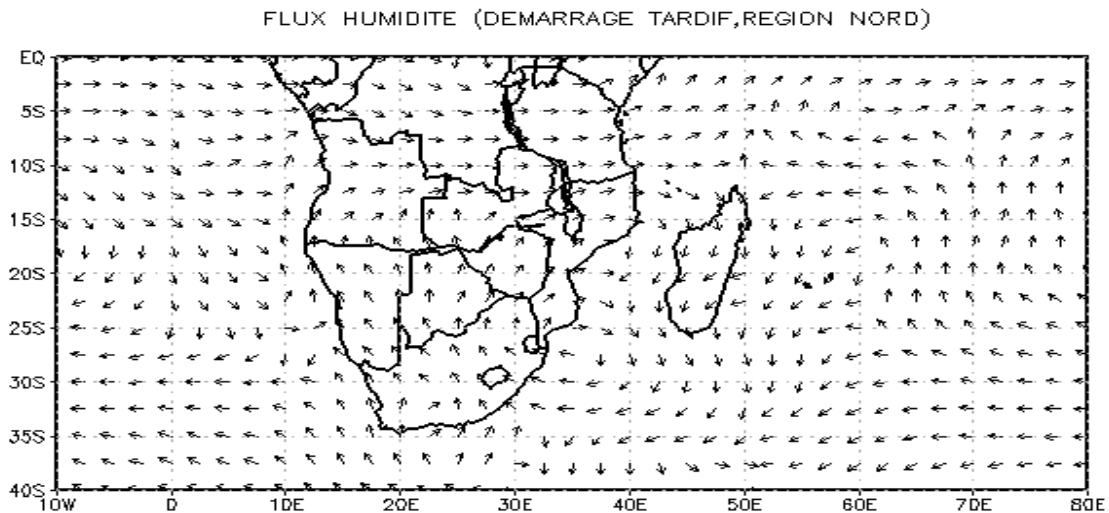


Fig.12. Analyse composite des anomalies de flux d'humidité pour les mois d'Octobre, Novembre et Décembre (OND) au niveau de 850 hpa. L'unité de flux d'humidité est  $0.1\text{kg/kg ms}^{-1}$

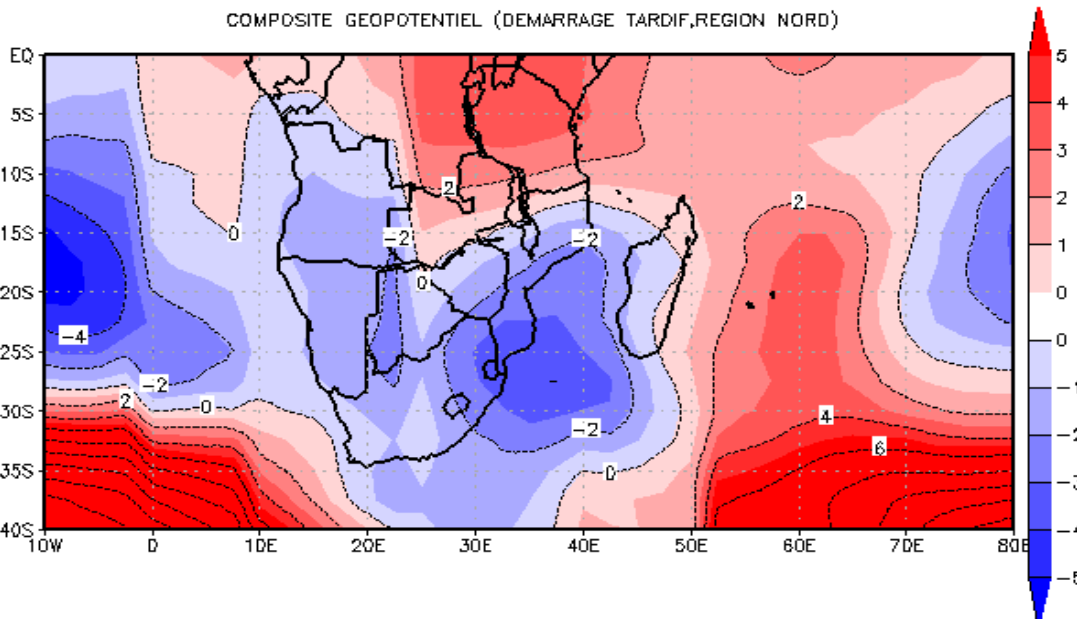


Fig.13. Analyse composite d'anomalies de Geopotentiel au niveau de 850 hpa. L'unité du geopotentiel est le mètre.

## **2.2. Relation entre la date de démarrage de la saison des pluies et la Température de Surface de la Mer (TSM)**

Les événements El Niño Southern Oscillation (ENSO) /La Niña Southern Oscillation (LNSO), qui se produisent dans la région équatoriale de l'océan Pacifique, contribuent significativement à la variabilité interannuelle des précipitations dans les tropiques (Rautenbach & Smith, 2001).

Le terme d'El Niño, qui désigne aujourd'hui la phase chaude de l'ENSO, correspond à un réchauffement anormal du Pacifique tropical observé en moyenne tous les 4 ans, d'une durée de l'ordre de 18 mois, maximal dans les régions d'upwelling, i.e. dans le Pacifique Equatorial central et/ou le long des côtes sud-américaines. La signature atmosphérique d'El Niño est fournie par l'affaiblissement des alizés dans le Pacifique Equatorial central et Est associé à l'extension vers l'Est des vents d'Ouest habituellement observés à l'Est de la ligne de changement de date, par le décalage et/ou l'extension vers l'Est de la zone convective du Pacifique Ouest, et par des valeurs négatives de SOI (Southern Oscillation Index). Le SOI, ou Indice d'Oscillation Australe, est calculé comme la différence de pression Standardisée entre Papeete à Tahiti (149°W, 17°S) et Darwin en Australie (131°E, 12°S). Il rend compte du balancement dans le champ de pression sur le bassin Pacifique (Phol, 2007).

La phase froide La Niña est quant à elle caractérisée par des anomalies froides de SST associées à un upwelling Equatorial anormalement associée à des vents d'Est anormalement forts dans le Pacifique Equatorial central et Est, à de faibles vents d'Ouest dans le Pacifique Ouest, et à des valeurs positives de SOI (Pelletier-Belamari, 2002). La phase chaude (El Niño), coïncide normalement avec des précipitations en dessous de la normale au Mozambique comme sur en grande partie de l'Afrique Australe (Lindsay et al 1988, Richard et al 2000). Ces conditions sèches ont un impact négatif sur la ressource en eau, les activités agricoles et la production alimentaire. La phase froide (La Niña), coïncide normalement avec des précipitations abondantes en Afrique Australe.

Étant donné que les anomalies de Températures de Surface de la Mer (TSM) subissent généralement des changements lents au niveau infra-saisonnier, elles peuvent être explorées comme les prédicteurs possibles du début et fin de la saison des pluies (exemple, Gonzalez & Barros, 2002). Ainsi, nous avons essayé de regarder le lien possible entre les dates de démarrage de la saison des pluies et les anomalies standardisées de la TSM des mois de Septembre de la région Niño3.4 (fig.14).

En regardant la fig.14, on voit des années où la date de démarrage est en phase avec les anomalies Niño3.4. Mais plusieurs années ont une relation inversée. Cette relation inversée (en apparence) est plus marquée au Nord. En effet, le coefficient de corrélation est de 0.23 au Sud, 0.40 au Centre et 0.13 au Nord pays. Une étude menée pour Hachingonta et al (2008), a montré une relation inversée entre la date de démarrage de la saison de pluies et les anomalies Niño3.4 au Zambie. Une conclusion similaire a été trouvée pour Reason et al (2005) dans leur étude sur la variabilité de nombre de séquences sèches et la date de démarrage de saison de pluies sur la région de Limpopo au nord de l'Afrique de Sud.

Si on considère chacune des saisons, on voit que l'événement EL Niño de 1982 a été accompagné par un démarrage tardif de la saison des pluies au Sud et au centre du pays et que l'événement La Niña de 1988 a été accompagné par un démarrage précoce de la saison des pluies dans les trois régions. La relation est plus faible à partir de l'année 1989.

On ne connaît pas ce qui pourrait être la cause de cette inversion dans le rapport, cependant, il y a d'évidences d'existence d'une sensibilité des précipitations en Afrique Australe aux variabilités décennales (Reason et al 2005). Par exemple, l'événement EL Niño de 1997, au lieu de produire une sécheresse étendue en Afrique Australe, a été associé à des pluies intenses. Inversement, l'événement La Niña de 1998 n'a pas causé des précipitations abondantes prévues (Mason, 2001). Ceci peuvent être le signe d'une variabilité décennale déjà noté par Richard et al (2000) entre les années 50 et 60 d'une part, versus 70 et 80 de l'autre.

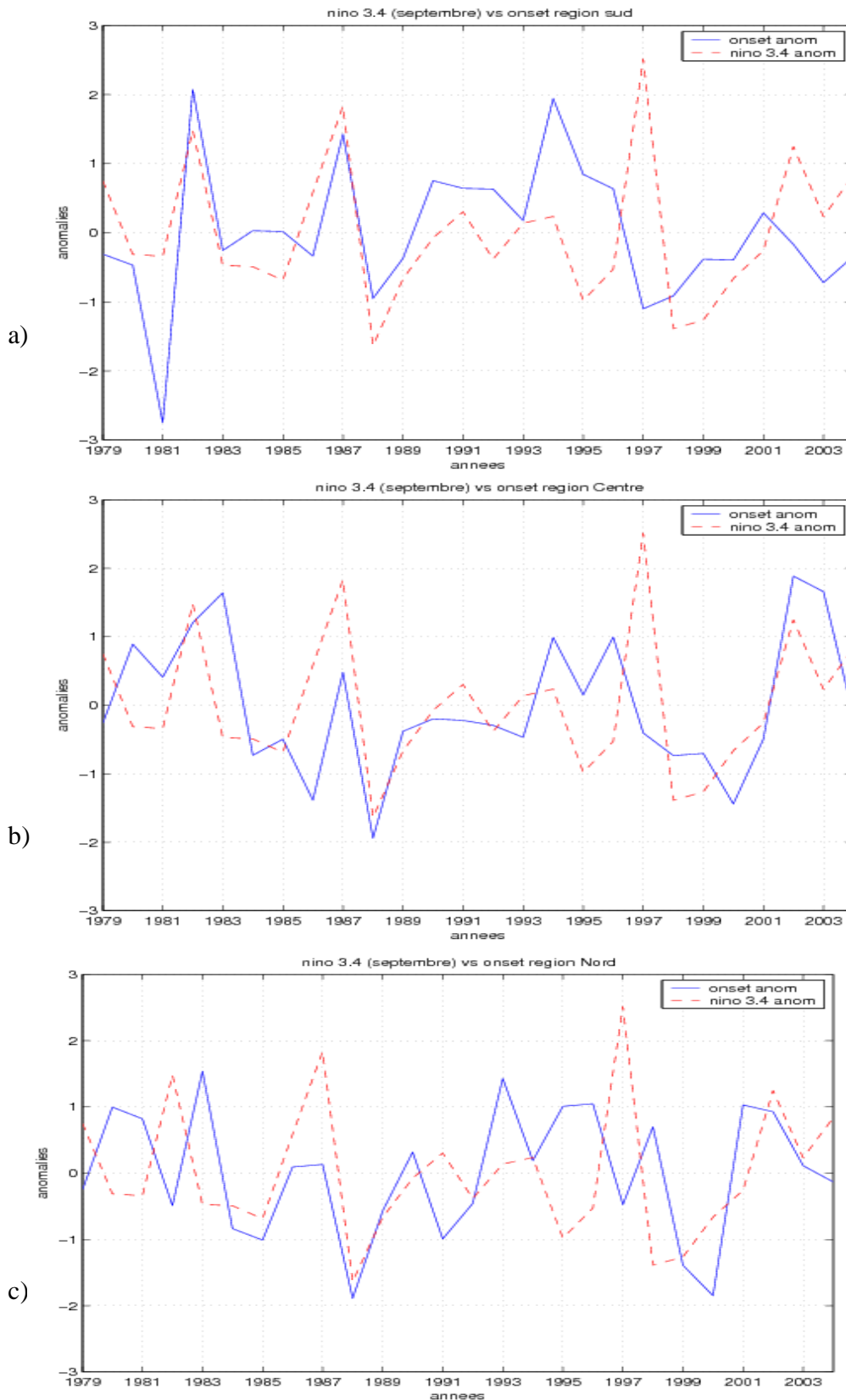


Fig.14. Corrélation entre les anomalies standardisées de date de démarrage de la saison des pluies et les anomalies de TSM de mois de septembre de la région Niño3.4 pour le Sud (a), le centre (b) et Nord (c).

