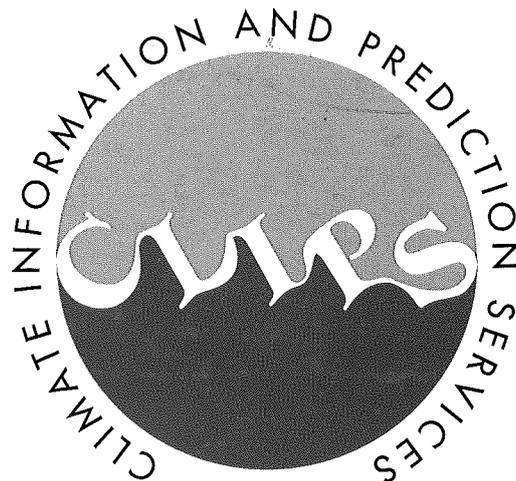


World  
Meteorological  
Organization

WMO/TD No. 927

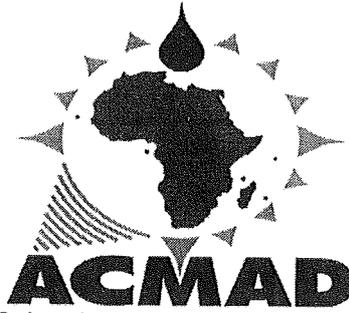


Centre Africain pour les Applications  
de la Météorologie au Développement



# PRÉVISION CLIMATIQUE EN AFRIQUE CLIMATE FORECAST IN AFRICA

October 1998



**Centre Africain pour les Applications  
de la Météorologie au Développement**

**PREVISION CLIMATIQUE EN AFRIQUE  
*CLIMATE FORECAST IN AFRICA***

## Foreword

When the Director-General of ACMAD presented the planned project, titled "First Forum on Seasonal forecasting and its Applications to Early Warning System for Food Security in West Africa" to its Scientific Advisory Committee (SACOM), the committee immediately considered this initiative. The Committee agreed that this was in line with the strategy which ACMAD should attain as part of its long term objective as it had been agreed upon by the Administrative Council.

This original approach proposed by ACMAD in collaboration with its two partners AGRHYMET and ICRISAT, with similar initiatives, in the conception of the Forum, rests primarily on the pre - forum which took place in Niamey.

In fact this report is the document emanating from the preparatory workshop which was aimed at improving the capacity building of the various National Meteorological and Hydrological Services and to establish useful contact between the stake holders/users and professionals in both Meteorology and Climatology.

We are convinced that ACMAD and its Partners, at the just concluded Abidjan Forum, have provided the necessary guidelines for the establishment of a realistic forecast for the next rainfall season for West Africa.

**Professor A. BEN MOHAMED**

President, Scientific Advisory Committee of ACMAD.

## Preface

In view of the research results that was carried out by the International Scientific Committee on Climate Variability and Long Range Forecasting of rainy season in Africa and also ACMAD's strategy in the application of Climate prediction to the various socio - economic sectors, for eight (8) weeks, we worked vigorously to explore the methods of providing seasonal forecasts for West Africa. This occurred during the Workshop in Climate Prediction for West Africa organised by ACMAD in collaboration with AGRHYMET and ICRISAT held between 23<sup>rd</sup> February and 30<sup>th</sup> April 1998. The workshop was attended by participants from twelve Meteorological Services.

The first aspect of this work was to elaborate on statistical models and to apply the research results to provide forecast for the rainfall season (June - October ) on a national scale with a lag of between one and two months. This present publication includes articles that summarises the work done by all the participants at the workshop. All the articles have the same characteristics which enable readers to make comparative assessment of the study of the variations between the results in each country and to facilitate understanding of the procedures.

During the workshop, exercises made use of Sea Surface Temperature (SST) indices as predictors and Seasonal Rainfall indices (SRI) as predictants. Between the two variables SST and SRI correlation were established with lags of 2, 1 and 0 months. This first step was to identify the best predictors and lags of minimum forecast. The second step consisted of grouping all stations in homogeneous zones with their respective correlation like the correlation in Central Pacific, NINO3, etc and to characterise each zone by its seasonal rainfall index which was the mean rainfall indices of the stations obtained in that zone. The statistical models derived were utilised in multiple linear regression. After determining the adjusted coefficients between rainfall indices by zones in the first case and SST indices on the hand, the accuracy of the models were determined by analysis of variance and collinearity. An evaluation of the models by cross validation and contingency tables was also carried out. This step was very important in that it allowed an elaborate simulation of the model on historical rainfall data and the evaluation of the performance of the forecast which could have been obtained if the model existed before. These simulations offered a formidable test on the reliability of the model and to appreciate the effectiveness of operational forecast and its applications in future. It was used to verify that the real test of the model lies in its utilisation in future, which might constitute the real independence of the model and cannot be replaced by a definite simulation of the past.

The results of this evaluation for each model was defined by the following parameters:

FISCHER'S TEST: (F- RATIO) It gives the ratio of the independent value given by the regression and its variance residue and its significant p-value.

The "SKILL": Is the correlation between observed values of the predictand and those obtained by the cross-validation, it gives the performance of the forecast model.

THE PROBABILITY OF DETECTION "POD": Is the capacity of the model to (detect) forecast very well in a category of season previously fixed. In this case, we employ the use of tree statistics equivalents; seasonal category analyses: Dry, Normal and Wet. For example, if we are interested in the detection of Dry season, the P.O.D of the model is the number of the dry season correctly forecast by the model in the all dry time series used in the model divided by the total number of dry category (1/3 of time series).

FALSE ALARM "F.A.R": It is the number of forecast category while the opposite was observed divided by the total forecast number of this category. For example, the F.A.R of dry category is the number of dry season forecast by the model while wet season has been observed divided by the total number of dry season which the model forecast.

PROBABILITY OF COINCIDENCE "%C": It is the ratio of percentage of the categories forecast correctly by the model and the time series used to develop the model.

THE HIT SCORE "HSS": Is the value added by the model to the one calculated by chance. The Hit Score of a perfect model is HSS=1 (100%) and a model which has an HSS=0 (%) is chance model. The HSS is calculated from the contingency table of forecast category and observed category using the following formula:

$$\text{HSS (\%)} = (H - C) / (T - C) * 100$$

Where:

H: is the number of coincidence of forecast and observed categories (The total of diagonal values of the contingency table),

C: is the number of coincidence of a chance in the contingency table,

T: is the period within the time series.

**The model performance is measured by:**

>A high value of F-Ratio and low p-value

>A high "Skill"

>A high P.O.D

>A low F.A.R

>A high %C

>A high value of HSS.

The last four criteria of performance are very useful for users, as it gives a simplified indication of the model forecasting value and also the POD and the FAR could help in the evaluation of the costs and benefits of applying the forecast of the model to their decision making process.

We didn't stop at the model development level only but also an elaboration of the seasonal forecasting of June-July-August-September 1998 over Western Africa was undertaken, a presentation of this was made during the Abidjan Forum on Seasonal forecasting and its Applications to Early Warning System for Food Security in West Africa (Abidjan 4-8 May 1998). During that Forum, participants presented their models and the results of the 1998 seasonal rainfall forecasting on national scale. With this exercise, the forecast was validated and considerable improvement was recorded in the sub-region. Other international Climatic Centres invited to this occasion include : UK. Met Office, IRI, CPC/African Desk, ECMWF, and some Universities, African and international institutions.

Also, this exercise permitted the users to understand the advancement in the domain of seasonal climate Prediction at the global, sub-region as well as national scale taking into consideration the recent reinforcement in the strengthening of the capacity building of climatologists. Further more, the users can now better appreciate this new endeavour and allow a closer contact and collaboration between them and the NMS in their respective countries for the possible application of seasonal prediction in the activity domain.

In order to sustain this work on a continuing basis, ACMAD provided the necessary equipment to all participants which is necessary for further development and to make operational seasonal prediction activity on their return home. We deeply appreciate the enthusiasm of all the directors of Meteorological Services of the sub-region in their support for this work by providing the necessary administrative personnel to sustain and continue this important work.

In view of the satisfactory result obtained by the Western African group, we can now extend this experience to other sub-region within Africa; the adaptation process can easily be transferred since the preparatory work and the learning process in technical and scientific techniques even its organisation are now well understood. Other countries from Africa namely: Kenya, Malawi, Ethiopia, Democratic Republic of Congo and Burundi have benefited from this methodology and it is therefore expected that other African countries will follow suit in this new approach of capacity building in the domain of climate prediction and its application to socio-economic sectors for sustainable development. The mission of ACMAD programme and its strategy in this activity has obliged her to respond to all needs without any discrimination.

**Omar Baddour**

Chief of Climate Unit, ACMAD

Scientific Personnel Responsible for Climate Prediction in West Africa.

## Avant propos

Lorsque le Directeur Général de l'ACMAD présenta au Comité Scientifique Consultatif (SACOM) du Centre le projet de programme du Premier Forum sur la Prévision Climatique Saisonnière/Application à l'Alerte Précoce et la Sécurité Alimentaire en Afrique de l'Ouest, le Comité considéra immédiatement cette initiative comme répondant parfaitement à la stratégie que devait développer le centre pour atteindre les objectifs qui lui ont été assignés par son Conseil d'Administration.

L'originalité de l'approche proposée par l'ACMAD et ses deux partenaires dans la conception de ce Forum que sont les centres AGRHYMET et ICRISAT, par rapport aux initiatives similaires, réside principalement dans le pré-forum de Niamey. En effet, cet atelier préparatoire dont le rapport fait l'objet du présent document, a comme principaux résultats le renforcement des capacités des services météorologiques et hydrologiques nationaux participants ainsi que le contact établi entre les usagers et les professionnels de la météorologie et du climat.

Aussi, nous demeurons convaincus que le centre ACMAD et ses partenaires ont par cette action, assuré les conditions nécessaires à l'établissement d'un consensus réaliste sur la prévision de la prochaine saison des pluies en Afrique de l'Ouest, au Forum d'Abidjan.

**Prof. A. BEN MOHAMED**

Président du Comité Scientifique Consultatif de l'ACMAD

## Préface

A la lumière des résultats de recherches menées par la communauté scientifique internationale sur la variabilité climatique et la prévision à longue échéance des saisons pluvieuses en Afrique et en corollaire à la stratégie de l'ACMAD dans le domaine des applications de la prévision climatique pour les divers secteurs socio-économiques, nous nous sommes attelés durant huit semaines de travail laborieux à explorer la mise en œuvre de la prévision saisonnière de la pluie en Afrique de l'Ouest. Ceci a eu lieu à l'occasion de l'atelier de travail sur la prévision climatique en Afrique de l'Ouest organisé par l'ACMAD en collaboration avec l'AGRHYMET et l'ICRISAT entre le 23 Février et le 30 avril 1998. Ce travail d'équipe a regroupé douze services météorologiques sous l'encadrement de l'ACMAD. Il a visé en premier lieu à appliquer ces résultats de recherche pour élaborer un (des) modèle(s) statistique(s) permettant de prévoir, à l'échelle nationale, un à deux mois à l'avance la saison pluvieuse s'étalant de Juin à Octobre. La présente publication regroupe les articles qui résument les travaux effectués par les participants à l'atelier. La rédaction des articles épouse presque la même structure, ceci dans le but de pouvoir faire une comparaison rapide et facile, chose qui est importante pour étudier la variation des résultats d'un pays à l'autre et de faciliter le parcours du document.

L'exercice durant l'atelier a consisté à prendre les indices de la température de la surface de l'Océan 'SST' comme prédicteurs et la pluie saisonnière 'RRS' comme élément climatique à prévoir. Entre les deux variables SST et RRS, nous avons essayé d'établir les relations de corrélation avec un décalage de 2, 1 et 0 mois. Cette première étape a permis d'identifier les meilleurs prédicteurs et les décalages "échéances" de prévision minimum. Ensuite l'étape suivante a consisté à regrouper les stations en zones homogènes au point de vue de ces corrélations, notamment la corrélation avec l'indice de la SST du Pacifique central NINO3, et de caractériser chaque zone par son indice de pluie saisonnière, qui est la moyenne des indices pluviométriques des stations contenues dans la zone. Le modèle statistique générique qui a été utilisé est la régression linéaire multiple. Après avoir déterminé les coefficients d'ajustement entre les indices pluviométriques par zone d'une part et les indices de la SST d'autre part, puis la pertinence du modèle - celle-ci a été déterminée par l'analyse de la variance et de la co-linéarité - on a procédé à l'évaluation des modèles par la reconnaissance glissante "cross-validation" et la table des contingences. Cette étape est d'une importance capitale, car elle permet de simuler le modèle ainsi élaboré sur les données pluviométrique du passé, et de dégager la performance de la prévision qui aurait été obtenue si le modèle avait existé sur toute la période de la série de données utilisée. Cette simulation offre un test formidable de la fiabilité du Modèle et permet de juger sur l'utilité de son utilisation pour une prévision opérationnelle pour des situations réelles futures. Il est à préciser cependant que le test réel du modèle proviendra de son utilisation sur plusieurs années à venir qui constitueront les vraies unités indépendantes pour le modèle, et que ce test ne pourrait en tout cas être remplacé définitivement par une simulation du passé.

Les résultats de cette évaluation sont exprimés pour chaque modèle par les paramètres suivants :

LE TEST DE FISHER: "F-RATIO" : Il donne le rapport de la variance expliquée par la régression et la variance des résidus et sa signification statistique 'p-value'.

Le "SKILL" : C'est la corrélation entre les valeurs observées du prédictand et celle prévues par la reconnaissance glissante, il exprime la performance prévisionnelle du modèle.

LA PROBABILITÉ DE DÉTECTION "P.O.D" : C'est le pouvoir de détection par le modèle d'une catégorie de saison préalablement fixée. Pour l'occasion on s'est fixé à l'aide de l'analyse des terciles saisonniers trois catégories statistiquement équiprobable : Sèche, Humide et normale. A titre d'exemple si on s'intéresse à la détection des saisons sèches, la P.O.D du modèle c'est le nombre de cas parmi toutes les saisons sèches de la série utilisée qui ont été correctement prévues par le modèle divisé par le nombre total des catégories sèches (le 1/3 de la série).

LA FAUSSE ALERTE "LE F.A.R": C'est le nombre prévu d'une catégorie donnée alors que c'est l'opposé qui a été observé divisé par le nombre total prévu de cette catégorie. Par exemple le F.A.R pour la catégorie sèche est le nombre de saisons sèches prévues alors que c'est c' est une saison humide qui a été observée divisé par le nombre total de saisons sèches prévues par le modèle.

Le taux de coïncidence %C: C'est le pourcentage des catégories correctement prévues par rapport au nombre total de l'échantillon de données.

Le "Hit SKILL SCORE :HSS", c'est la valeur ajoutée par le modèle par rapport à une prévision faite au hasard, un modèle parfait dispose d'un HSS = 1 (100%) et un modèle de prévision aléatoire dispose d'un HSS=0 (0%). Le HSS est calculé à partir de la table de contingence à double entrée : catégories prévues x catégories observées par la formule suivante:

$HSS (\%) = (H - C) / (T - C) * 100$ , avec H: le nombre de coïncidence des catégories prévues et observées (la somme des valeurs de la diagonale de la Table des contingences.).

C: c'est le nombre de coïncidence pour une table de contingence d'une prévision purement aléatoire, T: taille de l'échantillon

**La qualité du modèle est ainsi mesurée par :**

- >Un plus grand F-ratio est plus faible p-value
- >Un plus grand "Skill"
- >Une plus grande P.O.D
- >Un plus faible FAR,
- >Un plus grand %C
- >Un plus grand HSS

Les quatre derniers critères de qualité sont d'une grande utilité pour les usagers, car ils leurs offrent une indication simplifiée de la valeur prévisionnelle du modèle d'une part et d'autre part la POD et le FAR peuvent servir d'entrées pour l'évaluation des coûts et des bénéfices de l'application de la prévision du modèle dans le processus de décision.

Le travail ne s'est pas arrêté au développement de l'outil mais s'est étendu à l'élaboration de la prévision saisonnière pour la saison de Juin-Juillet-Août-Septembre 1998 sur l'Afrique de l'Ouest et sa présentation durant le Forum sur la prévision saisonnière en Afrique de l'Ouest et ses application pour la sécurité alimentaire qui s'est tenu à Abidjan du 4 au 8 Mai 1998. Durant ce Forum les participants ont présenté leur modèles et les résultats de la prévision élaborée à l'échelle nationale. Cette exercice a permis de valider cette prévision et la consolider au niveau de la sous-région par d'autres Centres climatiques mondiaux invités pour l'occasion: Météo-France, UKMO, IRI, CPC/AfricanDesk, ECMWF, ainsi que d'autres universités et institutions Africaines et Internationales. Parallèlement à cette consolidation, l'exercice a permis aussi de faire part les usagers présents au Forum, des avancements dans le domaine de la prévision saisonnière à l'échelle mondiale tout comme à l'échelle de chaque pays de la sous-région en tenant compte du récent renforcement de leurs capacités. Ce qui a permis une réelle mise à jour de la conception des usagers envers ce domaine émergent et les mettre en étroite collaboration avec les SMHN de leur propre pays pour les applications possibles de la prévision saisonnière dans leur domaine d'activité.

Pour assurer la pérennité du travail et de l'Outil on s'est tâché à l'ACMAD de mettre à la disposition des participants l'environnement technique nécessaire pour l'opérationnalisation de la prévision saisonnière et son développement une fois de retour dans leurs propres services. Comme aussi du côté des Directeurs des Services Météorologiques de la Sous-région, on note un engagement clair pour assurer le cadre administratif et humain adéquat pour assurer la durabilité de cette importante œuvre.

Enfin, au vu des résultats satisfaisants obtenus durant le travail de l'équipe de l'Afrique de l'Ouest, nous nous trouvons maintenant dans la possibilité d'étendre cette expérience à d'autres sous-régions de l'Afrique ; le procédé d'adaptation serait aisé étant donné que le travail de préparation, d'adaptation et d'apprentissage sur le plan scientifique, technique et évidemment organisationnel, se trouve maintenant rodé. Ainsi à présent on note déjà l'extension de la méthodologie à d'autres pays de l'Afrique comme par exemple: Le Kenya, le Malawi, l'Ethiopie, Le Congo- Démocratique et le Burundi. D'autres pays sont en cours de souscrire à cette nouvelle approche qui vise le renforcement des capacités dans le domaine de la prévision climatique et ses applications aux secteurs Socio-Economiques pour un développement durable. La mission du Programme ACMAD et son axe stratégique dans ce domaine obligent à répondre a toutes ces demandes sans aucune distinction.

**Omar Baddour,**

Chef de l'Unité Climatique de  
l'ACMAD,  
Responsable scientifique de l'atelier sur  
la prévision climatique en Afrique de  
l'Ouest.

**TABLE OF CONTENTS / TABLE DES MATIÈRES**

**Scientific Research Articles /  
Articles de Recherche Scientifique**

<u>Title/ Author</u> <u>Titre/ Auteur</u>	<u>Page</u> <u>No.</u>
Prévision Saisonnière des Précipitations au Bénin/ J. M. NOUKPOZUONKOU et O. BADDOUR	1
Prévision Saisonnière des Précipitations au Burkina Faso / D.H. OUEDRAOGO et O. BADDOUR	18
Prévision Saisonnière des Précipitations en Guinée-Bissau/ J. L. TCHEDNA et O. BADDOUR	45
Prévision Saisonnière des Précipitations au Mali/ S. BAYA et O. BADDOUR	63
Prévision Saisonnière des Précipitations au Niger/ L. M. ISSA et O. BADDOUR	83
Predicting Seasonal Rainfall in Nigeria Using Sea Surface Temperature/ O. C. ALIGBE and O. BADDOUR	104
Prévision Saisonnière des Précipitations au Sénégal/ C. DIOP et O. BADDOUR	106
Prévision Saisonnière des Précipitations au Tchad/ S. MBAINAYEL et O. BADDOUR	120
Prévision Saisonnière des Précipitations au Togo/ K. D. GADAGBUI et O. BADDOUR	135
Prévision Saisonnière des Pluies au NW du Maghreb en deux saisons/ S. S. ABED et O. BADDOUR	148
Forecasting JAS Seasonal Rainfall Amount and the Suitability of the JAS Season for Specific Crops in the Guinea Coast region of West Africa, using Equatorial Atlantic Sea Surface Temperature Anomalies/ <b>O. ALIGBE and Al.</b>	162
Developing a Capacity for Forecasting Seasonal Rainfall and use of long-lead climate forecasts for enhanced and sustainable agricultural production in Kenya/ <b>S. T GATHARA and O. BADDOUR</b>	169
<b>Seasonal to Interannual Rainfall Variability Prediction as an early Warning tool in Malawi/ J. NKHOKWE and O. BADDOUR</b>	194

# Prévision Saisonnière des Précipitations au Bénin

**Justin M. NOUKPOZOUNKOU:** Direction du Service National de la Météorologie BP 379 Cotonou , Bénin.

**Omar BADDOUR:**

-Chef Programme Prévisions Climatiques et Applications, ACMAD, BP. 13184, Niamey, Niger.

-Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc.

## INTRODUCTION

Le Bénin est un pays dont l'économie est basée essentiellement sur l'agriculture. Parmi les problèmes qui entravent le développement durable du secteur agricole au Bénin et font de l'autosuffisance alimentaire un objectif de plus en plus difficile à atteindre, celui de la maîtrise et de la gestion de l'eau occupe une position centrale. En effet, l'agriculture béninoise est essentiellement pluviale ce qui, du coup, l'expose à tous les aléas climatiques (sécheresses, inondations, retards prononcés du démarrage des saisons, fins précoces des saisons pluvieuses, etc....).

Par ailleurs, plusieurs autres secteurs tels que ceux des transports et des travaux publics, de l'énergie, de la santé, du commerce, etc....sont fortement tributaires du climat et de ses variations.

La connaissance préalable de la qualité des saisons serait donc d'une grande utilité pour une planification des activités au niveau des différents secteurs sus cités.

Dans la présente communication, il a été étudié la période **Juillet – Août - Septembre** qui correspond pratiquement à l'unique saison des pluies dans le Nord du pays et à la petite saison sèche dans le Sud.

Le travail effectué a consisté à rechercher la corrélation qui existe entre les précipitations et les anomalies des températures de la surface de la mer (SST) en vue d'établir des modèles de prévision statistique pour des zones préalablement sélectionnées en fonction de l'importance des liaisons de ces deux variables.

Les données pluviométriques utilisées (séries de 1964 .. 1995) sont issues de la base des données du Service Météorologique du Bénin et les SST ont été fournies par l'ACMAD. Le logiciel de traitement statistique utilisé est le SYSTAT (Version 7.0).

## II- DESCRIPTION GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE

### 1.Situation Géographique et climats

Située dans la zone intertropicale la République du Bénin couvre une superficie de 112600 km<sup>2</sup> avec une population d'environ 5 millions d'habitants. Elle s'étend entre les latitudes 6°15' et 12°30' N et les longitudes 1° et 3°40' E et est limitée :

- Au Nord par le Niger et le Burkina Faso ;
- Au Sud par l'Océan Atlantique ;
- A l'Est par le Nigéria ;
- A l'Ouest par le Togo.

Au plan climatique, trois régions caractérisent le Bénin à savoir :

- une zone Nord à climat tropical continental (soudanien) caractérisé par la succession dans l'année d'une saison sèche (de novembre à avril) et d'une seule saison des pluies avec un maximum pluviométrique en Août- Septembre. Les précipitations annuelles varient en moyenne entre 750 et 1200 mm. En saison sèche, la température journalière varie entre 16 et

20°C et l'humidité relative est très faible en général. Elle est par contre élevée en saison des pluies.

- une zone de transition entre le climat tropical continental et le climat subéquatorial des régions précôtières. Elle est caractérisée du point de vue pluviométrique par un régime du type bimodal avec toutefois une tendance unimodale dans sa partie septentrionale. Les hauteurs annuelles des pluies oscillent en moyenne entre 1100 et 1200 mm.

- une zone côtière caractérisée par un régime de pluie bimodal. On y distingue quatre saisons plus ou moins marquées par :

- une grande saison sèche de mi-novembre à mi-mars ;
- une grande saison des pluies de mi-mars à mi-juillet ;
- une petite saison sèche de mi-juillet à mi-septembre ;
- une petite saison des pluies de mi-septembre à mi-novembre.

Les quantités annuelles des pluies varient en moyenne entre 1000 et 1500 mm.

Les écarts thermiques annuels varient en général entre 2° et 6°C. L'humidité relative reste pratiquement constante à l'échelle de l'année à cause de l'influence maritime.

## **2-Variation Pluviométrique**

L'analyse des données pluviométriques observées sur les quarante dernières années révèle les grands traits ci-après :

### **A l'échelle annuelle**

#### **De 1956 à 1984 :**

Si l'on exclut quelques forts excédents pluviométriques observés pendant les années 1957, 1960, 1963, 1969, 1975 et 1978 dans le Nord du pays, puis ceux connus en 1960, 1962, 1963, 1968 et 1979 dans les régions centrale et méridionale, les hauteurs de pluie enregistrées accusent un déficit annuel de 20 à 40% par rapport à la normale (1961-1990). Il importe de noter que dans la plupart des stations les plus forts déficits remontent aux années 1958, 1977 et 1983 qui constituent des années de sécheresse. Signalons en particulier que le déficit constaté en 1977 a été plus marqué dans le Sud du pays, notamment dans la zone côtière. Tandis que celui de 1983 qui a été particulièrement ressenti dans les régions centrales et septentrionales, s'était généralisé dans la plupart des pays africains et notamment les pays sahéliens.

#### **De 1985 à 1996 :**

Cette période a été globalement marquée par des inondations dues essentiellement à des pluies qui se décalent dans le temps pour se concentrer sur plusieurs jours occasionnant très rapidement la saturation du sol et le gonflement des cours d'eau.

### **A l'échelle saisonnière**

Sur le plan saisonnier, le régime pluviométrique a connu des anomalies significatives notamment dans la répartition temporelle des précipitations.

L'irrégularité et la mauvaise répartition des pluies se sont manifestées par une précocité, un retard prononcé ou un arrêt brutal de la saison. Comme exemple, il faut noter que depuis environ 8 ans (1997 exclue), le démarrage effectif de la grande saison des pluies dans le Sud du pays a lieu en général au mois de Mai, ce qui se traduit par un retard prononcé. Cette situation qui affecte en général le calendrier agricole, suscite de plus en plus des inquiétudes

portant à croire à une modification du cycle des saisons. Ce constat qui se dégage de l'observation faite par l'opinion publique ne peut être confirmé à partir d'un faible échantillon de données mais mérite une attention particulière surtout dans le cadre des préoccupations actuelles en matière d'études sur la prévision saisonnière des pluies et des changements climatiques.

### **Cas de l'année 1997 :**

Le régime pluviométrique observé en 1997 est venu renverser les tendances des années précédentes décrites plus haut et infirmé les hypothèses d'une éventuelle modification du cycle des saisons dans le Sud du pays. En effet, au cours de l'année 1997, le démarrage, le déroulement et la fin des saisons pluvieuses ont été conformes aux conditions normales.

## **III - CALCUL DES CORRELATIONS ENTRE LES SST ET LES PRECIPITATIONS DE LA PERIODE JUILLET- AOUT-SEPTEMBRE**

### **1- Justification du choix de la période juillet- août- septembre**

Comme signalé plus haut, les mois de juillet, août et septembre correspondent, pour le Nord du pays, à la période du maximum pluviométrique de l'unique saison des pluies de la région. Plus de 60 % de la quantité annuelle intéresse cette période. Elle correspond aux périodes végétatives des cultures et une insuffisance de la pluviométrie sur l'ensemble de ces mois compromet dangereusement les récoltes et entraîne des déficits alimentaires et économiques. C'est pourquoi, la connaissance préalable de la qualité de la saison dans cette région est nécessaire pour la planification des activités agricoles et économiques.

Dans le Sud du pays la période **Juillet- Août- Septembre** correspond pratiquement à la petite saison sèche, période de récoltes ainsi qu'à la préparation de la petite saison pluvieuse. L'analyse de la situation pluviométrique au cours de ces mois fait ressortir qu'une pluviométrie anormalement abondante pendant cette période a pour conséquence la perte de la grande partie des récoltes de la grande saison des pluies et l'impossibilité d'une organisation correcte des travaux champêtres de la petite saison. Il se crée une condition de famine relative pouvant durer dans certains cas jusqu'à la prochaine grande saison. Eu égard à tout cela, une connaissance préalable de la nature de pluviométrique de la période en cause donne la possibilité de :

- choisir les variétés culturales ;
- procéder s'il y a lieu à plusieurs récoltes sur la saison ;
- prévenir les inondations ;
- planifier les périodes de récoltes.

Au total la période **Juillet –Août- Septembre** est une période qui a un grand poids économique dans la vie des populations sur l'ensemble du pays.

### **2-Données utilisées et choix des stations**

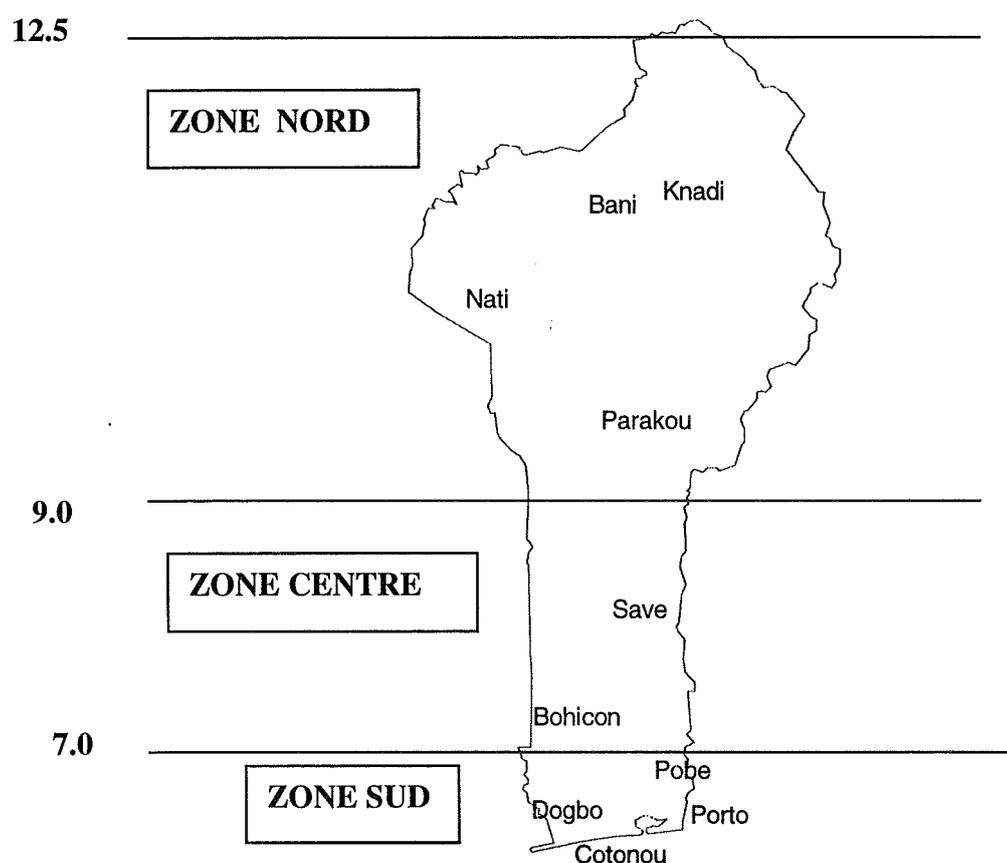
Pour la présente étude les données utilisées sont les hauteurs mensuelles des pluies de la série 1964-1995. Dix stations ont été sélectionnées sur l'ensemble du pays en fonction des nombres de données manquantes. Il s'agit des stations de Banikoara, Kandi, Natitingou, Parakou, Save, Bohicon, Pobè, Dogbo, Porto-Novo et Cotonou-Aéroport. Les valeurs moyennes utilisées sont celles calculées sur 30 ans (19864-1993).