### **2.3. Variabilité interannuelle des séquences sèches et pluvieuses**

Sous le climat tropical, la saison des pluies au Mozambique est caractérisée par la présence de séquences sèches et pluvieuses. Les nombres de séquences sèches pendant la saison des pluies et leur variabilité interannuelle est d'un particulier intérêt pour les agriculteurs et autre groupes (Mapande et Reason, 2005).

Selon Hachigonta et Reason (2006), les saisons de pluies enregistrant des séquences sèches anormalement fréquentes ont causé d'énormes problèmes économiques, sociaux et environnementaux sur la majorité de l'Afrique. L'occurrence d'épisodes secs ou pluvieux à certaines phases clés de la saison des pluies a des conséquences néfastes sur le développement des plantes cultivées, ce qui peut empêcher la plante d'accomplir la totalité de son cycle végétatif.

Une connaissance de la variabilité des événements secs et pluvieux dans la saison de pluies au Mozambique est d'une importance vitale pour la prévention des famines et crises alimentaires. La prévision saisonnière des pluies permet d'améliorer la gestion des ressources en eau ainsi qu'une plus grande souplesse des réponses économiques (Camberlin, 1994).

Dans cette étude, nous avons essayé d'analyser le pattern d'occurrence des événements secs et humides, pour cela nous nous sommes concentrés sur la période DJF que représente le cœur de la saison des pluies au Mozambique. Nous avons considéré un événement sec un jour au minimum où la précipitation ne dépasse pas 1 millimètre. Par contre, nous avons considéré événement humide le jour au minimum où la précipitation est supérieure à 4 millimètres.

Les événements secs et leur variabilité ont été déjà étudiés pour l'Afrique Australe par Usman et Reason (2004). Ils ont défini un événement sec comme la pentade (période de 5 jours) où la précipitation est inférieure à 5 mm. Notre approche est plus précise car repose sur des précipitations quotidiennes.

### 2.3.1. Séquences sèches

La région sud du Mozambique est fréquemment soumise à des saisons avec un nombre élevé des séquences sèches tandis qu'au Nord on assiste à un nombre relativement réduit des séquences sèches. En effet, en moyenne, 16 épisodes secs sont observés chaque saison au Sud contre seulement 11 au Nord du pays. La Zone Centre survient au milieu avec, en moyenne, 13 épisodes secs. En ce qui concerne la longueur d'une séquence sèche, c'est encore la région sud qui est en tête. La durée moyenne d'un épisode sec est de 3.2 jours au sud, contre 2.4 jours au centre et 1.6 jours au Nord.

Au Sud, la saison 2004/2005 est en tête pour ce qui concerne le nombre des séquences sèches. Lors de cette saison, 20 séquences sèches ont été observées, suivie par les saisons 1979/1980, 1985/86, 1996/1997 et 1997/98 qui ont enregistré chacune 19 séquences sèches. En 1995/1996 seulement 11 séquences sèches ont été observé. La durée la plus longue d'une séquence sèche au sud du pays est de 5.2 jours (observée en 1987/88). La durée la plus courte est observée en 1988 /99, avec 1.9 jours.

Au centre du pays, on voit que c'est la saison 1983/84 qui possède le nombre le plus élevé (20) de séquences sèches, suivi par les saisons 1991/92 et 2001/02 avec 18 séquences sèches chacune. Les saisons 1994/95, 1996/1997 et 1997/8 présentent chacune 8 séquences sèches. Elles sont suivies par les saisons 1985/86 et 88/89 où 9 séquences sèches ont été observées. La durée minimale de la séquence sèche est de 1.4 jours, observée en 1998/99 tandis que la durée maximale est de 3.7 jours observée en 1988/89.

Au Nord du pays, nous constatons qu'en 1991/92 17 épisodes secs ont été observés. 1991/92 est suivie par la saison 1981/82 qui possède 15 séquences sèches. En moyenne, 11 épisodes secs ont été reportés chaque saison. La saison 1998/99 présente le nombre de séquences sèches le plus faible (6), suivie par les saisons 1999/00 et 1988/89 et 1996/97 qui présentent chacune 7 et 8 séquences sèches, respectivement. La durée maximale de la séquence sèche est de 4 jours et la durée minimale est de 1 jour.



La faible présence des événements secs au Nord du pays dans l'été austral (DJF), est forcément liée à la Zone de Convergence Inter-Tropical (ZCIT) que si localise dans la région pendant cette période (fig.15). A l'échelle planétaire, La ZCIT est associée aux zones de plus basses pressions de la bande intertropicale et résulte de la convergence des vents au niveau de ces basses pressions. Elle se caractérise par des mouvements ascendants engendrant le développement de nuages convectifs pluvio-gènes qui participent au maintien de la balance énergétique de la zone équatoriale (Philippon, 2002).

La ZCIT est soumise à de grandes migrations méridiennes gouvernées par le déplacement du maximum de température, en liaison avec le mouvement apparent du soleil. Au dessus des continents, la ZCIT évolue entre 10°N et 10°S (Pelletier-Belamari, 2002).

Pendant l'été de l'hémisphère Sud, la ZCIT se prolonge diagonalement à partir de l'Afrique de l'Ouest vers l'Afrique Australe. Dans les régions océaniques (à l'exception de l'océan Indien occidental), la migration saisonnière de la ZCIT reste confinée dans l'hémisphère Nord. dans la bande de latitude comprise entre l'équateur et 10°N.

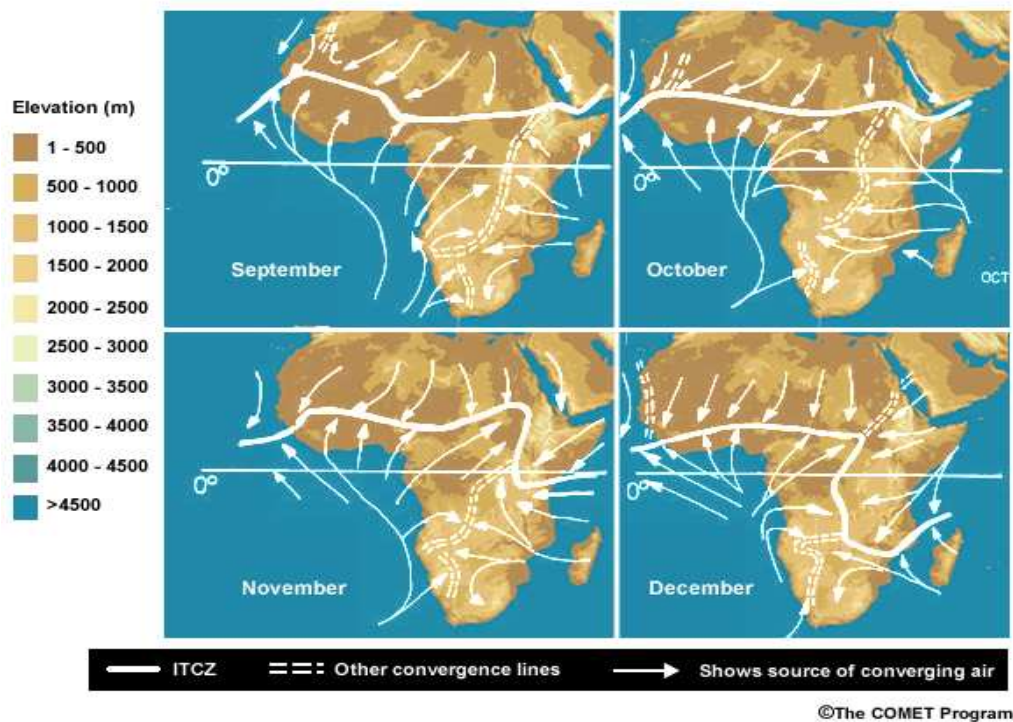


Fig.15. Circulation moyenne sur l'Afrique (adapté du The Comet Program).

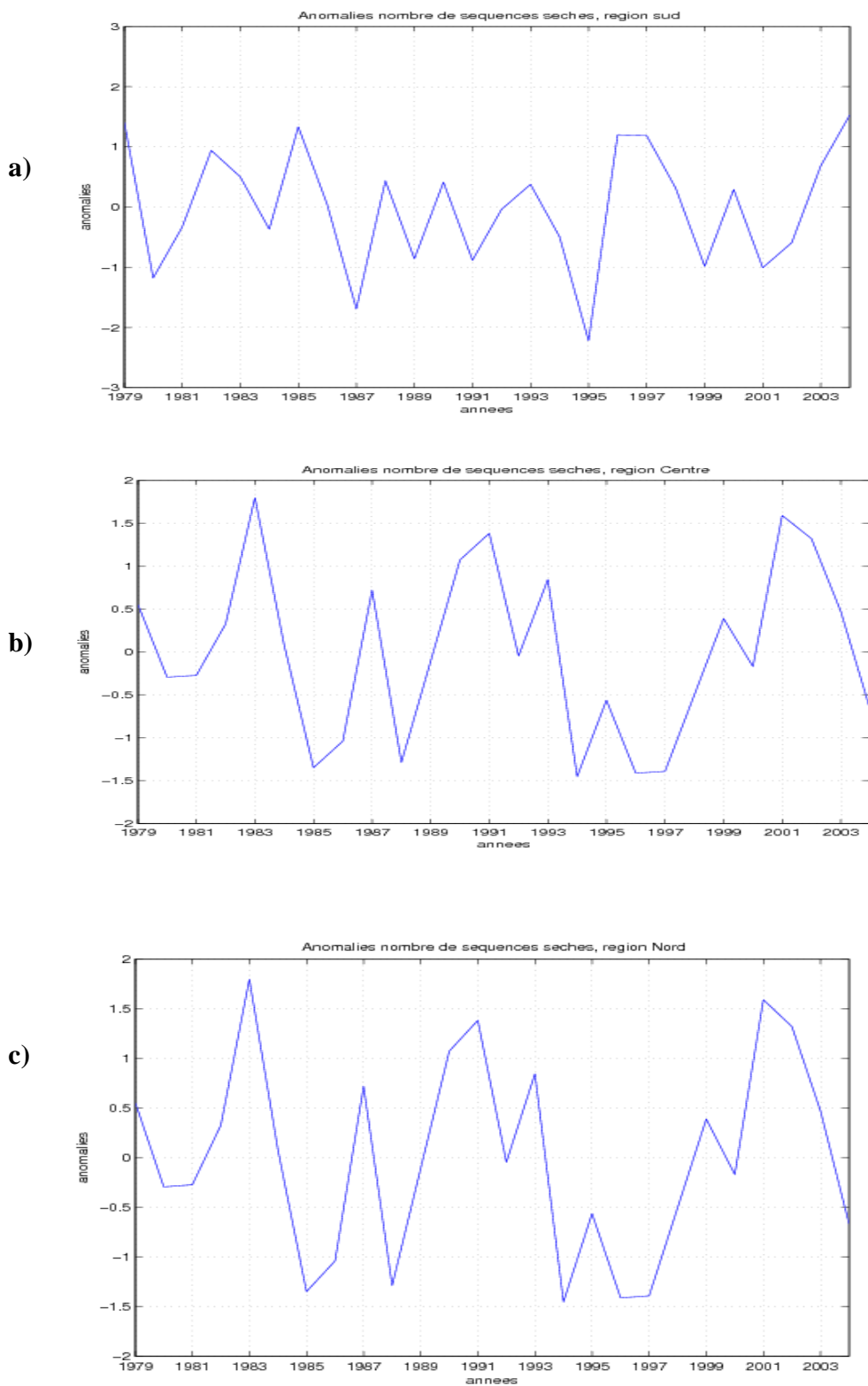


Fig.16. Anomalies standardisées du nombre de séquences sèches au Sud(a), au centre(b) et au Nord(c).

Des anomalies globales de température de surface de l'océan ont été souvent analysées afin de mieux comprendre les facteurs qui peuvent être responsables d'une saison plus sèche ou plus humide dans différentes régions du globe (Rautenbach & Smith, 2001). En utilisant le fichier de données CMAP, Usman et Reason (2004) ont trouvé une forte corrélation entre le nombre des séquences sèches et les anomalies Niño3.4. Selon eux, en général, les épisodes El Niño sont accompagnés d'un nombre élevé des séquences sèches tandis que les épisodes La Niña sont accompagnés d'un nombre réduit des séquences sèches. Pendant la phase mûre des événements ENSO (La Niña), une grande partie de l'Afrique Australe tend à être dominée par des anomalies de hautes (basses) pressions et par un décalage de la circulation de Walker, comme résultat, ces conditions sont favorables à une augmentation (réduction) de nombre des séquences sèches (Reason et al, 2005).

En regardant la fig.17, nous constatons qu'il y a des années qui suivent le profil décrit par Usman et Reason (2004). Toutefois, on note aussi l'existence d'années qui ne suivent pas ce profil. Selon Hachigonta et Reason (2006), il y a quelques différences entre les données CMAP et les données de stations. Un point faible pour les données CMAP est leur résolution spatiale ( $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ) et même temporelle (pentade). En effet, Tadross et al (2003), ont montré que les données CMAP sont biaisées. Ce biais est lié à des erreurs d'estimation par les satellites. Ils ont trouvé aussi des différences en ce que concernent les dates de démarrage de la saison des pluies. En général, les données CMAP ont une date de démarrage beaucoup plus en avance que celle issues des données des stations.

Le coefficient de corrélation (fig.17) est de 0.14 pour la région sud, 0.10 au Centre et 0.4 au Nord. On voit que l'année El Niño 1991 a connu beaucoup de séquences sèches au centre et Nord du pays et que l'année La Niña de 1988 a eu peu d'événements secs. On constate aussi, qu'il y a des années neutres qui présentent un nombre élevé ou réduit des séquences sèches. I.e., pas tous les épisodes secs (humides) sont causés par El Niño (La Niña). Il y a d'autres variables à l'origine des conditions sèches.

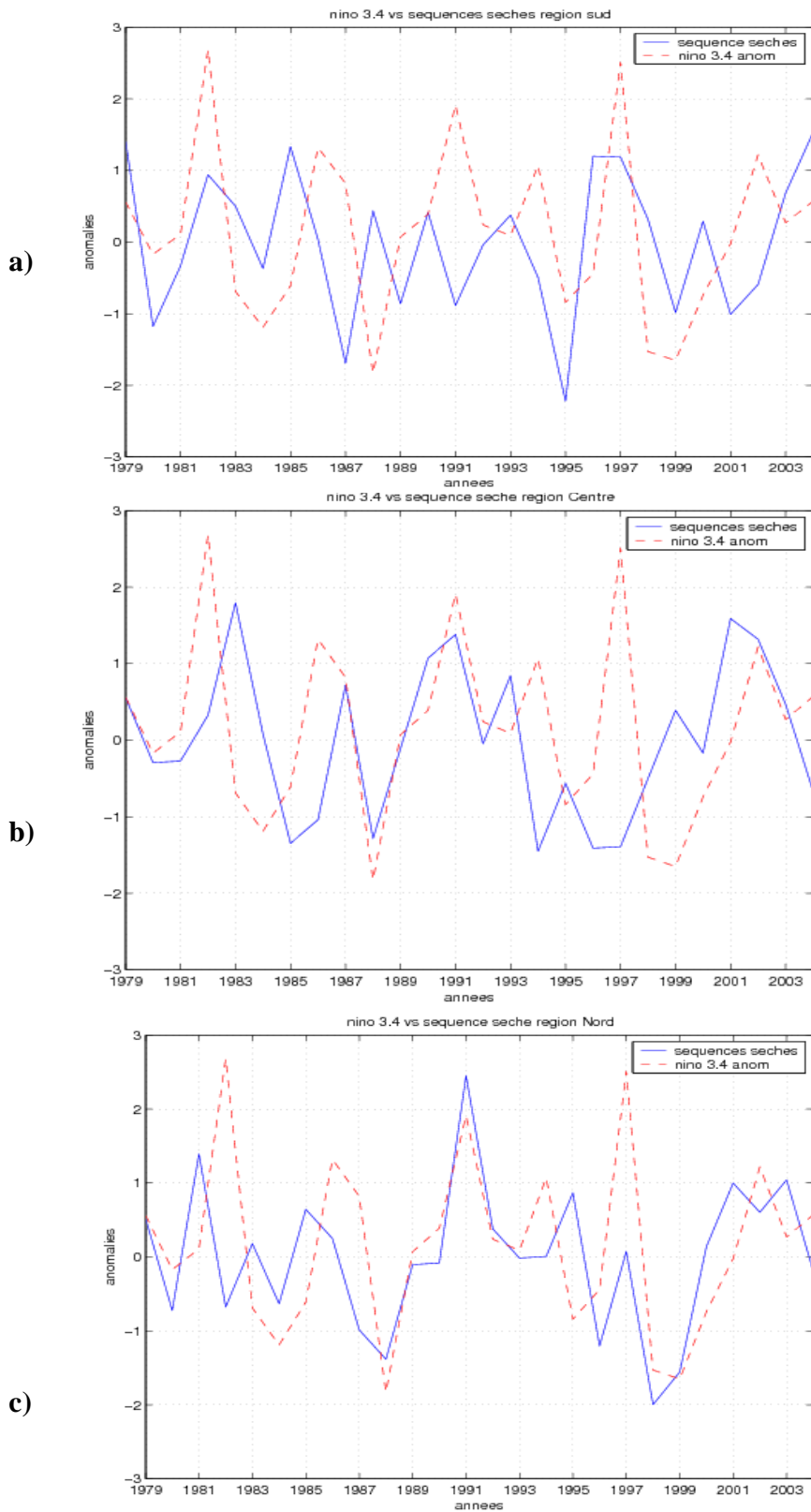


Fig.17. Corrélation entre les anomalies standardisées du nombre séquences sèches et anomalies de TSM de la région Niño3.4 au Sud(a), au Centre(b) et au Nord(c).

Nous avons effectué une analyse similaire entre les anomalies standardisées de la longueur de la séquence sèche et les anomalies standardisées de Niño3.4 (fig.18) de mois de Novembre. En général, lors des années d'occurrence d'épisodes El Niño, la longueur d'un épisode sec est supérieure à celle observée lors des années Niña. Par exemple, lors des saisons Niño 1982/83, 1986/87, 1991/92, 1994/95 et 1997/98 la longueur d'un épisode est au-dessus de la moyenne. Cette corrélation est faible au nord du pays qui, selon Usman et Reason (2004), souffre moins de l'influence du phénomène ENSO. En effet, le coefficient de corrélation est de 0.43 au Sud, 0.15 au Centre et -0.26 au Nord du pays.

Mapande et Reason (2005) ont trouvé une opposition de phase entre le nombre de séquences sèches et les anomalies Niño3.4 au sud de Tanzanie (Nord du Mozambique). Sans aucun doute, la ZCIT joue un rôle important dans les précipitations au Nord du pays. Ce facteur, plus le fait que des anomalies des hautes (basses) pressions qui s'établissent en Afrique Australe pendant des années Niño (Niña), typiquement ne se prolongent pas profondément vers les tropiques (Hachigonta & Reason, 2006), peut expliquer la sensibilité réduite à ENSO au nord du pays. Il est également clair que les impacts de différents événements Niño diffèrent entre les régions, de sorte que, à l'exception des stations du Sud, ces événements n'ont pas toujours un effet robuste et national (tout le pays).

Selon Hachigonta et Reason (2006), modes de la variabilité dans l'Océan Indien tel que le mode zonal de dipôle de l'Océan Indien (Indian Ocean Zonal Dipole Mode), peuvent également être liés à la sécheresse en Afrique Australe. Saji et al (1999), ont constaté qu'un phénomène couplé Océan-atmosphère évolue avec un dipôle est-ouest dans les anomalies des Températures de Surface de la Mer (TSM), ils ont l'appelé de 'Dipôle de l'Océan Indien'. L'index du mode de dipôle (DMI) est ainsi défini comme la différence d'anomalies des TSM entre l'Océan Indien tropical oriental et occidental. Les changements des TSM pendant le dipôle de l'Océan Indien sont associés aux changements du vent de surface dans l'Océan Indien équatorial central.

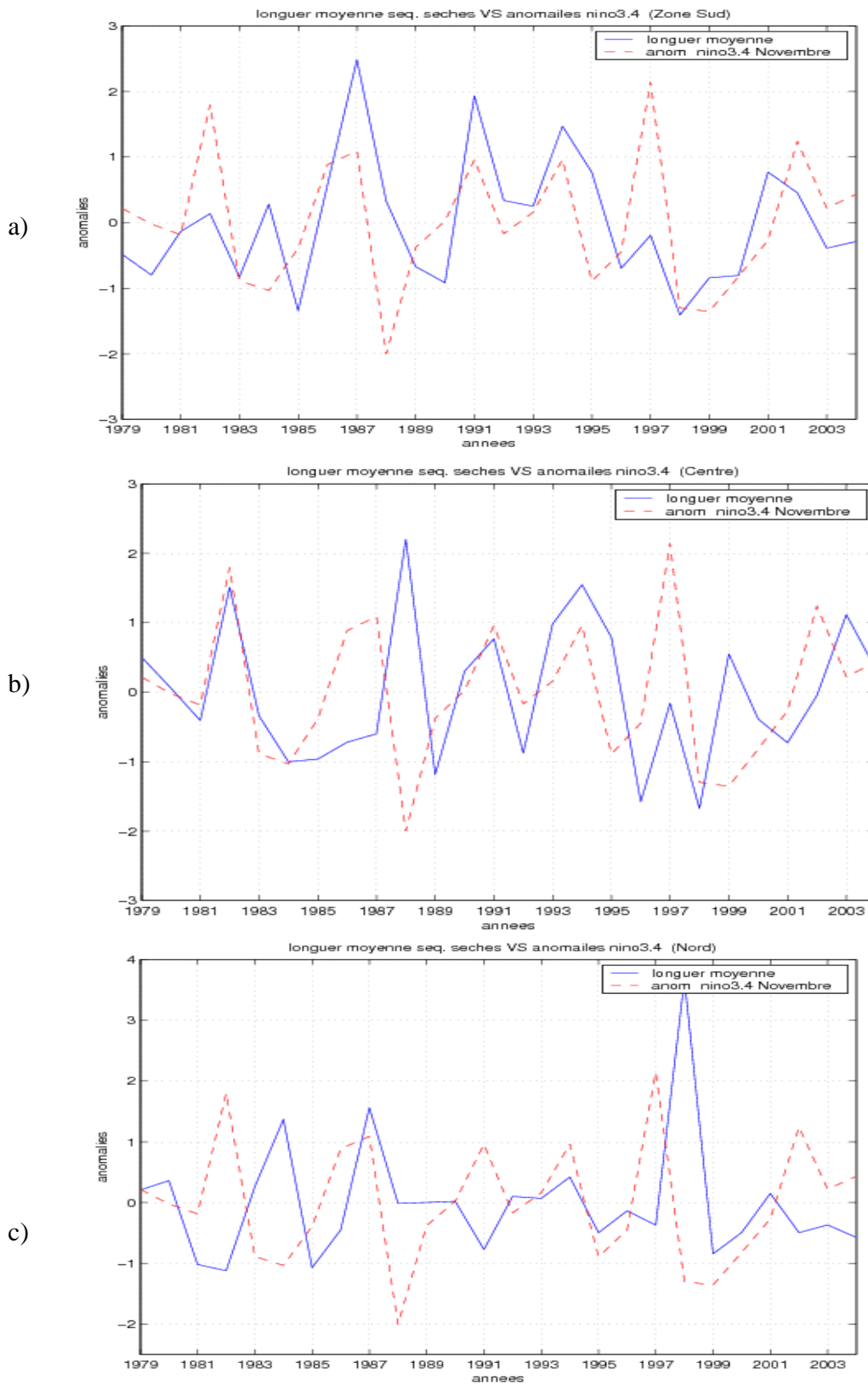


Fig.18. Anomalies standardisées de la longueur des séquences sèches et des anomalies standardisées Niño3.4

### **2.3.2. Séquences pluvieuses**

Au sud du pays, c'est la saison 1990/91 (fig.19) où un nombre record (19) de séquences humides a été enregistré, suivi par la saison 1996/97 (18). Un nombre inférieur de séquences pluvieuses (8) a été observé lors des saisons 1988/89 et 2003/04, suivies par les saisons 1982/83, 1987/88 où 9 séquences humides ont été observées. La durée moyenne d'une séquence humide au Sud du pays est de 1.9 Jours. La durée la plus longue d'une séquence humide au sud du pays est de 3.1 jours observée dans la saison 1998/99 et la durée la plus courte est 1.3 jours en 2002 /03.