Les valeurs des SST sont leurs anomalies relevées de 1901 à 1995. Les zones océaniques dont les variations de température influencent les précipitations en Afrique de l'Ouest sont celles situées dans l'Atlantique Equatoriale Sud ( $0^{\circ}$  -  $10^{\circ}$ S ;  $20^{\circ}$ W -  $10^{\circ}$ E), dans l'Atlantique Nord Ouest ( $20^{\circ}$ N -  $40^{\circ}$ N ;  $30^{\circ}$ W -  $10^{\circ}$ W ) et dans le Pacifique : NINO3 ( $10^{\circ}$ S -  $10^{\circ}$ N ;  $150^{\circ}$ W -  $90^{\circ}$ W ). En outre, il a été pris aussi en compte la composante principale N° 3 (EOF<sub>3</sub>) qui indique la variation à long terme de la température de la surface de l'océan global.

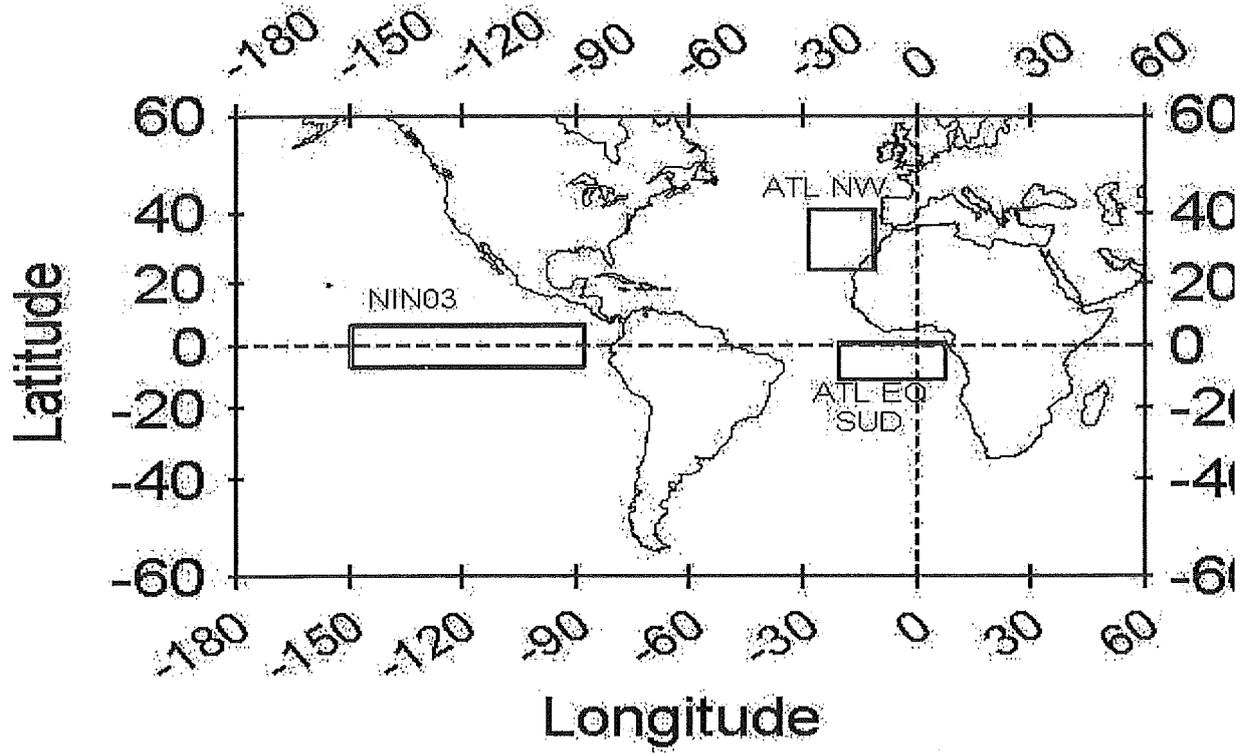
En vue de calculer les corrélations, il a été procédé à la détermination des cumuls saisonniers des précipitations, à la standardisation de ces valeurs et au calcul des indices pluviométriques par station et par zone.

L'emplacement des stations et des zones océaniques figure sur les cartes ci-dessous.

**CARTE DES STATIONS ET DES ZONES ETUDIEES :**  
**Carte N°1**



CARTE N°2 : LOCALISATION DES ZONES OCEANIQUES



### **3- Corrélations entre les SST et les précipitations des stations et zonage**

Les résultats obtenus montrent ce qui suit :

- **les SST de l'Atlantique Equatoriale Sud** présentent des corrélations positives avec les précipitations des stations du Sud et du Centre du pays. Les valeurs de ces corrélations sont assez significatives dans ces régions mais elles se révèlent plus importantes au Centre qu'au Sud. Dans le Nord, les corrélations sont peu significatives et instables du point de vue de leurs signes et leur ordre de grandeur.
- **les SST de l'Atlantique Nord Ouest**, présentent des corrélations en général très faibles sur l'ensemble du pays avec une instabilité d'une station à l'autre.
- **les SST du Pacifique (NINO3)**, montrent des corrélations négatives assez significatives dans le Nord tandis que pour le Sud et le Centre les liens sont très faibles.

Sur la base de toutes ces corrélations, trois zones ont été constituées :

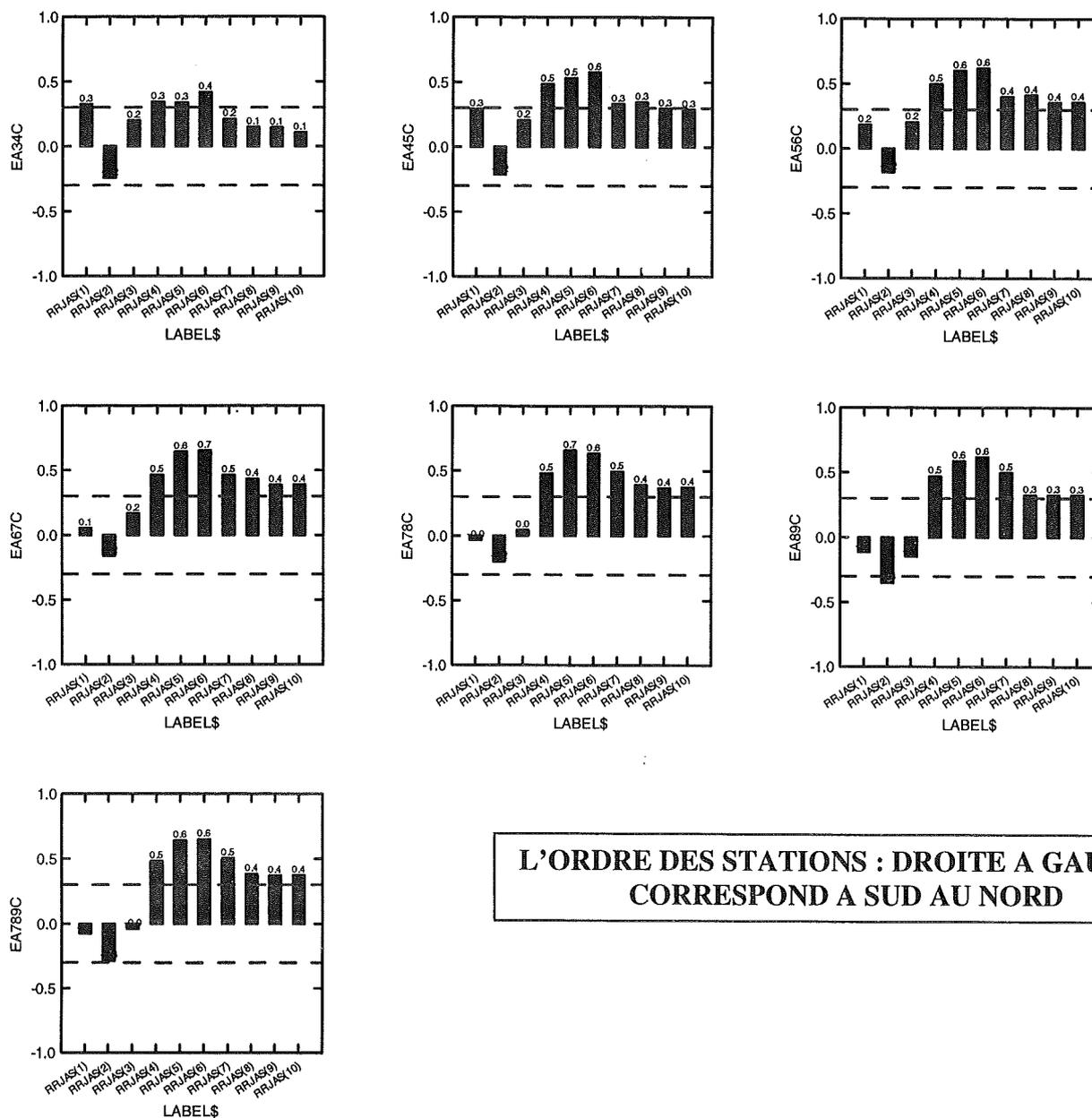
- **une zone Sud** (jusqu'à 7°N) où les SST de l'Atlantique Equatoriale Sud ont une corrélation significative avec les précipitations ;
- **une zone Centrale** (entre 7° et 9.5°N) où les précipitations sont liées aux SST de l'Atlantique Equatoriale Sud ;
- **une zone Nord** (au-dessus de 9.5°N) où il existe une corrélation significative avec les SST du Pacifique (NINO3).

L'emplacement des zones pluviométriques figure ci-dessus carte n°1.

En vue de prendre en compte l'influence des variations globales à long terme des SST, il a été calculé la corrélation entre les zones et la composante principale des SST (EOF3) qui comportent les signaux de ces variations. Les résultats montrent que seule la zone Nord subit l'influence de ces variations. Les différentes corrélations sont représentées sur les figures numérotées de 1 à 7.

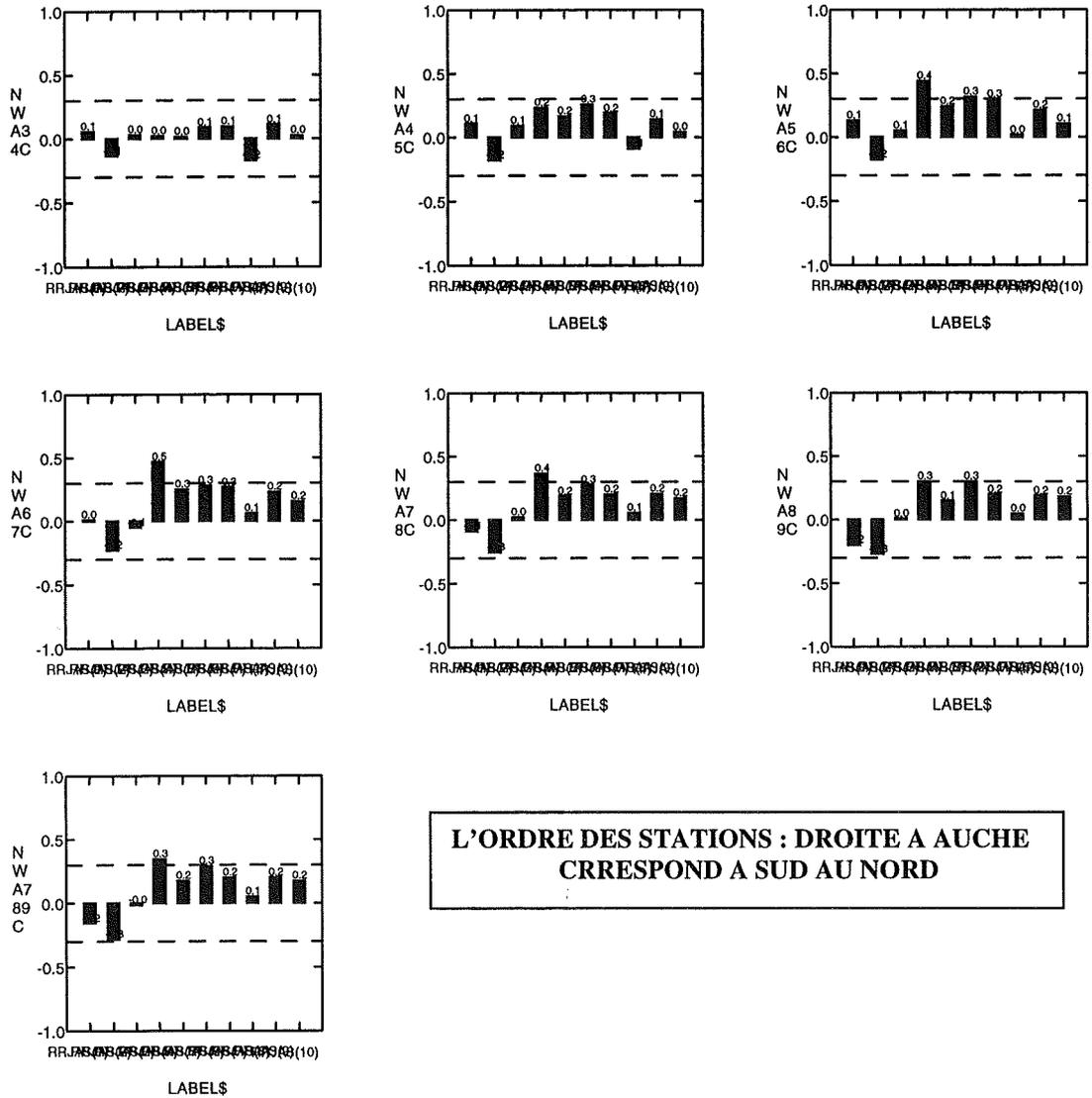
**NB :** Sur ces figures la 3<sup>ème</sup> zone à partir de la gauche n'est pas considérée.

**FIGURE °1** : Corrélation entre les précipitations et les SST de l'atlantique équatoriale

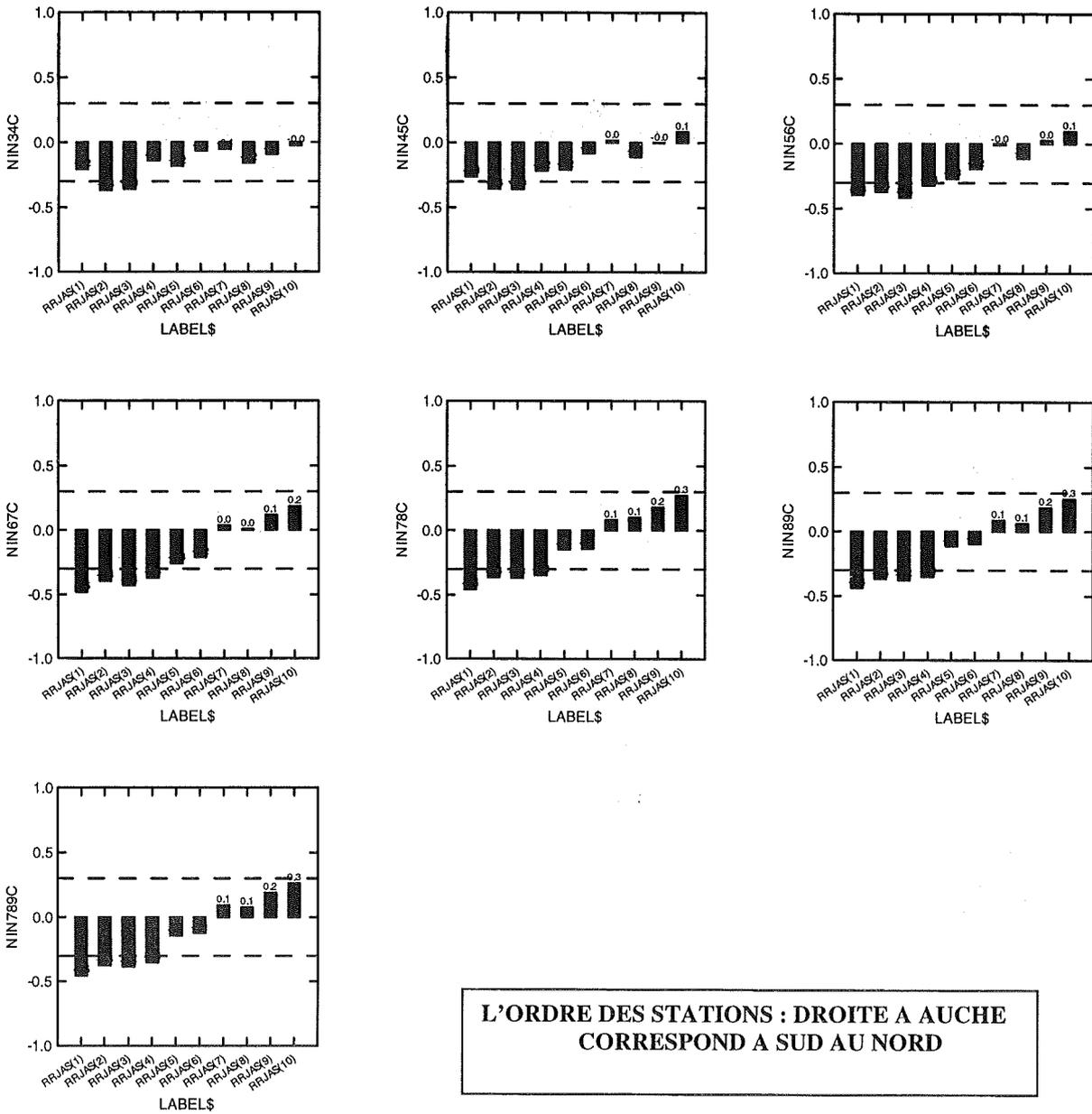


**L'ORDRE DES STATIONS : DROITE A GAUCHE  
CORRESPOND A SUD AU NORD**

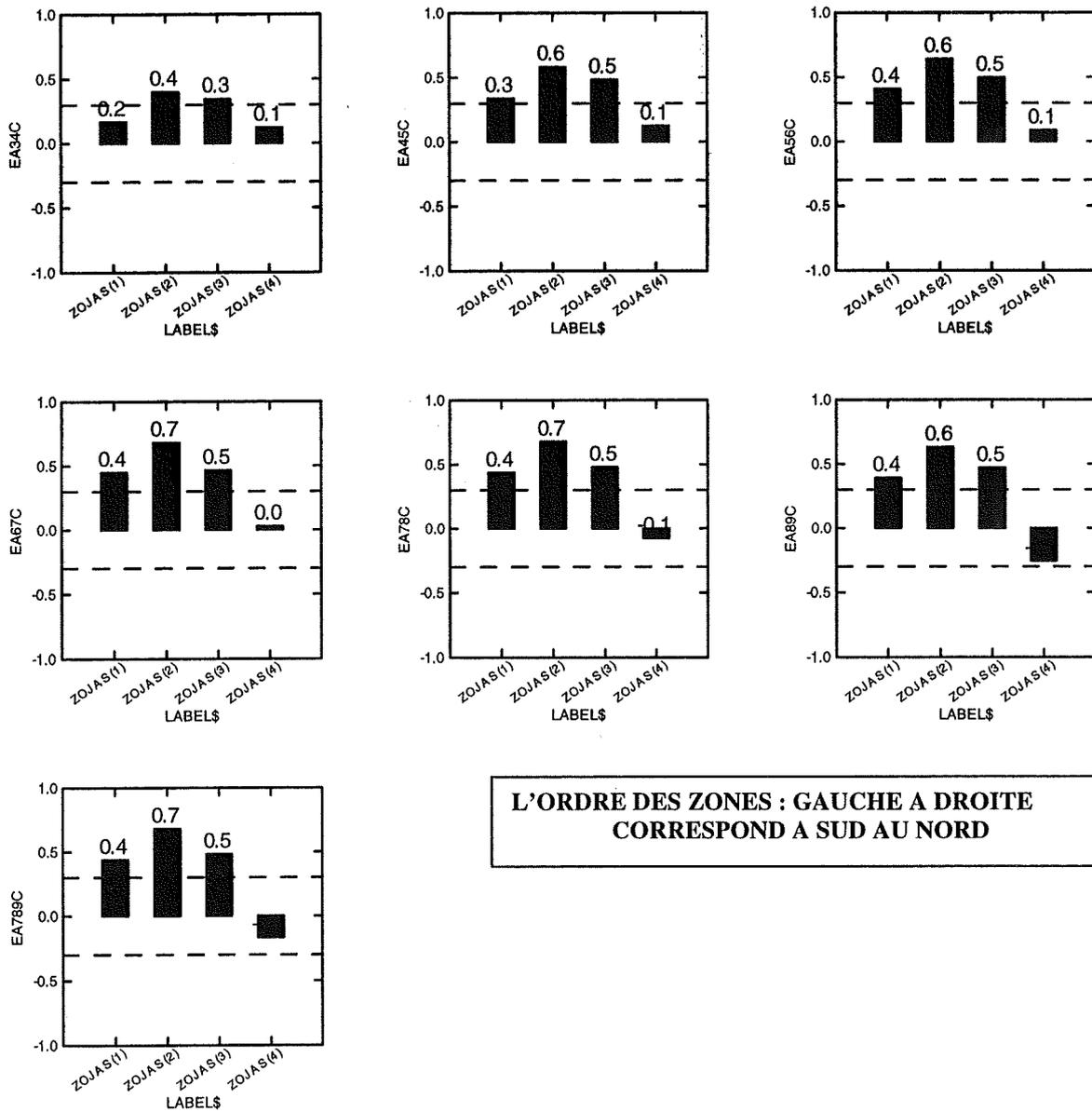
**Figure °2 : Corrélation entre les précipitations et les SST de l'atlantique nord-ouest**



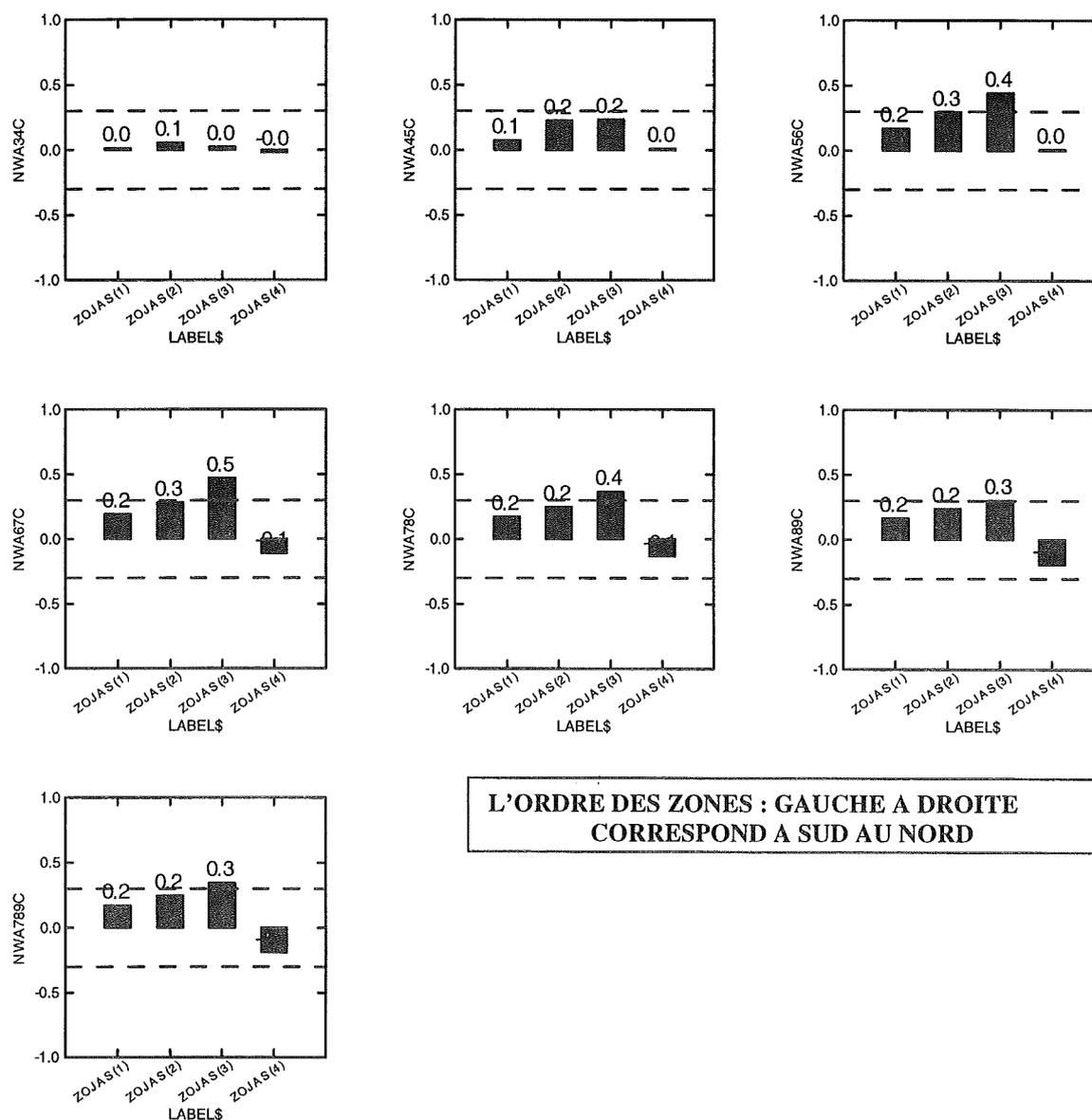
**Figure 3** : Corrélation entre les précipitations et les SST (NINO3°)



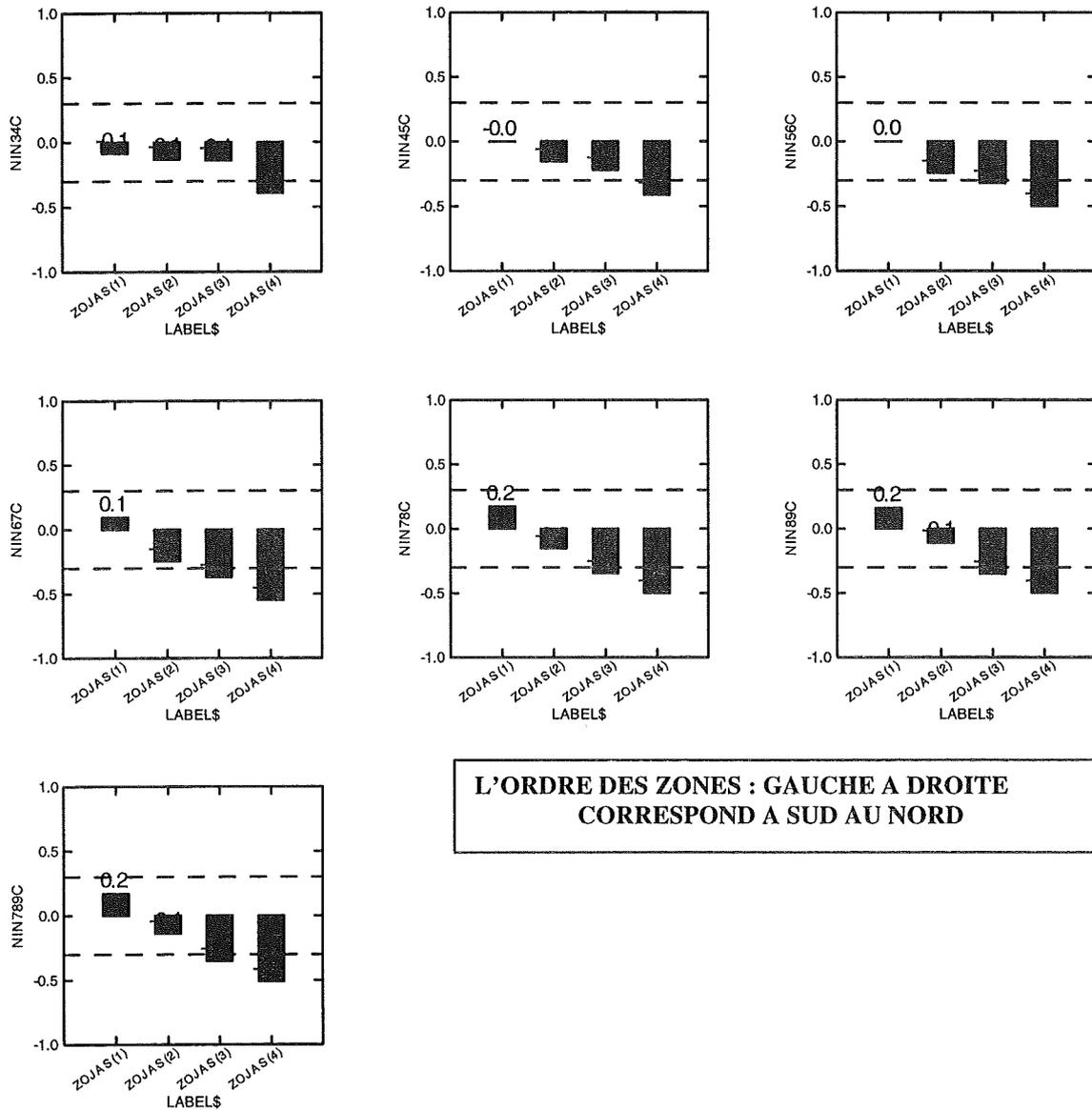
**Figure 4 :** Corrélation entre les zones de précipitations et les SST de l'atlantique équatoriale