Au centre du pays, on voit que c'est la saison 1985/86 qui possède le nombre le plus élevé (18) de séquences pluvieuses, suivie par la saison 2003/04 avec 17 séquences humides. La saison 1988/89 présente seulement 7 séquences humides, suivie par les saisons 1986/87 et 2002/03 où 10 séquences humides ont été observées. En moyenne 13.6 épisodes humides sont observés chaque saison. La durée moyenne d'une séquence pluvieuse au centre du pays est de 2.97 jours. La durée minimale de la séquence pluvieuse est de 1.6 jours, observée lors la saison 1991/92, tandis que la durée maximale est de 6.1 jours (1988/89).

Au Nord du pays, nous constatons qu'en 2003/04, 23 épisodes humides ont été observés, suivi par la saison 1995/96 qui possède 22 séquences. En moyenne, 18 épisodes humides ont été reportés chaque saison. La saison 1998/99 présente le nombre de séquences humides le plus faible (12). Ici, la durée moyenne de la séquence humide est de 2.8 jours. La durée maximale de la séquence humide est de 4.6 jours et la durée minimale est de 1.7 jours.

Une fois de plus, la région Nord est la région où il y a un nombre élevé d'événements humides avec une durée moyenne presque égal à celle de la région Centre. La raison évoquée ici pour ce nombre élevé de séquences humides est, bien sur, la même que celle nous avons abordée auparavant, i.e., le balayage de la ZCIT pendant l'été de l'hémisphère Sud.

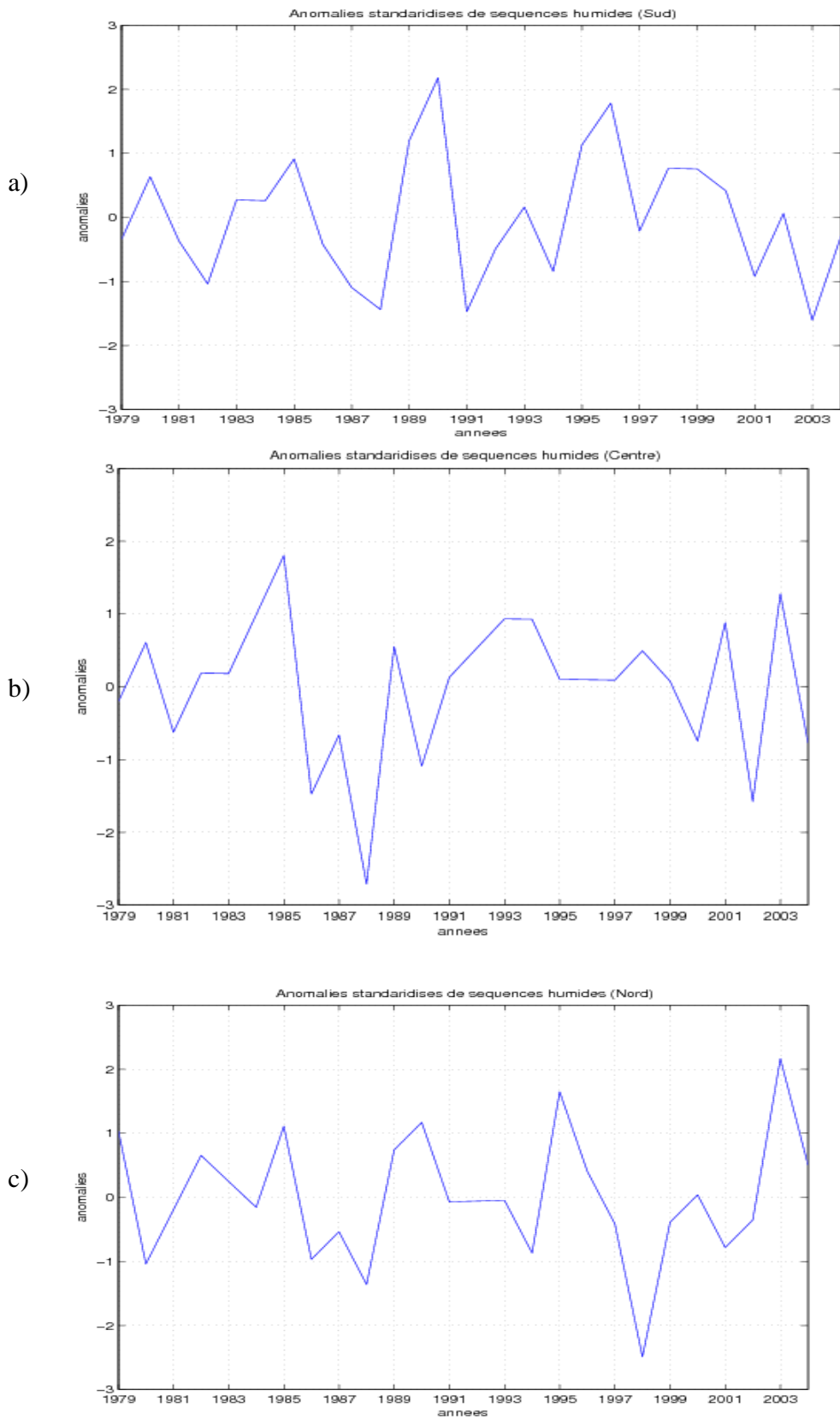
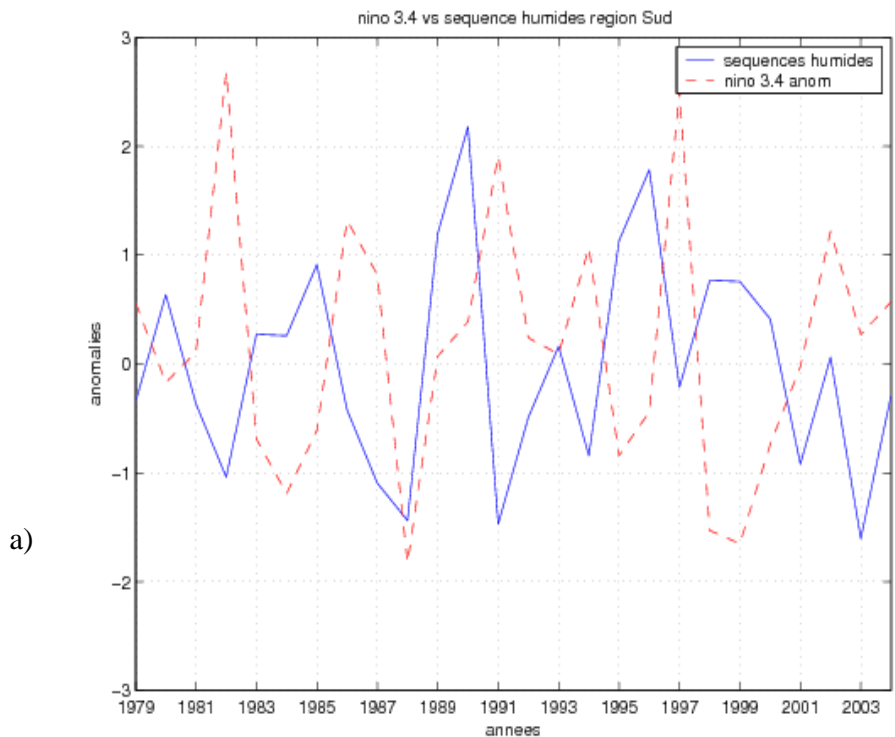


Fig.19. Anomalies standardisées du nombre de séquences pluvieuses

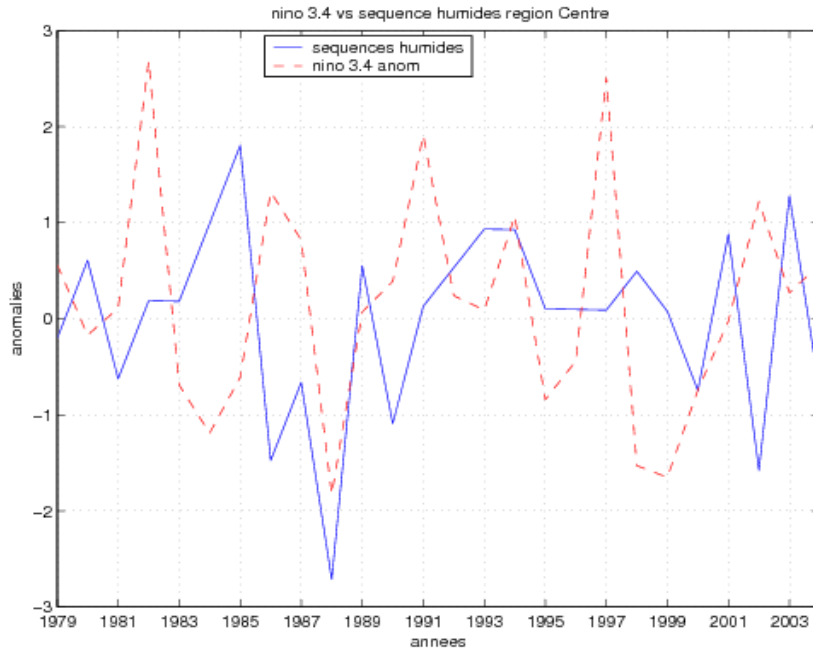


La fig.20 montre la relation entre les anomalies du nombre de séquences pluvieuses et les anomalies Niño3.4. De façon similaire comme pour des séquences sèches, les années Niña (par exemple, 1995, 1998 et 1999, au sud) sont accompagnées par des épisodes bien arrosés et les années El Niño ont un nombre très réduit d'événements pluvieuses (par exemple, 1982, 1991 au Sud pays), toutefois, on assiste également à l'existence d'années El Niño (La Niña) que ne sont pas accompagnées de séquences peu arrosées (bien arrosées). En plus, non toutes les saisons qui possèdent un nombre élevé de séquences pluvieuses au dessus de normale sont associées au phénomène Niña, cette évidence suggère qu'il y a d'autres mécanismes qui jouent un rôle prépondérant dans les précipitations au Mozambique.

La relation entre les anomalies du nombre de séquences pluvieuses et les anomalies Niño3.4 est inversée. En effet, le coefficient de corrélation est de -0.39 au Sud, -0.03 au Centre et 0.15 au Nord. Hachigonta et Reason (2006) ont trouvé résultats similaires au Zambie.



b)



c)

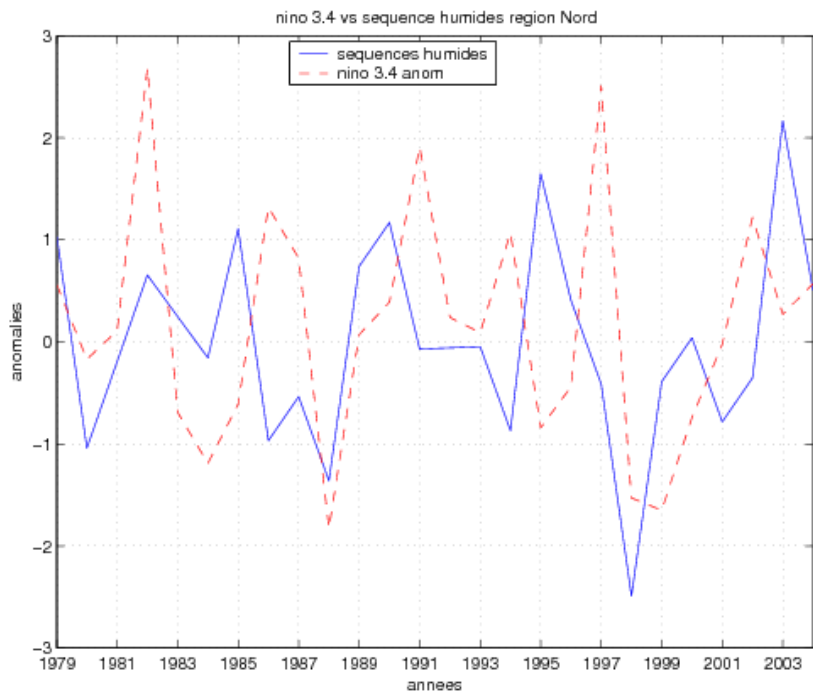


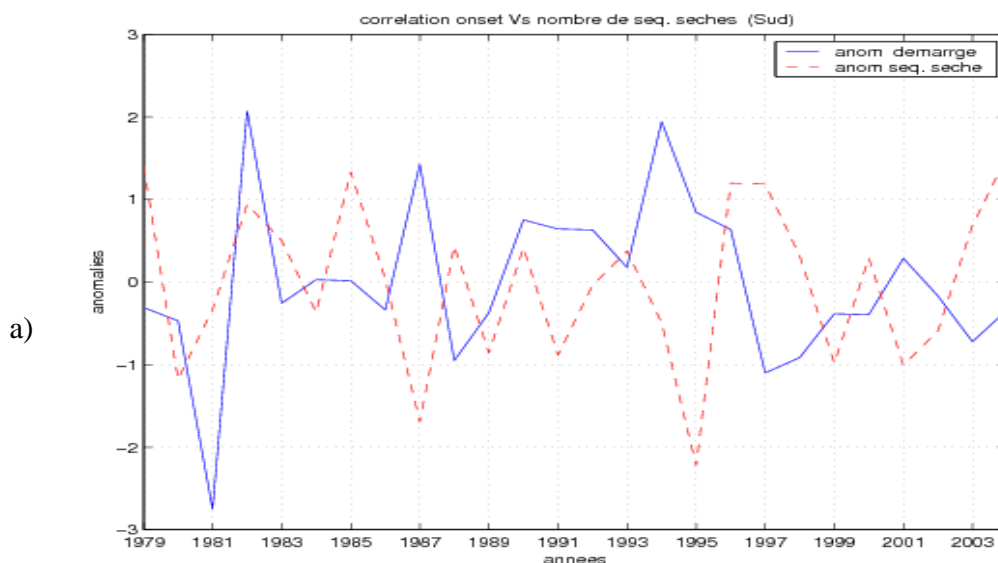
Fig.20. Anomalies standardisées de séquences humides et anomalies standardisées Niño3.4 au Sud (a), Centre (b) et au Nord(c).

## 2.4. Relation entre la date de démarrage de la saison des pluies et le nombre de séquences sèches

Une autre caractéristique très importante pour la saison des pluies, et qui est de grand intérêt pour les agriculteurs, les gestionnaires des ressources en eau, le monde de la santé et du tourisme, est le nombre de séquences sèches dans la saison de pluies (Hachigonta et al 2008).

La corrélation entre la date de démarrage de la saison des pluies et le nombre de séquences sèches en Décembre, Janvier et Février (DJF) est de -0.18 au Sud, 0.3 au Centre et 0.1 au Nord (fig.21). La corrélation n'est pas significative, parfois la relation est inversée. Il y a des années où un démarrage précoce est très désavantageux car, il est suivi d'un nombre de séquences sèches au-dessus de la normale en DJF, par contre, il y a des années où un démarrage précoce est avantageux parce que le nombre de séquences sèches est réduit. La variable 'nombre de séquences sèches' est très difficile à interpréter, un nombre élevé n'est pas nécessairement associé à des conditions sèches. Il peut traduire le caractère intermittent des événements pluvieux.

Hachigonta et al (2008) ont trouvé une relation inversée entre la date de démarrage de la saison des pluies et le nombre de séquences sèches au Zambie. Un résultat similaire a été trouvé par Reason et al (2005) sur la région de Limpopo. Selon eux, la relation entre la date de démarrage de la saison et le nombre de séquences sèches est plutôt diagnostique que pronostique.



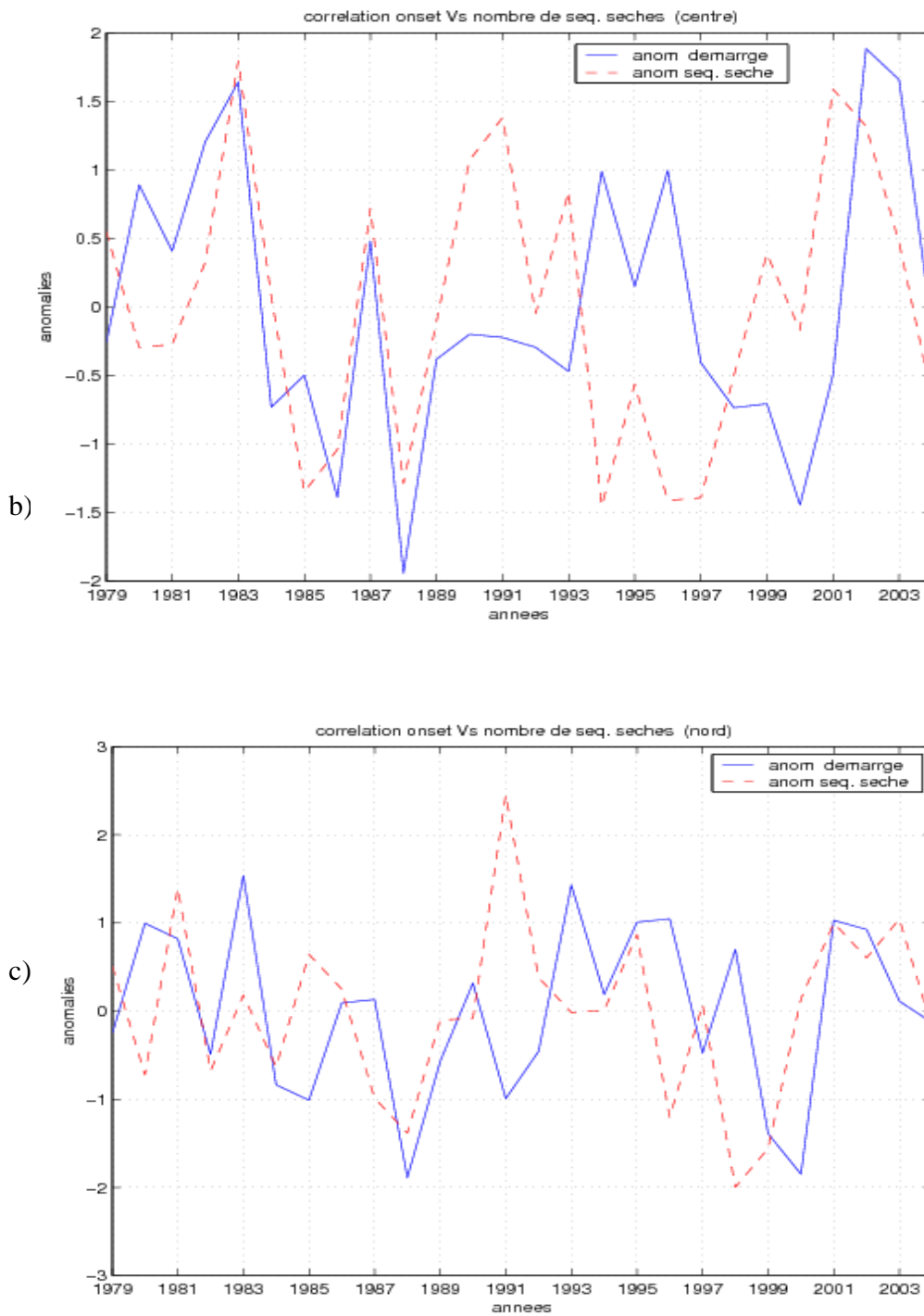


Fig.21. Anomalies standardisées des dates de démarrage de la saison des pluies et du nombre des séquences sèches au Sud(a), au centre(b) et au Nord(c).

### **Chapitre3 : Fin de la saison des pluies au Mozambique**

Dans la littérature, on trouve aussi beaucoup de définitions pour la fin de la saison des pluies. Par exemple, Odekunle et al (2005) ont défini la date de fin comme le moment, à la fin de la saison des pluies, où la quantité de pluie qui tombe n'arrive plus à satisfaire les besoins des plantes.

Comprendre la date de fin de la saison des pluies est aussi très important. Cette information aide les agriculteurs à mieux planifier leurs activités. Avec cette information, il est possible de connaître la durée de la saison des pluies. Ceci leur donne la possibilité de planifier les périodes optimales des récoltes et de conservation de leurs produits. En effet, les pluies peuvent les leur dégrader. Cette information peut aussi s'avérer très importante sur le choix du type de culture à effectuer (Hachigonta et al, 2008).

En regardant la fig.22, on voit que la saison des pluies se termine d'abord au Sud du pays, puis une semaine plus tard au Centre. En effet, la date moyenne de fin de saison est le 07 Avril au Sud avec un écart type de 24 jours, le 15 Avril au Centre avec un écart type de 22 Jours et finalement, le 11 Avril au Nord avec un écart type de 10 jours.

Dans les trois régions, on assiste également à une variabilité interannuelle considérable de la date fin de la saison des pluies. Néanmoins, cette variabilité semble être moins marquée au Nord du Pays. Au Sud, c'est la saison 1982/83 qui a connu une fin de saison très précoce (le 5 Mars) et la saison 1995/96 où l'on observe une fin de saison tardive.

En général, lors des années Niño, la saison de pluies finit tôt au Sud et centre (par exemple, lors des saisons 1982/83, 1991/92 et 1997/98). Il semble que les années Niña ne sont pas forcément accompagnées par une fin tardive de la saison des pluies. En effet, la saison Niña 1988/89 par exemple, a été associée à une fin de saison précoce au Sud et Centre. La région Nord semble être moins touchée que les deux autres pour ces deux phénomènes.

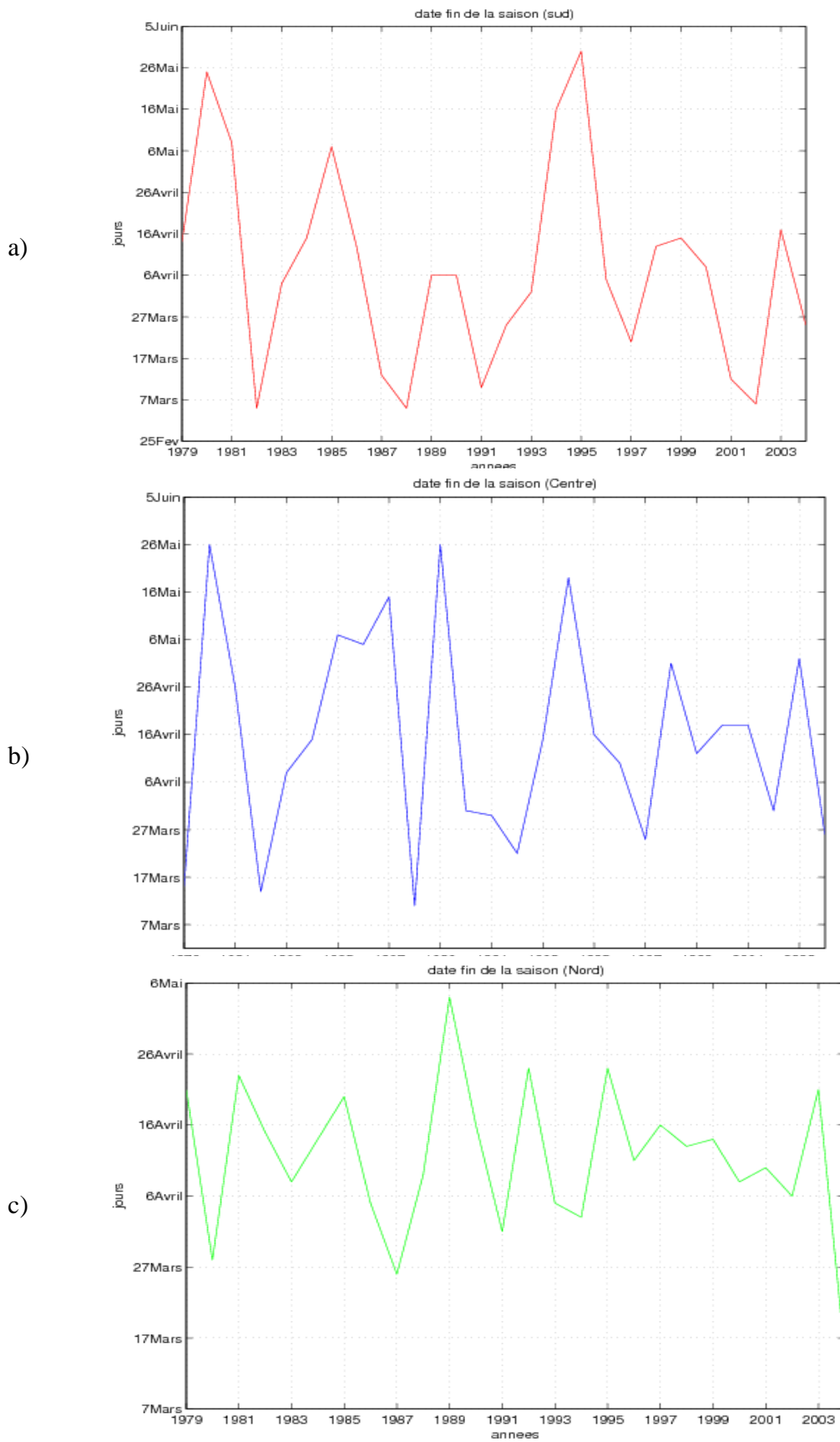


Figure22.Fin de la saison des pluies au Sud (a), Centre (b) et Nord(c)