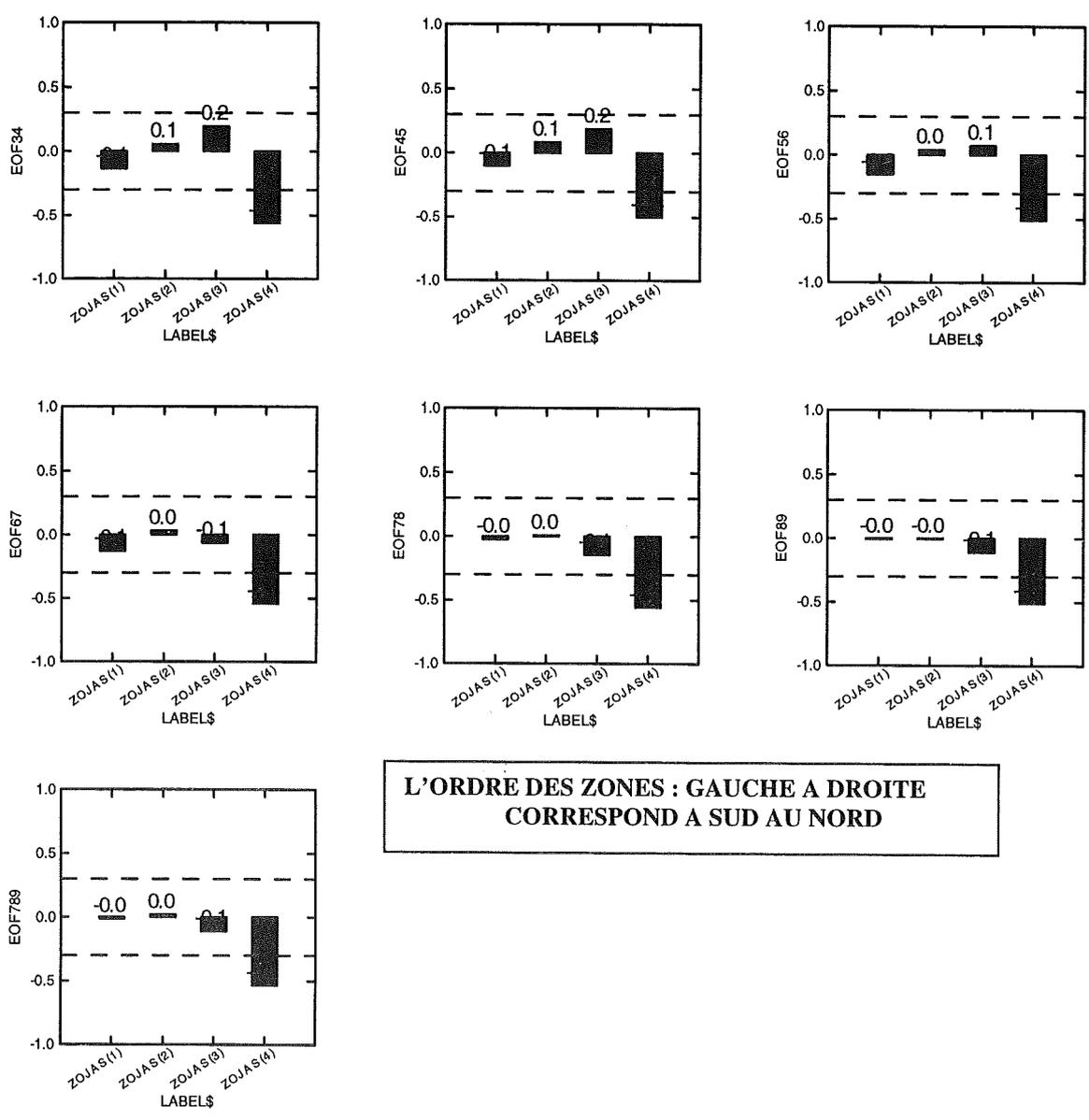
**Figure °5 : Corrélation entre les zones et les SST de l'Atlantique nord-ouest**



**Figure n°6** : corrélation entre les zones de précipitations et les SST (NINO3)



**Figure n°7** :Corrélation entre les zones de précipitations et la composante principale EOF3



**L'ORDRE DES ZONES : GAUCHE A DROITE  
CORRESPOND A SUD AU NORD**

### III- REALISATION DES DIFFERENTS MODELES

Trois modèles ont été réalisés (un modèle par zone) à partir de la régression linéaire multiple.

#### 1 - MODELE ZONE NORD = CONSTANT+NIN56T+EOF34

##### 1-1 EVALUATION DU MODELE DE LA ZONE NORD

L'évaluation des modèles a été faite par la méthode de cross-validation (Reconnaissance Glissante) et par la table de contingence. La cross-validation donne le « skill » ou performance qui est une corrélation entre les valeurs observées et prévues. La table de contingence a permis de calculer les paramètres ci-après :

- Le **pourcentage de coïncidence (PC)** qui exprime la probabilité de prévoir juste ;
- La **probabilité de détection (P.O.D.)** qui définit la probabilité de détecter une catégorie de saison : sèche, normale ou humide.
- La **fausse Alerte (F.A.R.)** du 1<sup>er</sup> ou 2<sup>ème</sup> degré qui montre le pourcentage de se tromper de catégorie. Par exemple si le modèle a prévu une catégorie sèche alors qu'il y a eu une situation humide, on dit qu'il y a fausse alerte et le nombre de fois que le modèle s'est trompé sur toute la période est exprimé en pourcentage de fausse alerte ;
- Le **hit score(HSS)** note le modèle par rapport à une prévision au hasard et varie de 0 à 100

Les résultats d'évaluation du modèle de la zone nord sont présentés dans le tableau ci-dessous.

#### MODELE ZONE NORD=0.4611-0.0525\*NIN56T-0.1867\*EOF34

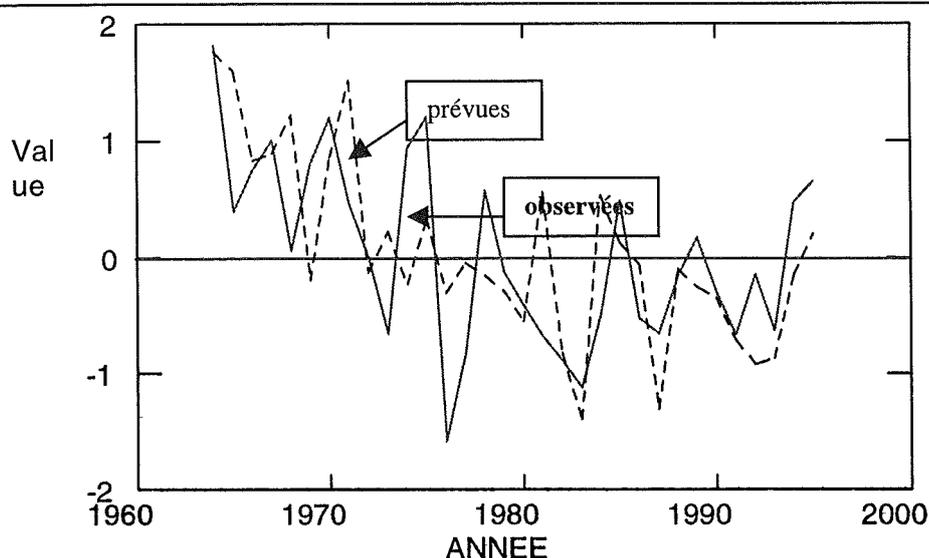
Avec un coefficient multiple  $R=0.68$  et un skill de 0.6

**NB :** les paramètres de la table de contingence ont été calculés pour la détection de la sécheresse.

MODELE	ANALYSE DE VARIANCE			PERFORMANCE				
	R	F-ratio	P%	SKILL	PC	POD	FAR 1	HSS
MODELE	0,68	12,43	0,0001	0,6	44%	45%	0	16%

Il convient de noter au niveau de ces résultats que la fausse alerte du 1<sup>er</sup> degré est égale à zéro ; ce qui signifie que pour tous les cas où le modèle a prévu la sécheresse qu'il n'y a jamais eu de situation humide. Sur 100 cas de sécheresse, ce modèle aurait pu prévoir 45 et qu'il offre 16% , mieux qu'une prévision aléatoire.

**Graphes N°1 : Courbes des valeurs prévues et observées : Zone Nord**



## 2-MODELE ZONE CENTRE = CONSTANT+EA45T

### 2-1 EVALUATION DU MODELE DE LA ZONE CENTRE

$$\text{MODELE ZONE CENTRE} = -0.2257 + 0.1296 * \text{EA45T}$$

avec un coefficient multiple  $R=0.58$  et un skill de 0.52

MODELES	ANALYSE DE VARIANCE			PERFORMANCE				
	R	F-ratio	P%	SKILL	PC	POD	FAR 1	HSS
				SE	CHE	RES	SE	
				0,52	75%	55%	14%	63%
MODELE	0,58	15,33	0,0005		HU	MI	DE	
				0,52	75%	73%	0%	63%

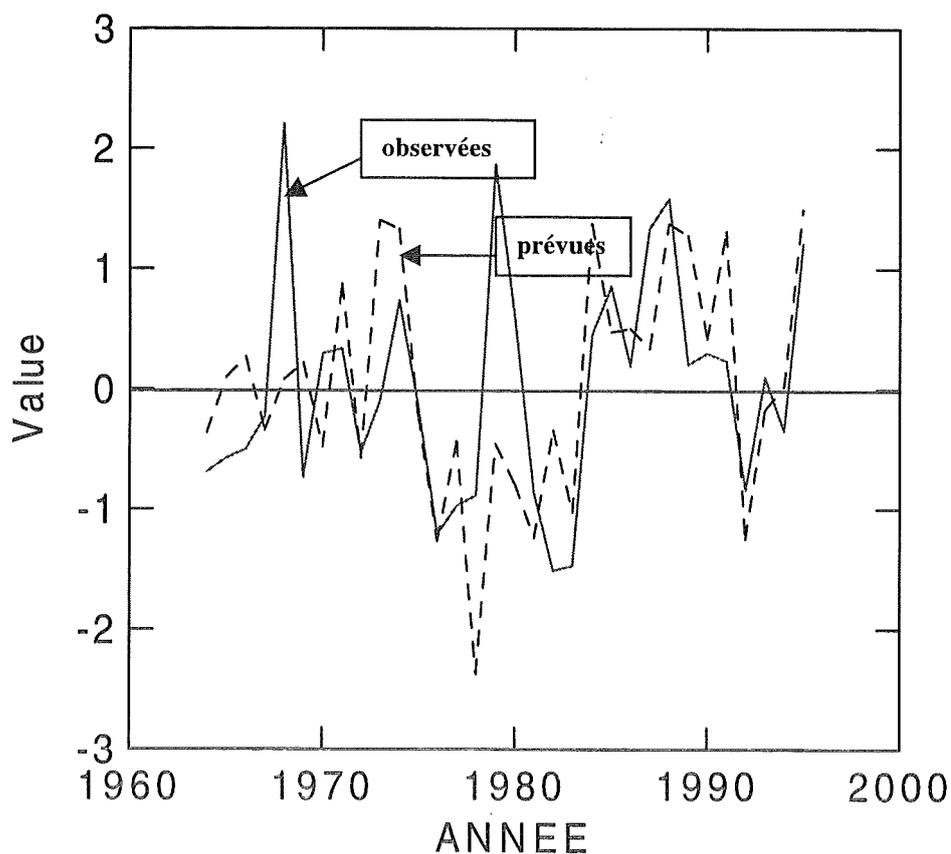
Dans ce tableau, deux cas ont été envisagés pour le calcul des paramètres de la table de contingence. Il s'agit des cas de sécheresse et de situation humide.

Pour la sécheresse, le modèle aurait pu, sur 100 cas, prévoir 55 et n'aurait obtenu que 14 situations humides (fausse alerte).

Dans le cas d'une situation humide, le modèle aurait pu détecter 73 cas sur 100 et il n'a jamais été observé la sécheresse (fausse alerte = 0).

Le pourcentage de coïncidence est de 75% et le « Hit Score » est de 63%, dénotant une bonne performance par rapport au modèle de la zone nord.

**Graphes N°2 : Courbes des valeurs observées et prévues dans la zone Centre**



### 3-MODELE ZONE SUD = CONSTANT+EA56T

#### 3-1 EVALUATION DU MODELE DE LA ZONE SUD

$$\text{SUD} = -0.1681 + 0.0754 * \text{EA56T}$$

avec un coefficient multiple  $R=0.41$  et un skill de 0.3

	ANALYSE DE VARIANCE			PERFORMANCE				
	R	F-ratio	P%	SKILL	PC	POD	FAR 1	HSS
				SE	CHE	RES	SE	
				0,3	50%	73%	9%	25%
<b>MODELE</b>	<b>0,41</b>	<b>5,76</b>	<b>0,0231</b>	SE	HU	MI	DE	
				0,3	50%	60%	7%	25%

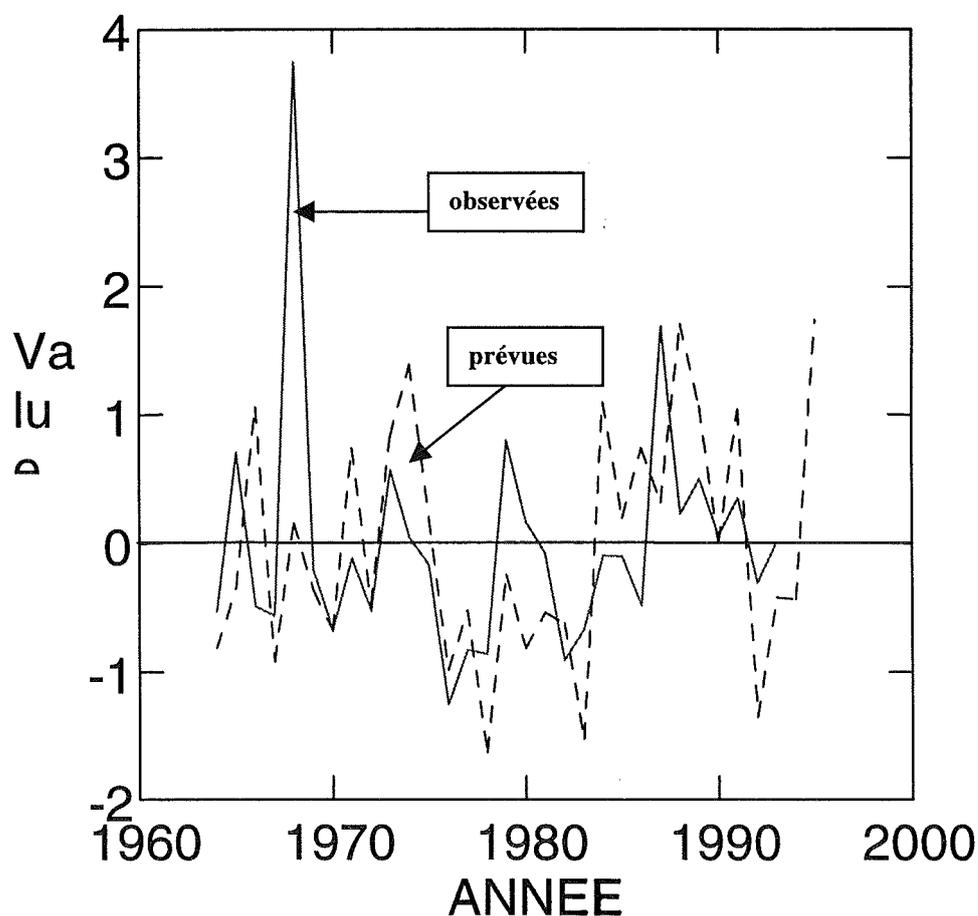
Il ressort des résultats de ce tableau que malgré les faibles valeurs données par l'analyse de variance, les paramètres de la table de contingence sont significatifs.

Dans le cas de la sécheresse : sur 100 cas, le modèle pourrait en détecter 73 avec un pourcentage de de fausse alerte de 9%.

Pour les situations humides, sur 100 cas, le modèle pourrait en détecter 60 avec un pourcentage de de fausse alerte de 7%.

Le pourcentage de coïncidence est de 50%.

**GRAPHE N°3 : Courbes des valeurs observées et prévues :Zone SUD**



#### IV. CONCLUSION

De l'analyse des résultats obtenus, il ressort que les précipitations au Bénin peuvent être, en partie, expliquées par l'influence des variations de la température de la surface de la mer. Dans le Sud et le Centre du pays, les pluies sont influencées par les SST de l'Atlantique Equatoriale Sud, tandis que pour le Nord elles dépendent de l'Océan Pacifique (nino3) .

Les différents modèles réalisés ont donné des résultats assez encourageants qui peuvent permettre d'affirmer qu'il est possible de satisfaire les besoins des usagers en matière de prévisions saisonnières des pluies. Toutefois, ces modèles méritent d'être améliorés en tenant compte des séries plus longues et en ajoutant éventuellement d'autres prédicteurs.

## Prévision Saisonnière des Précipitations au Burkina-Faso

**Didier H. OUEDRAOGO:** Direction de la Météorologie Nationale 01 B.P. 576 Ouagadougou, Burkina Faso.

**Omar BADDOUR:**

-Chef Programme Prévisions Climatiques et Applications, ACMAD, BP. 13184, Niamey, Niger.

-Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc.

### I. INTRODUCTION

Depuis les grandes sécheresses, les météorologistes et les autres professionnels de l'environnement ont toujours été interpellés, qui pour expliquer le temps, qui pour envisager les moyens de lutte contre les intempéries. Toutes les activités socio-économiques étant tributaires des phénomènes météorologiques, aucune couche sociale ne saurait se départir de toute entreprise ou recherche tendant à trouver un moyen d'atténuation des effets néfastes à un développement durable. La prévision saisonnière dont il est question à cet atelier, constitue un moyen efficace dans le cadre de la mise en place d'un système d'alerte précoce pour une sécurité alimentaire. Le Burkina Faso, pays entièrement enclavé et essentiellement agricole est fortement impliqué. La prévision saisonnière revêt un intérêt certain pour ce pays où toutes les activités agro-pastorales, même industrielles dépendent de l'eau, donc de la pluviométrie. Prévoir l'état de la saison pluvieuse au Burkina Faso (où l'eau potable pour tous reste un défi à relever), c'est donner la possibilité aux autorités de cerner les préoccupations de la population qui est à 90% rurale. Fort de ce qui précède, la participation à cet atelier est bien fondée et devra permettre de mieux lutter contre les rigueurs du climat. Pour les besoins de l'étude, nous nous sommes intéressés aux mois les plus pluvieux au Burkina à savoir Juillet, Août, Septembre qui totalisent plus de 70% de la pluviométrie annuelle.

Cet atelier régional que l'ACMAD organise s'inscrit dans le cadre de son programme d'activité à son volet phase de démonstration 1997-1999. Le travail consistera d'abord à l'analyse des séries pluviométriques d'une quinzaine de stations sur la période (1961-1997). Cette prévision saisonnière est principalement basée sur la recherche de corrélation entre les différentes zones que compte le pays et les anomalies de température des océans qui corréleront bien avec les pays concernés. On établira ensuite des équations de régression pour chaque zone.

Pour mener à bien une telle recherche, nous nous servirons essentiellement de PC, du logiciel statistique SYSTAT (version 7.0), des logiciels SURFER pour la cartographie, POWER POINT pour la présentation et WORD pour le traitement de texte.

### Aperçu climatique et géographique du Burkina Faso

Le Burkina Faso situé au cœur de l'Afrique de l'ouest est limité au sud par la Côte-d'Ivoire, le Ghana, le Togo et le Bénin, à l'est par le Niger, au nord et à l'ouest par le Mali. Il a une superficie de 274000 km<sup>2</sup> limitée entre les 09° et 16 °N de latitude et les 06°W et 03°E de longitude. Partagé entre le sahel (au nord du 13°N), la zone soudannienne (10° et 13°N) et le Golfe de Guinée (au sud du 10°N), il comprend trois climats essentiels à une seule saison pluvieuse.

- Le climat Sahélien (précipitations inférieures à 650mm)
- Le climat Soudano-sahélien (précipitations comprises entre 650 et 1000mm)
- Le climat Soudanien (précipitations supérieures à 1000mm)

L'inégale répartition et la récession pluviométrique font que sur la moitié nord, les activités propres à l'élevage traditionnel se trouvent réduites après la saison pluvieuse pour manque d'eau. Ce travail de recherche et de modélisation de la prévision saisonnière tiendra compte

d'un choix judicieux des stations bien réparties sur l'ensemble du territoire (voir carte du réseau retenu). Il tiendra aussi compte de l'aspect découpage climatique.

La saison pluvieuse s'installe progressivement du sud au nord et se retire du nord au sud. Ainsi la partie sud est mieux arrosée. L'installation et le retrait de la saison défavorisent naturellement le nord et font que la variabilité pluviométrique est de ce fait accentuée entre le sud et le nord (650mm au nord et plus de 1000mm au sud).

## II. TRAVAUX DE RECHERCHE

### II-1 Les Prédicteurs et Prédicteand

#### *Le Prédicteand*

Comme il a été mentionné plus haut, le prédicteand (élément à prévoir) constituera la pluviométrie saisonnière. Il sera question ici du cumul pluviométrique des mois les plus pluvieux de l'année à savoir **juillet, Août, Septembre**.

En effet, au Burkina Faso, ces trois mois totalisent 70 à 80% de la pluviométrie annuelle et peuvent de ce fait caractériser le cumul annuel.

#### *Les Prédicteurs*

A cet atelier, il s'agira essentiellement de l'utilisation des anomalies de température de la surface de la mer en vue de trouver une meilleure corrélation entre ces anomalies et les précipitations saisonnières par stations. Pour ce faire, quatre prédicteurs ont été retenus. En effet, des études antérieures ont montré que trois portions des océans pacifique et atlantique donnent les meilleures corrélations avec la pluviométrie en Afrique de l'ouest. Il s'agit de l'indice décrivant:

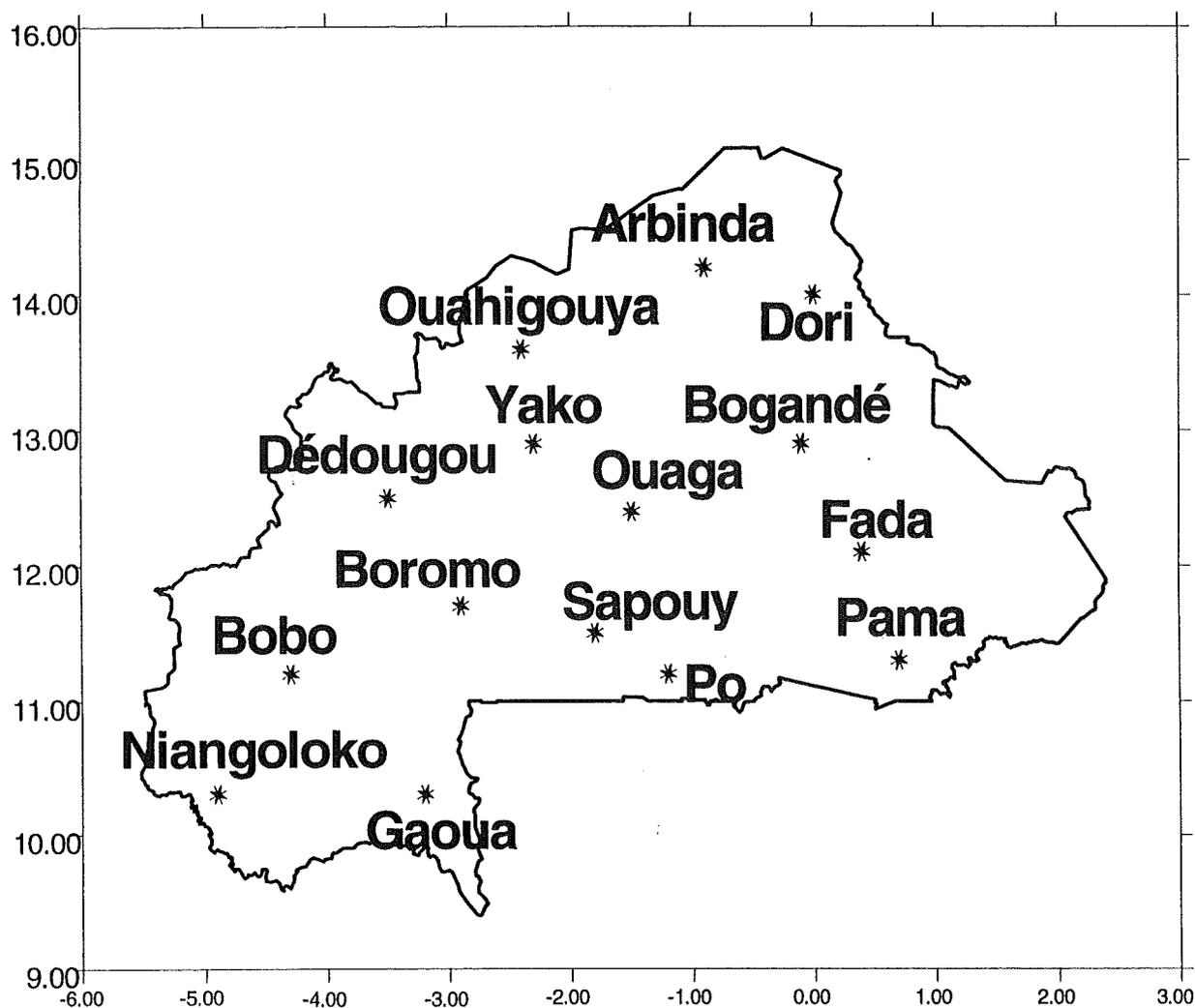
- l'anomalie de la température de la surface de l'océan pacifique (NINO3)
- l'anomalie de la température de la surface de l'océan atlantique sud (EA)
- l'anomalie de la température de la surface de l'océan du nord-ouest atlantique (NWA)
- la variabilité à long terme de la température de la surface de l'océan global (EOF3)

Tout au long de cette étude, les termes EA, NINO, NWA et EOF seront utilisés lorsqu'il s'agira de prédicteurs ou d'indice de température de la surface de la mer (SST) de l'océan concerné. A ces termes, s'ajoutent les notations NINO34, EA45, NWA78 ou EOF789. Les chiffres indiquent les mois de l'année auxquels les moyennes des indices de SST ont été calculées. En général dans les termes EA<sub>ij</sub>, NWA<sub>ij</sub>, NINO<sub>ij</sub> et EOF<sub>ij</sub>, (ou EA<sub>ijk</sub>, NWA<sub>ijk</sub>, ...) les lettres *ijk* indiquent les *i* ou *j* ou *k* mois: d'où NINO34 serait la moyenne des indices de NINO de mars et avril et EOF789 la moyenne des indices des EOF de Juillet, Août et Septembre....

### II-2 Recherche de Prédicteurs

Ce volet de l'étude à consiste à utiliser un logiciel statistique (SYSTAT 7.0) pour le traitement des données. On a alors choisi les stations de manière à ce qu'elles soient bien réparties sur l'ensemble du territoire. On s'est ensuite intéressé à calculer le total pluviométrique saisonnier (**Juillet, Août, Septembre**) par station, la normale annuelle 1961-1990 et la normale saisonnière 1961-1990 par station. Nous avons également transformé les totaux saisonniers en indices par stations puis par zone, avant de procéder aux recherches de corrélation.

Les Stations soulignées sont toutes synoptiques. Les autres ont été choisies pour obtenir une meilleure répartition sur le territoire. On a aussi tenu compte des données manquantes à savoir que ces stations ont des données plus complètes sur la période d'étude 1961 à 1997.



Réseau des stations retenues pour l'étude

**II-2-1.** Corrélation entre anomalie de température de l'océan Atlantique sud et les précipitations (voir graphe corrélation EA)

On remarque que la majorité des stations ont des corrélations positives avoisinant le zéro de mars à juin, avec des valeurs rarement supérieures à 0.3. De juin à septembre, les corrélation sont presque nulles sauf pour Bogandé, Ouaga et Yako qui ont des valeurs significatives (supérieures ou égales à -0.3). Un zonage à partir de ce prédicteur se fera avec beaucoup de précautions.

**II-2-2.** Corrélation avec les indices de la SST du Nord-ouest Atlantique ( voir graphes corrélation NWA)

La corrélation est moins significative que le cas de l'Equateur Atlantique sud et cela de mars à septembre. Les stations de Boromo, Ouaga et Sapouy semblent présenter une corrélation inférieure à - 0.3. Un zonage à partir de ce prédicteur sera le moins conseillé pour le Burkina.

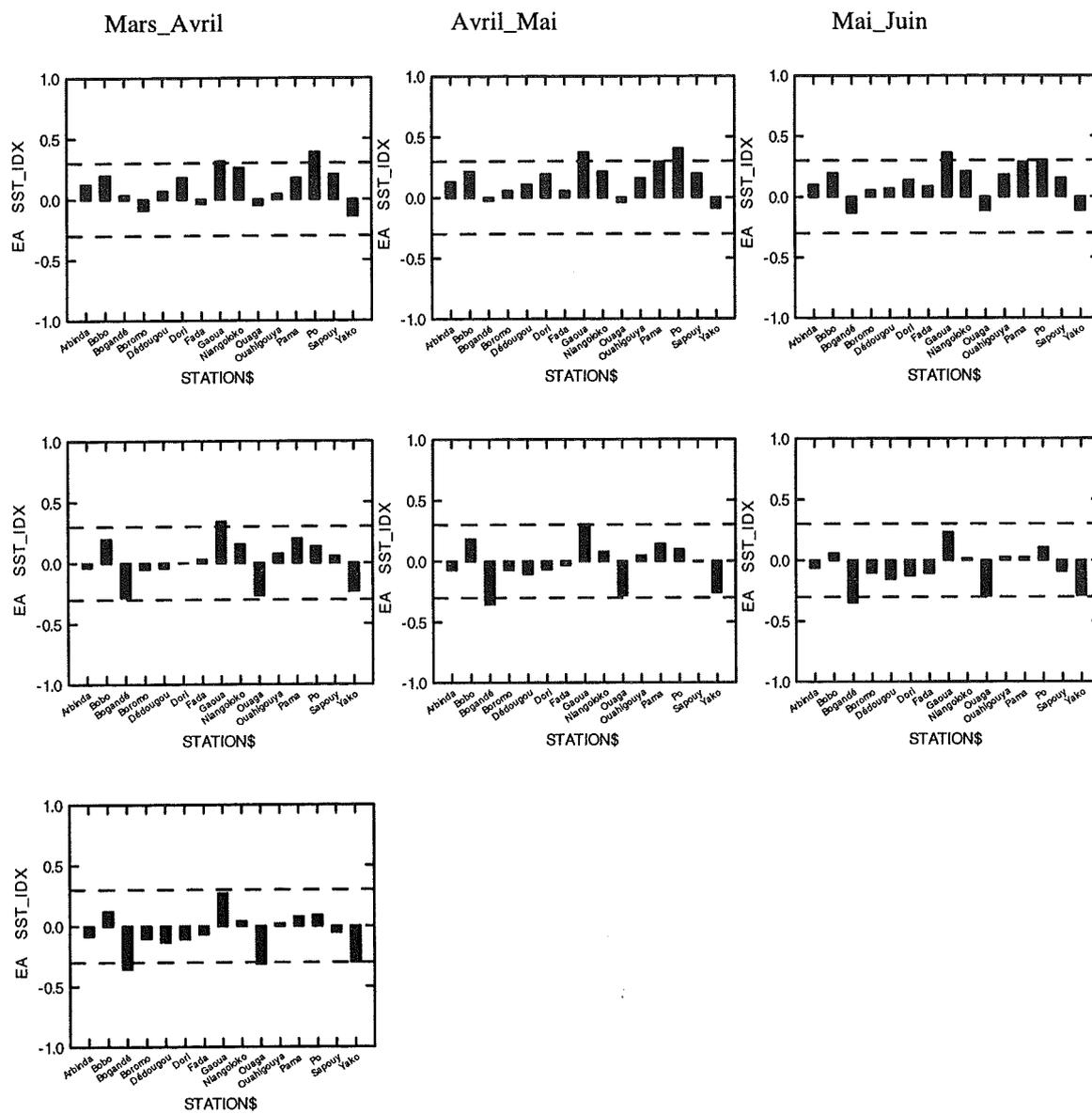
**II-2-3.** Corrélation avec les indices de la SST du Pacifique, NINO3 (voir graphes corrélation NINO3)

La corrélation devient intéressante. Toutes les stations ont des corrélations négatives de mars à septembre. Sur les quinze stations de l'étude, seules six ont des valeurs inférieures ou égales à -0.3 donc plus sensibles au NINO. Ce signal est d'ailleurs de façon disparate car il est important tout au long de la frontière d'Est au Nord et du Nord à l'Ouest. La partie centrale enregistre des valeurs très faibles (< ou = -0.2).