### **3.1. Longueur de la saison des pluies**

L'existence d'une relation entre la longueur de la saison des pluies et date de démarrage et/ou fin des pluies est également importante pour la planification des activités agricoles (Mulagavaia et al, 2008). Sivakumar(1988) a effectué une analyse des données quotidiennes de précipitations de 58 stations dans la zone Sahélienne. L'étude a prouvé qu'un rapport significatif existait entre la date de début de la saison des pluies et la longueur de la saison des pluies.

Pour calculer la longueur de la saison des pluies pour une année particulière nous avons fait la différence entre la date de fin et de démarrage de la saison des pluies. Comme il y a une forte variabilité interannuelle des deux dates, ceci se répercute sur la longueur de la saison de pluies (fig23).

Au Sud, la saison la moins longue est celle de 1982/83 avec une durée de 86 jours. La plus longue est celle de 1981 avec une durée de 248 jours. Au Centre, la saison moins longue été observée en 2002/2003 avec une durée de 90 jours. La plus longue a été la saison 1986/1987 avec une durée de 196 jours. Au Nord, la saison la moins longue est celle de 2004/2005 avec une durée de 110 jours. La plus longue est celle de 1989/90 avec une durée de 173 jours.

Ces résultats montrent l'existence d'un gradient entre le Sud et le Nord. En effet En moyenne, la durée de la saison des pluies est de 159.5 jours avec un écart type de 34 jours au sud, 147 jours au Centre avec un écart type de 28 jours et finalement 141 jours au Nord avec un écart type de 18.9 jours. Pour les trois régions, le Nord présent la plus faible variabilité tandis que le Sud possède la plus grande variabilité. Malgré la durée relativement courte de la saison au Centre et au Nord, ces deux zones présentent les cumuls annuels des précipitations plus élevés qu'au sud.

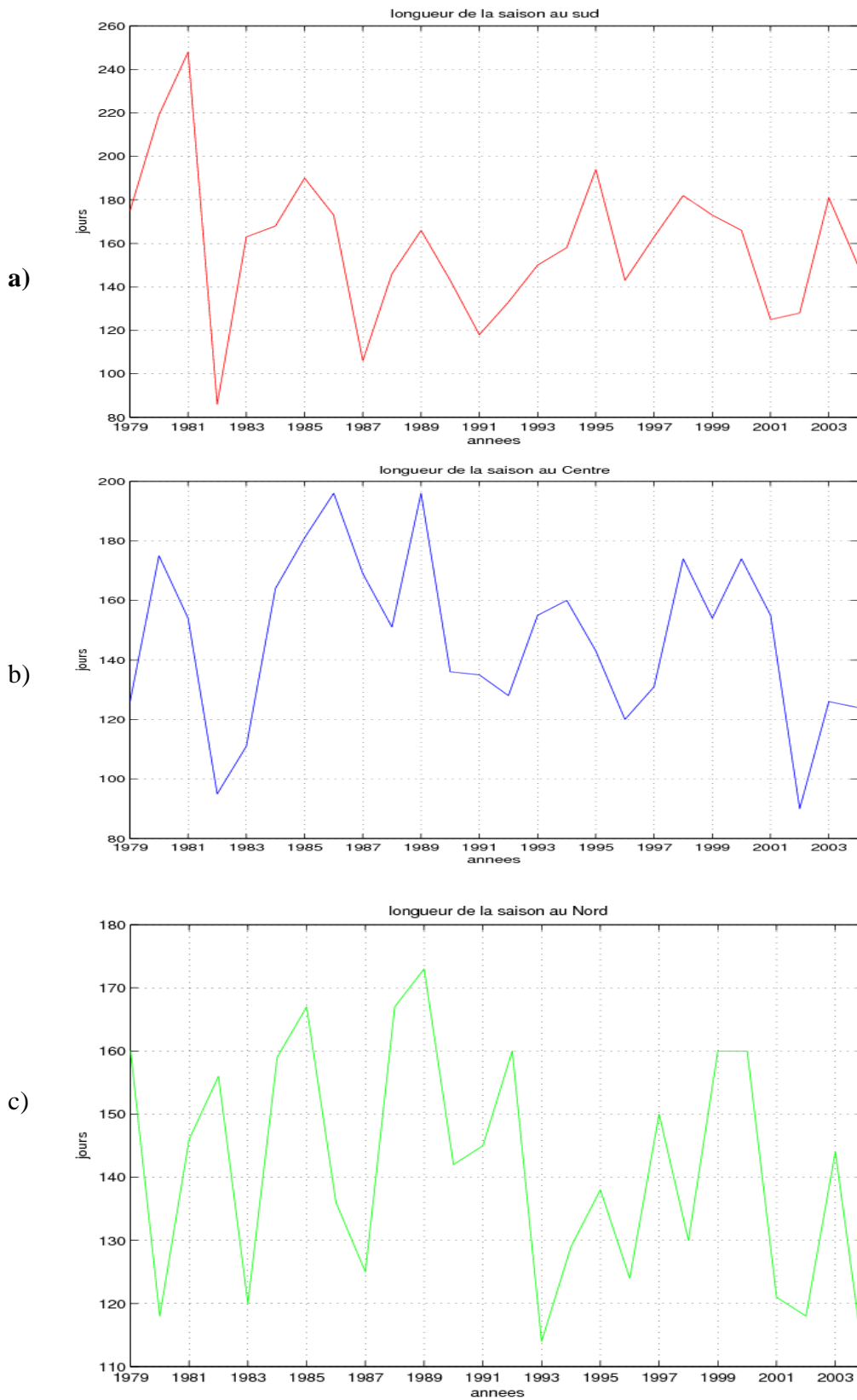


Fig.23. Longueur de la saison des pluies au sud(a), Centre(b) et Nord(c)

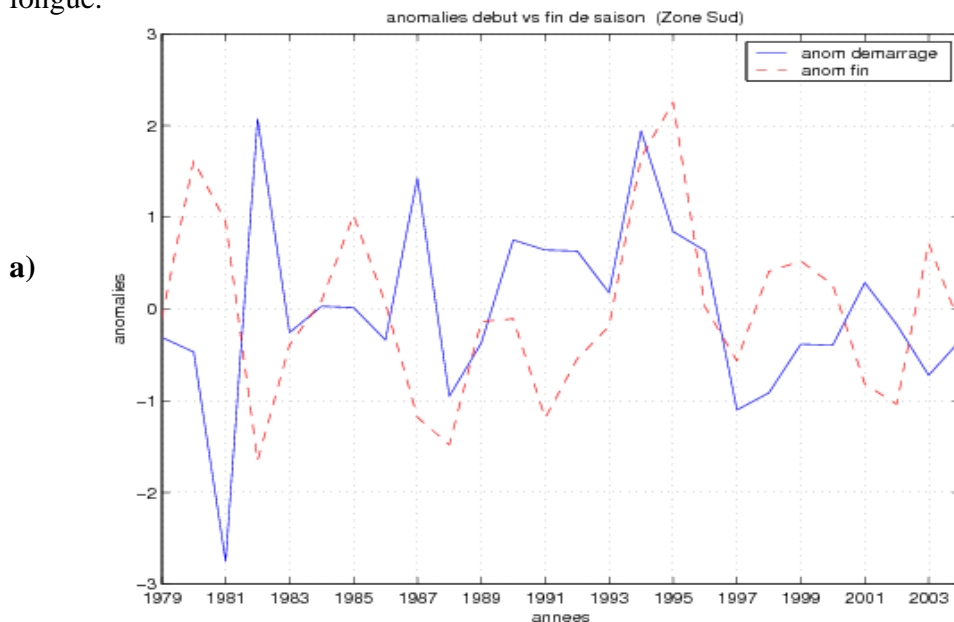


### 3.2. Corrélation entre le début et fin de saison des pluies

Comme nous avons vu pour les dates de démarrage de la saison des pluies, les dates de fin de la saison présentent elles aussi une grande variabilité interannuelle. En regardant la fig.24, on voit que la relation est presque inversée entre la date de démarrage et fin de la saison des pluies. En effet, le coefficient de corrélation est de -0.14 au Sud, 0.12 au Centre et -0.11 au Nord.

En général, un démarrage précoce de la saison des pluies implique une fin tardive. Cette idée est plus évidente si on regarde les fig.25 et 26. Dans la fig.25 nous essayons de regarder la relation entre la date de démarrage et la longueur de la saison de pluies. Ici, la corrélation est fortement inversée. En effet, le coefficient de corrélation est de -0.71 au Sud, -0.61 au Centre et -0.83 au Nord. Si le démarrage de la saison des pluies est précoce, la saison est plus longue, par conséquent, la fin de la saison est tardive.

La fig.26 montre la relation entre la date de fin et la longueur de la saison des pluies. Les deux variables sont en phase. Le coefficient de corrélation est de 0.81 au Su, 0.72 au Centre et 0.67 au Nord. En général, un démarrage précoce de la saison des pluies est accompagné d'une fin de saison tardive et, par conséquent, d'une saison des pluies longue.