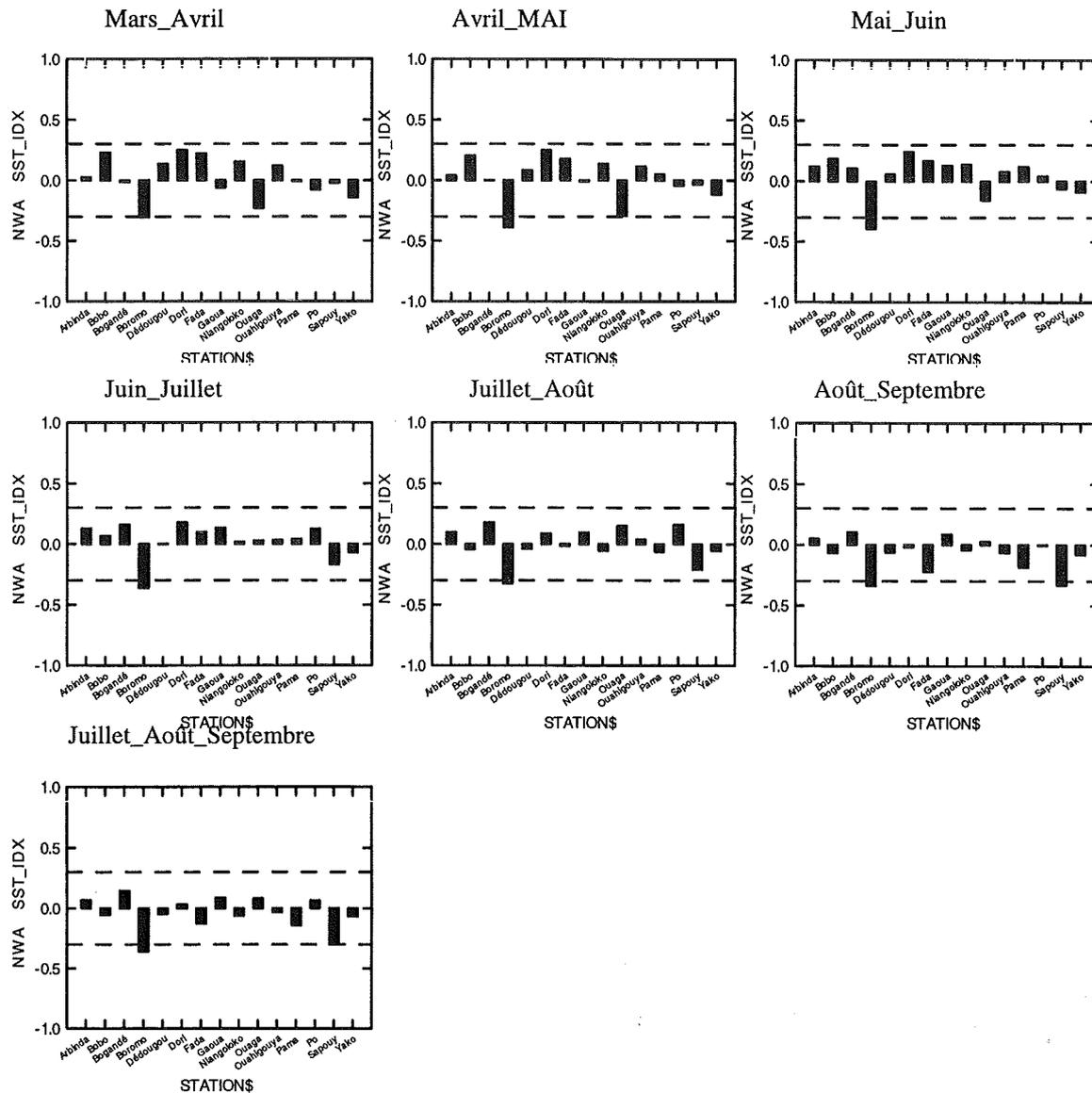
**II-2-4.** Corrélation avec les indices de la SST de l'océan global, EOF3 ( voir graphe corrélation EOF3)

Ce cas est remarquablement important. Toutes les stations corrélation négativement de mars à septembre comme dans le cas du NINO3 , à la seule différence qu'une dizaine de stations ont des valeurs inférieures ou égales à - 0.3. Une fois encore, la partie centrale du pays indique des valeurs faibles.

Corrélation entre les indices de Précipitation de Juillet\_Août\_Septembre et les anomalies de Température de la Surface de l'Océan Atlantique Sud (EA) (Période 1961-1997)



Corrélation entre les indices de Précipitation de Juillet\_Août\_Septembre et les anomalies de température de la Surface de l'Océan Atlantique Nord-Ouest (NWA) (Période 1961-1997)







### III. Le Zonage

Pour illustrer le comportement des prédictors sur l'ensemble du territoire, on a essayé de tracer des iso-corrélations. Ce qui donne les cartes de corrélation ci-après (de mars à septembre) des quatre prédictors. On peut retenir d'une manière générale que le NINO3 et le EOF3 sont plus sensibles tout au long de la frontière avec des valeurs faibles au centre du pays. Pour ce qui concerne le EA et le NWA, on remarque l'effet contraire, le maximum (bien que très faibles - 0.2) est localisé sur le centre du pays. Le long de la frontière enregistre des valeurs nulles à - 0.1. Dans le cadre de la prévision saisonnière, nous avons convenu après avoir effectué ces études de corrélation avec les stations d'opérer un découpage afin de procéder aux analyses. En effet, dans ce domaine, il est conseillé d'utiliser des zones plutôt que de travailler avec les stations. C'est ce qui fait que l'étape suivante consistera à répartir le pays en zone pour déterminer celles qui auront le signal le plus important avec les prédictors. Pour ce faire, nous avons tenu compte des cartes de corrélation. En effet, en analysant ces cartes, les parties du territoire où le signal est important ne permettent pas un zonage conséquent. Ceci a nécessité une autre orientation pour la suite des travaux. Ainsi, nous avons effectué un découpage du pays de la manière suivante :

#### III-1 Découpage selon les corrélations entre les stations et les indices des SST:

Zones : **SUD-OUEST ; CENTRALE ; NORD-EST**. Les valeurs fortes sont de part et d'autre de la zone du centre. Ce qui fait du centre une zone particulière.

#### III-2 Découpage en tenant compte du climat :

Zones : **NORD ; CENTRE ; SUD**.

Nous avons envisagé ce découpage car le concept climat Sahélien, Soudano-Sahélien et Soudanien est en général accepté et connu des usagers.

#### III-3 Découpage selon les composantes principales des cumuls saisonniers (JAS).

En fixant le nombre de facteur à deux (méthode de Kaiser voir graphes ACP JAS 1), on obtient globalement trois regroupements à savoir le sud-ouest, un noyau central et le reste des stations. C'est ce que nous avons appelé zones SUD-EST, NOYAU et CONTOUR. La zone noyau est formée par les stations de Ouaga, Yako et Bogandé (voir graphe ACP JAS 2).

#### III-4 Découpage selon les signaux des SST et des facteurs des ACP.

De manière globale, le pays est plus sensible aux NINO3 et EOF3 sur ses frontières EST-NORD-OUEST. De même, de mars à septembre, les corrélations avec EA s'annulent aux environs des 11°N et 12°N de latitude. (voir carte de corrélation ci-après avec EA). Pour le NWA, les valeurs fortes (+/-0.20 donc pas significatives) sont relativement sur le centre du pays aux voisinages du 11°50N. De part et d'autre on a des valeurs faibles. Quant aux NINO3 et EOF3, les valeurs faibles sont axées sur le centre du pays et les valeurs fortes au Nord, à l'Est et au Sud. C'est pour toutes ces raisons et par souci des réalités du terrain que nous avons retenu le découpage en deux zones (**zone nord ; zone sud**) suivant le 11°50N. (voir carte zones retenues)

Après ces multiples découpages, nous avons procédé au calcul des corrélations entre ces zones et les indices de la SST. Pour des raisons de commodité, nous avons procédé à la transformation de nos cumuls saisonniers en indices de précipitations. Les indices transformés des stations ont été établis comme indiqué ci-après :

**Indice station = (RRJAS station – JAS normale station) / Ecart type normale station**

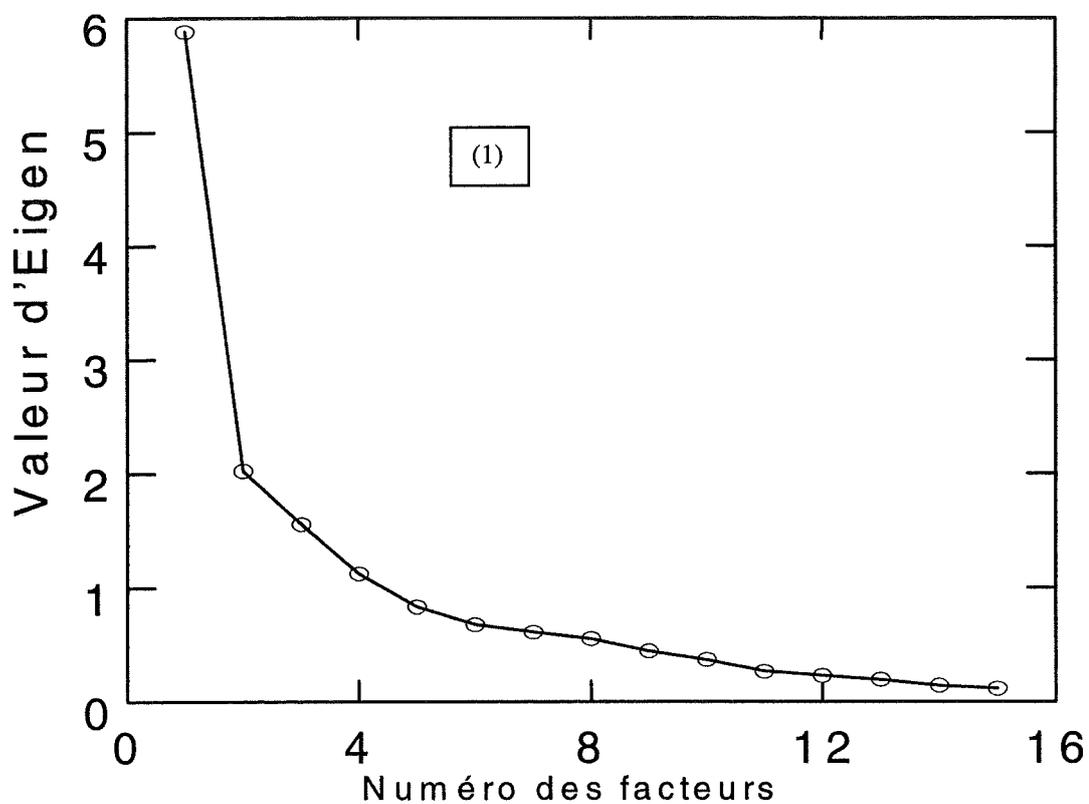
où RRJAS station est le cumul de pluie de juillet\_août\_septembre de la période d'étude (1961-1997). Le JAS normale station est le cumul de ces trois mois pour la normale 1961-1990 ;

Une zone qui comprend n stations, l'indice de cette zone serait la moyenne des indices de ces stations :

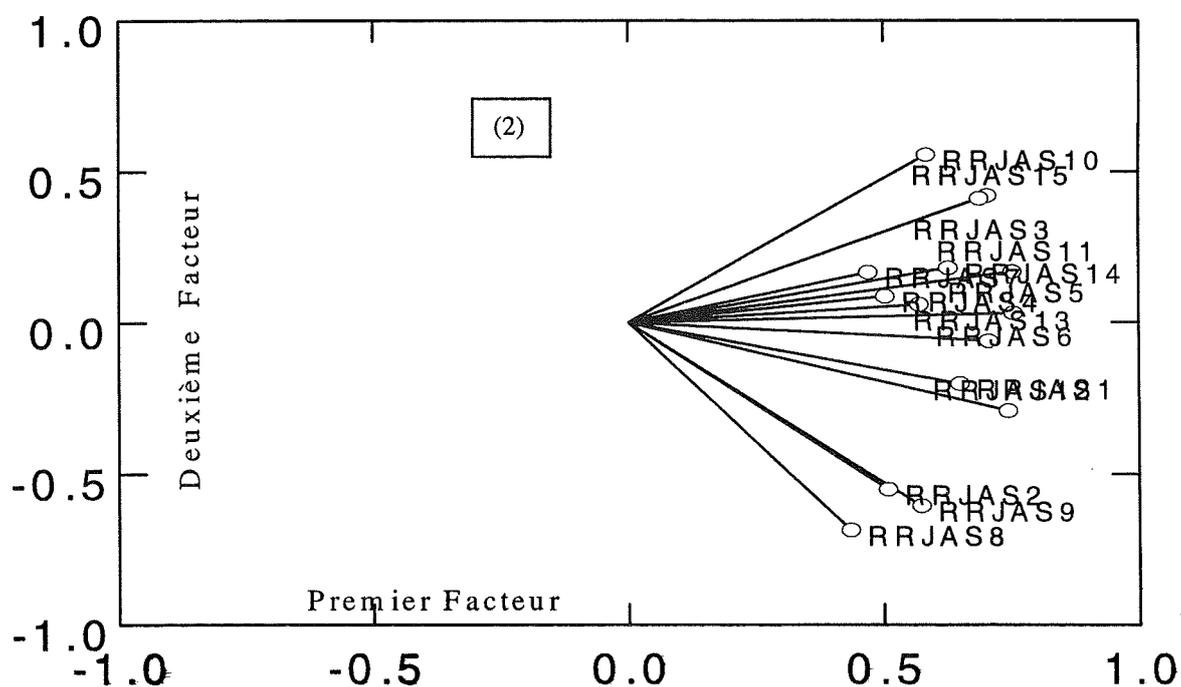
**Indice ZONE = (indice station 1 + indice station 2 +...+ indice station n ) / n**