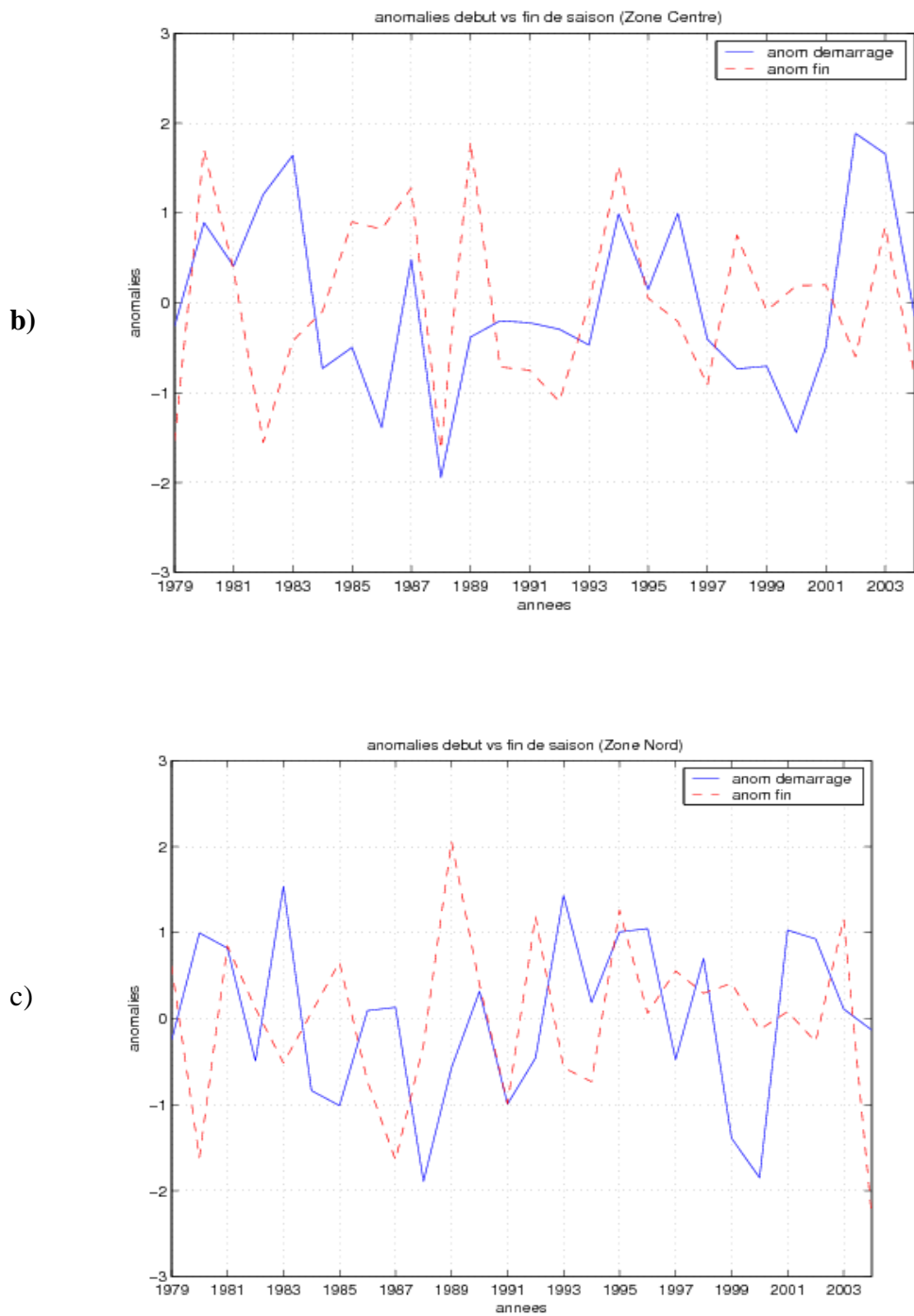


Fig.24. Relation entre début et fin de la saison des pluies au Sud(a), au Centre(b) et au Nord(c).

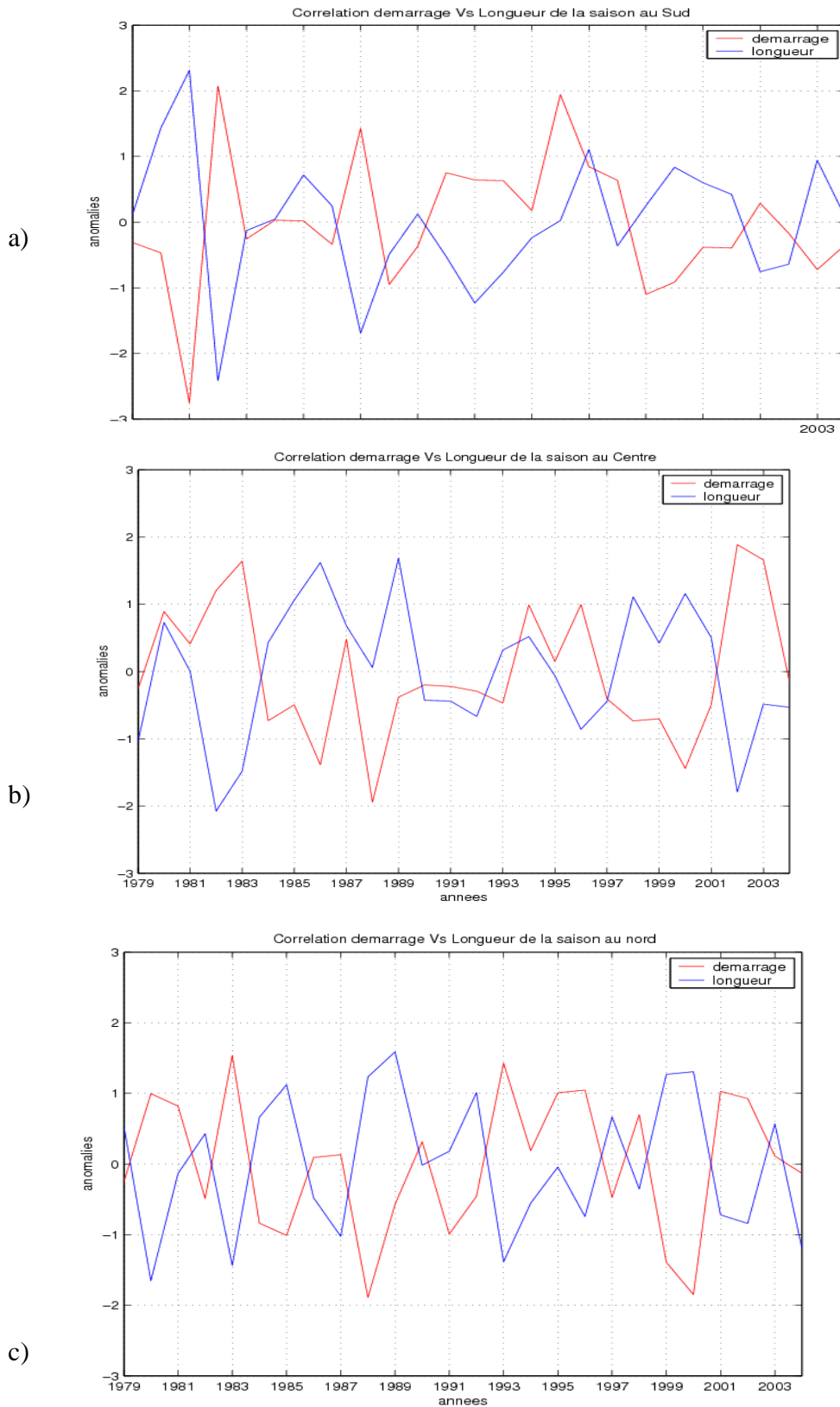


Fig.25. Relation entre le démarrage et longueur de la saison des pluies au Sud (a), au centre (b) et au nord(c).

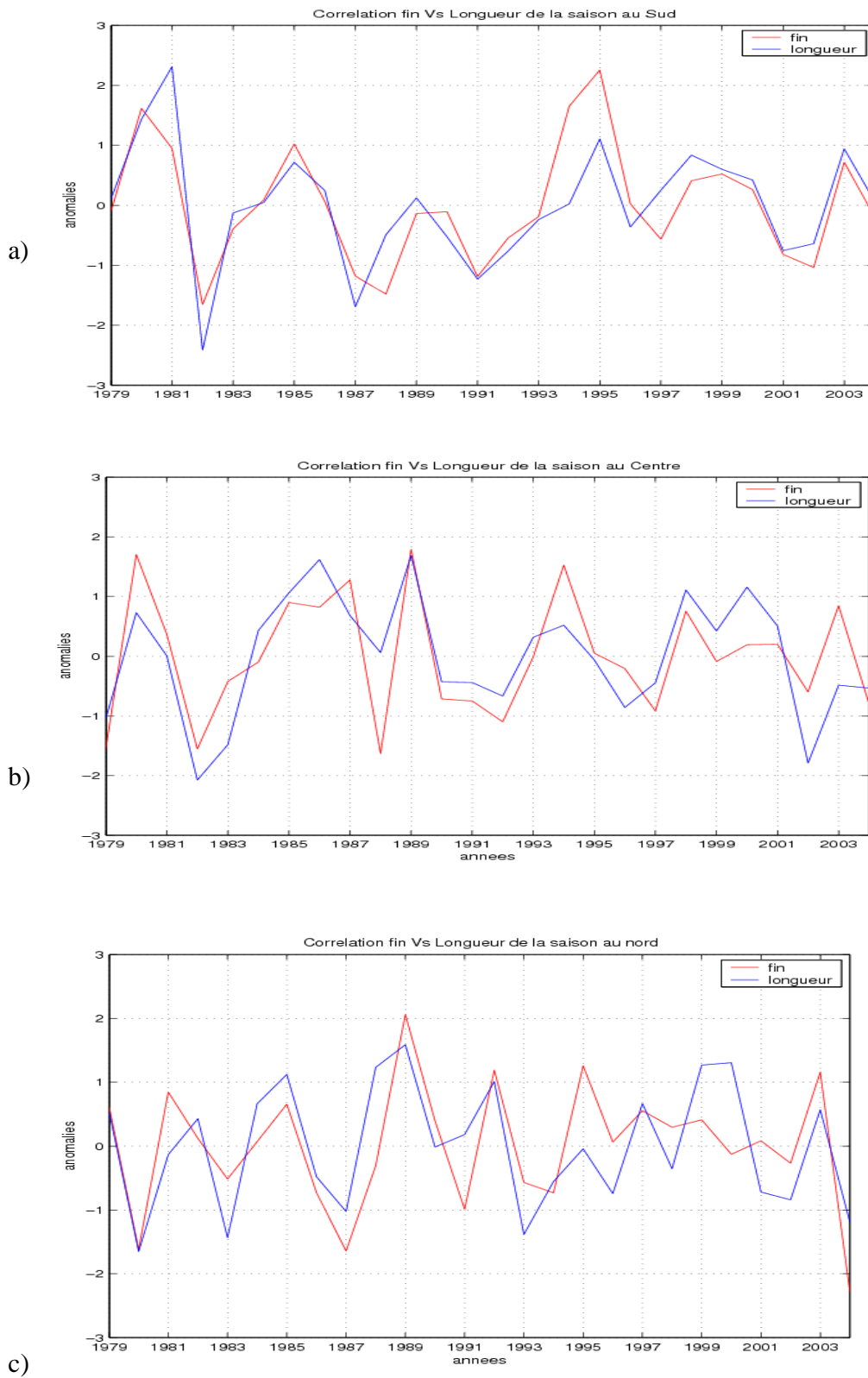


Fig.26. Relation entre la fin et longueur de la saison des pluies au Sud(a), centre(b) et nord(c)

## Chapitre 4 : Prévisibilité des cumuls OND (Octobre, Novembre et Décembre) et de dates de démarrage de la saison des pluies

### 4.1. Prévisibilité des Cumuls OND

La fig.27 montre le cumul OND moyen par jour dans les trois régions (Sud, centre et Nord). Selon la figure, la région sud est celle qui reçoit le moins de précipitation en OND. Des images non montrées (cumul Janvier, Février et Mars ou saison entière des pluies) confirment ceci.

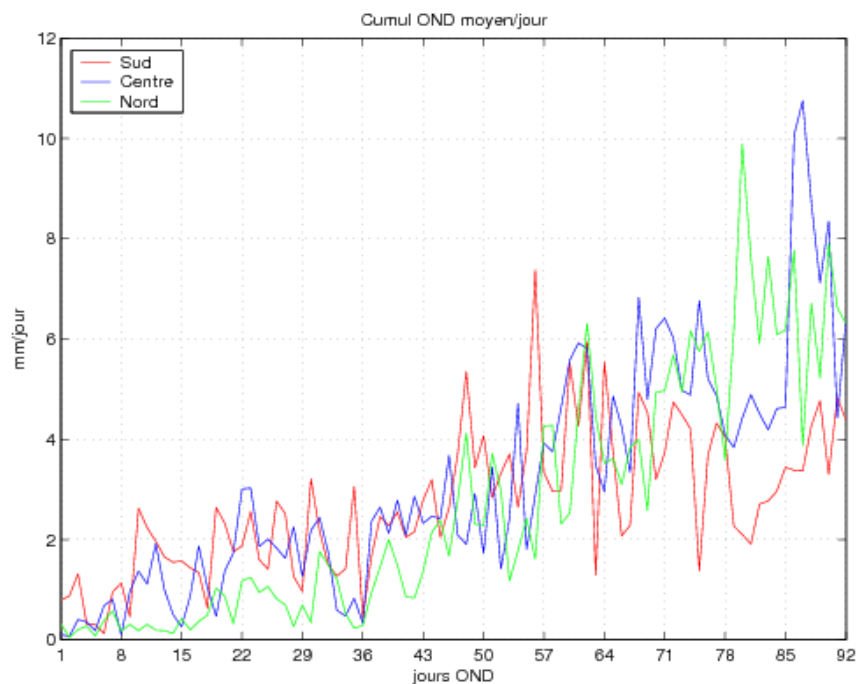


Fig.27. Cumul moyen/jour OND

Pour un pays comme le Mozambique, où l'agriculture est le soutien de l'économie et où 80% de la population en est directement dépendante, il est impératif que des outils objectifs soient trouvés pour prévoir les précipitations aussi tôt que possible. Pour tenter de satisfaire ce besoin nous avons cherché à développer des modèles statistiques simples permettant d'identifier le caractère prévisible de deux

variables relatives aux précipitations de la période OND : le cumul OND et la date de début de la saison des pluies.

Plusieurs Zones de convection dans les tropiques, par conséquent zones potentielles de précipitation, ont été associées à bas valeurs d'OLR (Makarau & Jury, 1997). Jury et al (1993) ont déterminé un coefficient de corrélation de -0.93 entre les anomalies de précipitations et l'OLR en Afrique Australe. Cela implique que l'OLR peut être utilisé comme un prédicteur pour les pluies. C'est aussi prouvé que les régions bien arrosées sont parfois associées à des valeurs au-dessus de la normale de la température de la surface de mer (Makarau & Jury, 1997). Pour cela, nous avons construit des indices de l'OLR, vent zonal, vent méridien, température de la surface de mer pour la Zone de Madagascar (10S-30S et 45E-55E), la zone d'Australie (20S-50S et 90E-120E) et la région d'Inde (0-14N et 65E-85E), au total, nous avons construit 12 variables indépendantes. Tous ces indices ont été sélectionnés sur la base de corrélations préalablement calculées entre le prédicteur et les différents champs en Septembre, de 1979 à 2004.

Avant de utiliser la régression multiple, nous avons d'abord cartographié la corrélation spatiale globale entre nos variables (OLR, vent, température de la surface de la mer) et les cumuls OND et après nous avons construit les indices en prenant les régions où la corrélation spatiale était significative. Comme la saison des pluies commence en octobre, nous avons donc, construit les indices pour le mois de septembre.

Nous avons trouvé les équations suivantes :

$$a) \text{ SUD} = 364.96\text{AUSTSST} - 11.09\text{AUSTOLR} - 952.64$$

Où, AUSTSST représente la température de surface de la mer dans la zone de l'Australie et AUSTOLR représente l'OLR dans la zone ouest de l'Australie.

Le coefficient de détermination est de 0.35

$$\text{b) CENTRE} = 492.33\text{AUSTSST} - 10.24\text{AUSTOLR} + 109.64\text{AUSTU} - \\ - 18.45\text{INDU} - 2525.33$$

Ici, AUSTU représente le vent zonal au niveau de 850hpa dans la zone Ouest de l'Australie et INDU est le vent méridien en d'Inde. Le coefficient de détermination est de 0.57.

$$\text{c) NORD} = -22.17\text{INDU} - 9.65\text{MADAOLR} + 36.96\text{MADAU} + 3102.86$$

Où, MADAOLR est l'OLR dans la zone de Madagascar et MADAU est le vent zonal au niveau de 850 hpa dans la zone de Madagascar. Le coefficient de détermination est de 0.4.

Dans les trois régions les modèles sont significatifs à 95%, selon le test de Fisher. Nous voyons que la température de surface de l'océan Indien et l'OLR de septembre jouent un rôle important sur les cumuls OND.

## 4.2. Prévisibilité des dates de début de la saison des pluies

Nous avons également construit des modèles pour le démarrage de la saison des pluies en utilisant les mêmes indices. Nous avons trouvé les équations suivantes :

$$\text{b) Sud} = 1.86\text{MADAOLR} + 0.64\text{INDOLR} - 519.21$$

Où, MADAOLR signifie l'OLR au Madagascar et INDOLR est l'OLR en Inde. Le coefficient de détermination est de 0.33.

$$\text{c) Centre} = 2.04\text{AUSTOLR} + 28.78\text{AUSTV850} - 10.14\text{MADAU850} + 26.15\text{MADASST} + 14.93\text{INDV850} - 1056.18$$

Où, AUSTOLR représente l'OLR sur l'Australie, AUSTV850 est le vent méridien sur l'Australie aussi, MADASST est la température de surface de la mer sur Madagascar, INDV850 est le vent méridien en Inde. Le coefficient de détermination est de 0.7

d) Pour la région Nord, aucune des ces 12 variables indépendants contribuent pour le démarrage de la saison des pluies.



## Conclusion

Dans cette étude nous avons cherché à comprendre les variables clés (dates de début et de fin de saison des pluies, nombre d'événements secs et intensité des événements pluvieux) des saisons des pluies au Mozambique. Nous avons également, succinctement, analysé leur prévisibilité selon une méthode statistique simple mais robuste. Ces aspects ont impact considérable sur les activités agricoles, la santé et le tourisme. Les dates de démarrage et fin de la saison des pluies ont été identifiées pour chacune des trois régions au Mozambique.

Le démarrage de la saison au Mozambique commence au Sud du pays et progressivement avance vers le Nord. Les dates de début et fin de pluies trouvées avec cette méthode peuvent être relativement différentes si on les calcule station par station mais, grosso modo, elles représentent les caractéristiques principales des précipitations de chaque région.

De visu, sans aucun test, toutes les variables étudiées (dates de début et de fin de saison des pluies et nombre des événements secs) ne présentent pas aucune tendance ou rupture, donc, nous n'avons pas fait les tests (exemple de Man Kendall).

Une forte variabilité interannuelle caractérise le début et fin de la saison. Cette variabilité est minimale au Nord du pays et maximale au Sud du pays. Nous avons cherché à connaître s'il y avait une relation entre ces variables clés et le phénomène ENSO/NINA (représenté dans cette étude par des anomalies de la région Niño3.4). Quelques années Niño sont accompagnées d'un début tardif de la saison des pluies et quelques années Niña sont accompagnées par un début précoce. Toute fois, on trouve aussi des années neutres.

Malgré une durée de saison relativement courte au Centre et Nord, par rapport à ce qui est observé au Sud, les deux premières régions présentent un cumul moyen de précipitation supérieur.

Nous avons construit des modèles statistiques simples de prévisibilité des pluies OND et des dates de début de la saison. En utilisant 12 variables explicatives, nous avons trouvé que les précipitations au centre sont potentiellement plus prévisibles qu'au Sud et qu'au Nord. Même évidence est constatée pour les dates de début de la saison des pluies. En effet le coefficient de détermination au centre est de 0.7, tandis qu'au Nord aucun modèle n'a pu être élaboré. D'autres facteurs sont vraisemblablement impliqués pour comprendre les précipitations au Nord du pays.

Les modèles simples que nous avons trouvés sont à utiliser avec prudence, car la série des données est courte (26 années), par conséquent, aucune validation de ces modèles n'a été faite.

## **Bibliographie**

Camberlin, Pierre 1994 : Les précipitations dans la corne Orientale de l'Afrique : Climatologie, variabilité et connexions avec quelques indicateurs Océano-Atmosphériques. Thèse de Doctorat de Géographie, spécialité : Climatologie. Université de Bourgogne.

Camberlin P. and Diop M., 2003: Application of daily rainfall principal component analysis to the assessment of the rainy season characteristics in Senegal. *Climate Research* 23:159-169.

Dieng O., Roucou P., Louvet S., 2008 : Variabilité intra-saisonnière des précipitations au Sénégal (1951-1996). *Sécheresse* 19(2) :87-93.

Gonzalez M and Barros V., 2002: On the forecast of the onset and end of the convective season in the Amazon. *Theor.App.Climatol.* 73,169-187.

Hachigonta S ,Reason C, 2006: Interannual variability in dry and wet spell characteristics over Zambia. *Climate Research*, 32:49-62.

Hachigonta S., Reason C, Tadross M., 2008: An analysis of the onset date and rainy season duration over Zambia. *Theor.App.Climatol.* 91,229-243.

Hannachi A., Jolliffe I., and Stephenson D., 2007: Empirical Orthogonal functions and related techniques in atmospheric Sciences: A review. *Int. J. Climatol.*,27 ,1119-1152.

Jolliffe I., Dodd D., 2001: Early detection of the start of the wet season in semiarid tropical climates of Western Africa. *Int. J. Climatology*, 21, 1251-1262.

Jury M, Pathack B, and Waliser D., 1993: satellite OLR and microwave data as a proxy for summer rainfall over subequatorial Africa and adjacent oceans. *Int. J. Climatology*, 13,257-269.

Liebmann B. and C.A. Smith, 1996: Description of a Complete (Interpolated) Outgoing Longwave Radiation Dataset. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **77**, 1275-1277.

Lyndesay J., 1988: South African rainfall, the southern oscillation and a southern hemisphere semi-annual cycle. *Journal of Climatology*, **8**, 17-30.

Makarau A. and Jury M., 1997: Predictability of Zimbabwe summer rainfall. *International Journal of Climatology*, **17**, 1421-1432.

Mapande A. and Reason C, 2005: interannual rainfall variability over Western Tanzania. *International Journal of Climatology* **25**:1355-1368.

Mason, S., 2001: El Niño, Climate Change, and southern African Climate. *Environmetrics*, **12**, 327-345

Mugalavai E., Kipkorir E., Raes D., Rao M, 2008: Analysis of rainfall onset, cessation and length of growing season for western Kenya. *Agricultural and Forestry Meteorology*, **148**, II23-II35.

Mulenga H., Rouault M., Reason C, 2003: Dry summers over northeastern South Africa and associated circulation anomalies. *Climate Research* **25**:29-41.

Odenkule T, Balogun E., Ogunkoya O., 2005 : On the prediction of rainfall onset and retreat dates in Nigeria. *Theor. Appl. Climatol.* **81**, 101-112.

Pelletier-Belamari S., 2002: Rôle de Coups des vents d'ouest dans le déclenchement d'événements chauds du type EL Niño. Thèse de Doctorat de l'Université Toulouse III.

Philippon N., 2002: Une nouvelle approche pour la prévision statistique des précipitations saisonnières en Afrique de l'Ouest et de l'Est : méthodes, diagnostics (1968-1998) et applications (2000-2001). Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne.

Phol B., 2007 :L'Oscillation de Madden-Julian et la variabilité pluviométrique régionale en Afrique Subsaharienne. Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne.

Rautenbach C and Smith I., 2001: Teleconnections between global sea-surface temperatures and the interannual variability of observed and model simulated rainfall over Southern Africa. *Journal of Hydrology* 254, 1-15.

Reason C., Hachigonta S., and Phaladi R. 2005: Interannual variability in rainy season characteristics over the Limpopo region of Southern Africa. *International Journal of Climatology* 25:1835-1853.

Reynolds, R. W., N. A. Rayner, T. M. Smith, D. C. Stokes and W. Wang, 2002: An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J. Climate*, 15, 1609-1625.

Richard Y, Trzaska, Roucou P., Rouault M 2000: Modification of the Southern African Rainfall variability/ENSO relationship since the late 1960s. *Climate Dynamic*, 16, 883-895

Rossianol D., 1986: Utilisation de l'analyse en composant principales pour l'étude de séries pluviométriques.

Saji N.,Goswami B., Vinayachandran P,Yamagata P.,1999: A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature* 401,360-363.

Sivakumar M., 1988: Predicting rainy season potential from the onset of rains in southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa. *Agric.For.Meteorol.*42, 295-305.

Stern R, Dennet M, Garbutt D., 1981: the start of the rains in Wets Africa. *Journal of Climatology* 1: 59-68.

Tadross M., Hewitson B., Usman M., 2003: Calculating the onset of the maize growing season over Southern Africa using GTS and CMAP data, *Clivar Excahnges*, volume 8, no.2/3, September.

Usman M. and Reason C., 2004. Dry spell frequencies and their variability over Southern Africa. *Climate Research* 26:199-2004.

Xie P., Janowiak J., Arkin P., 2003, GPCP Pentad precipitation analyses: An experimental dataset based on gauge observations and satellite estimates, *J. Climate*, **16** (13), 2197-2214.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.