## Regroupement des Stations par la méthode de l'analyse en composante principale (graphe ACP JAS)

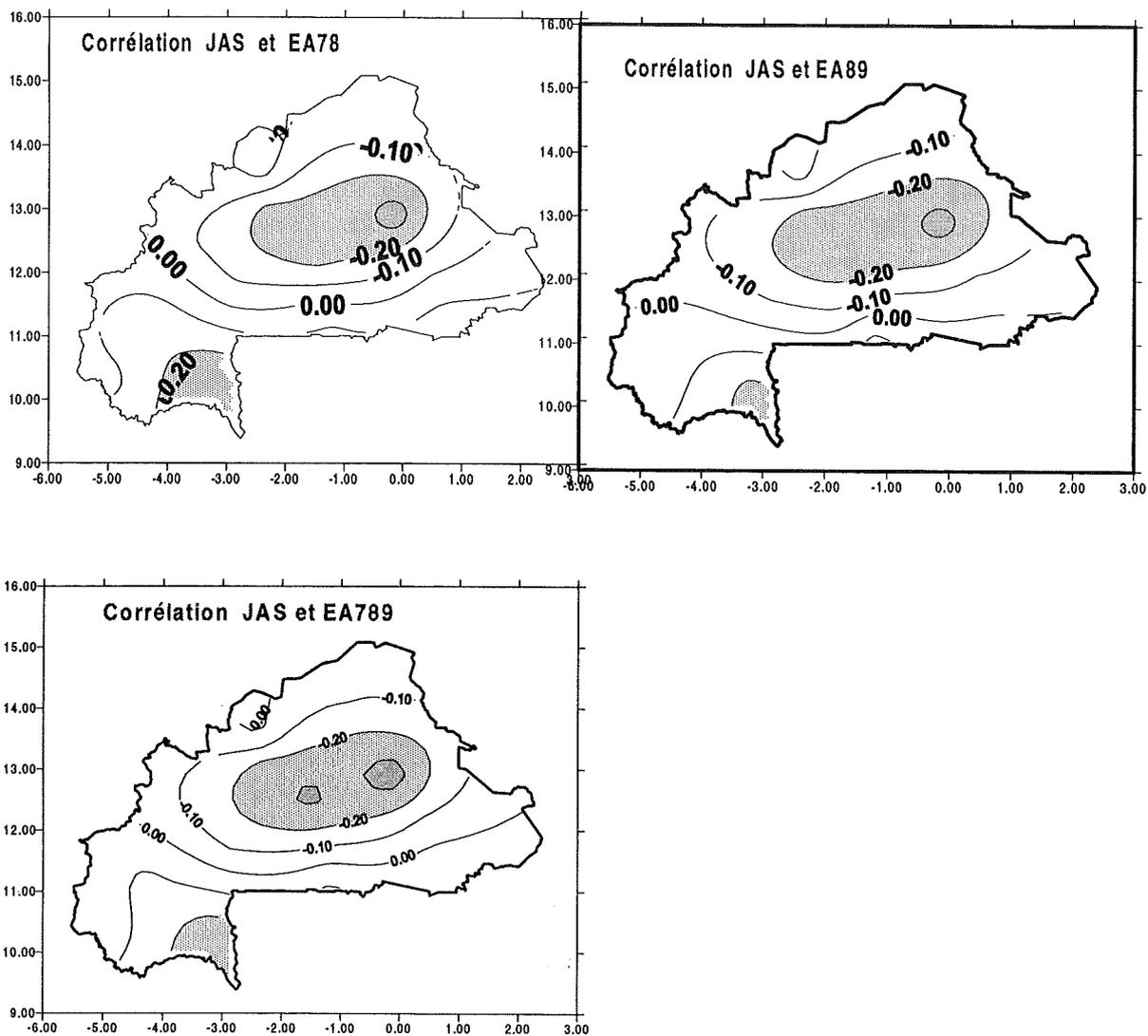
Détermination des facteurs



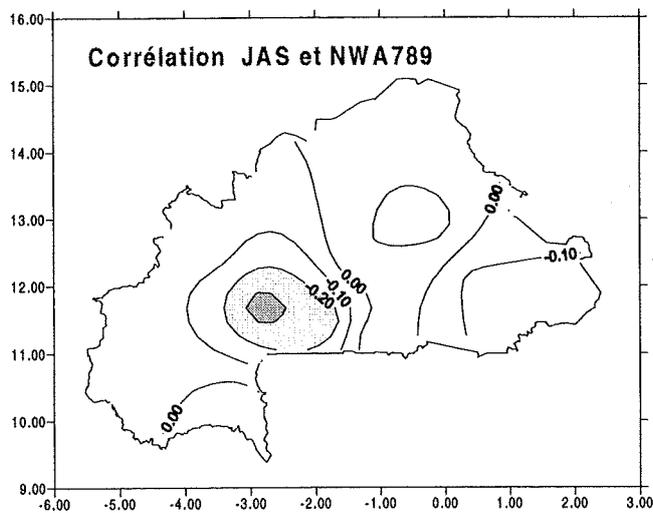
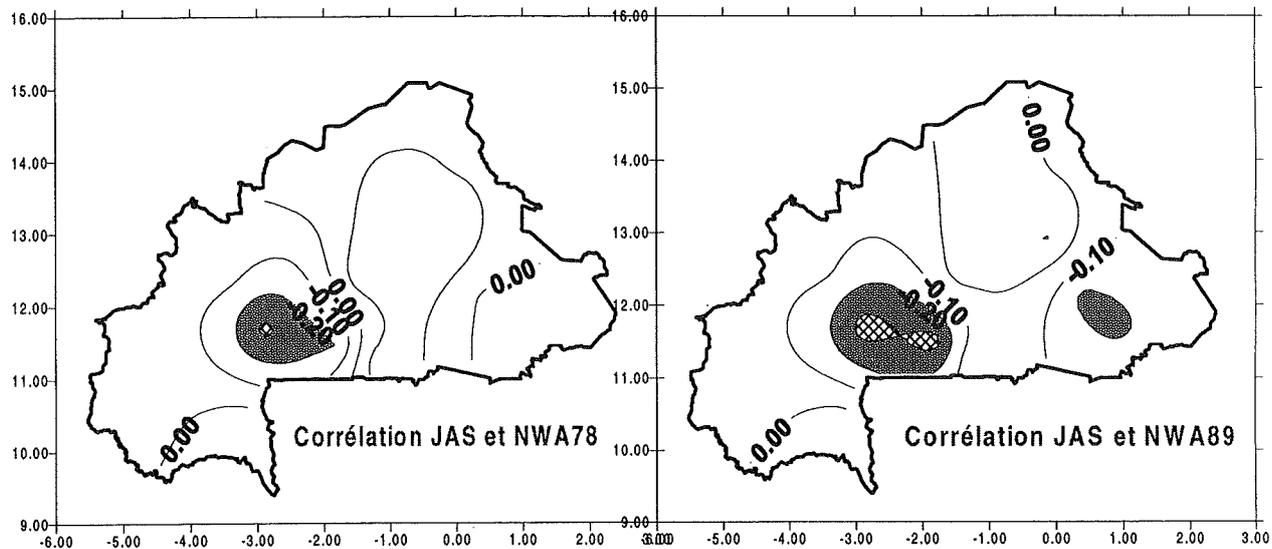
## ANALYSE en COMPOSANTE PRINCIPALE Des Précipitations Saisonnières



Corrélation entre Précipitations (JAS\_IDX) et EA SST\_IDX (suite)  
(Période 1961-1997)

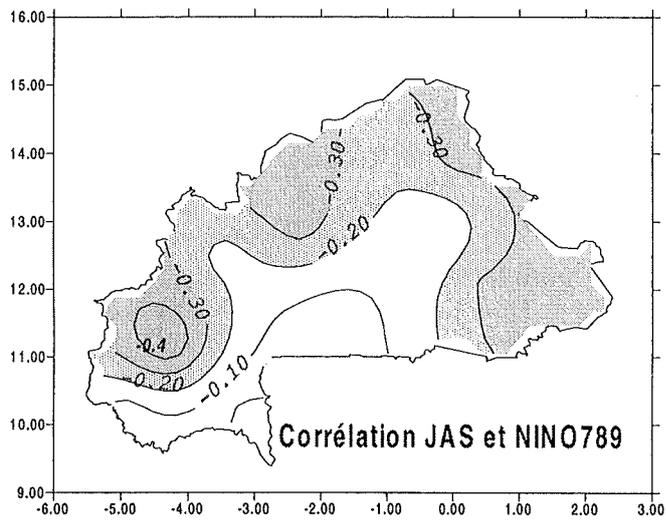
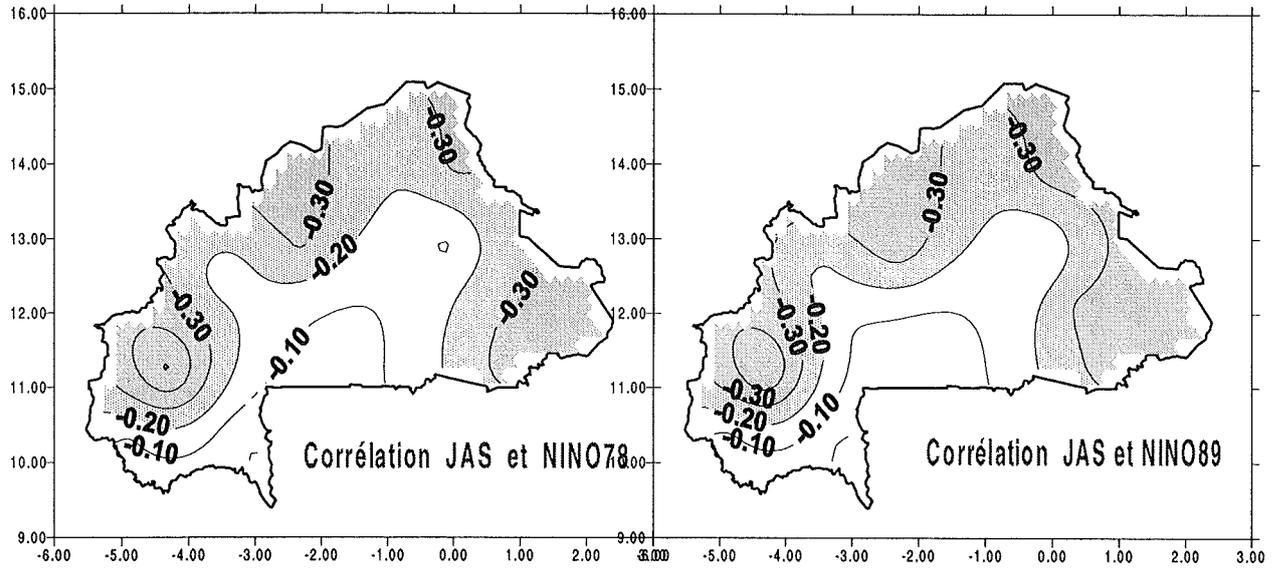


Corrélation entre précipitations et NWA SST\_IDX (suite)

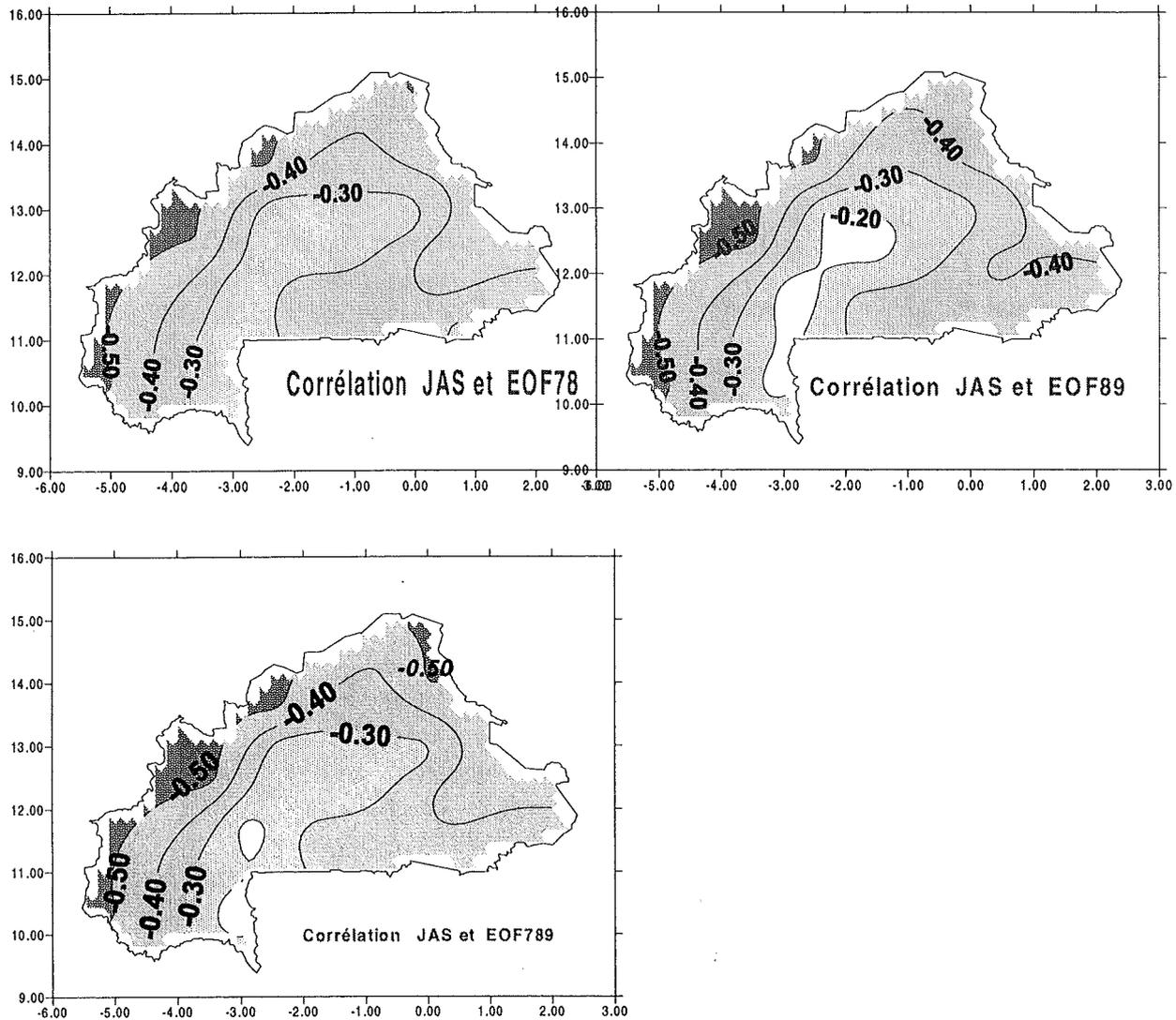


## Corrélation entre Précipitations et EL NINO3 SST\_IDX

(Suite)



Corrélation entre Précipitations et SST\_IDX Océan Global  
(suite)



## DECOUPAGE

- 1 NORD\_CENTRE\_SUD
- 2 ZONENORD\_ZONESUD
- 3 ESTNORD\_CENTRAL\_SUDWEST
- 4 CONTOUR\_NOYAU\_SUDWEST

## IV- LES RESULTATS

Après le découpage précédent, nous avons procédé à la modélisation par zone. Cela a consisté d'abord à prendre les indices des différentes stations que renferme la zone et en faire la moyenne. On effectue ensuite l'analyse des corrélations entre zone et prédicteurs pour enfin retenir ceux qui donnent les meilleurs résultats. L'irrégularité des signaux SST sur le territoire fait que nous avons été obligés de faire les recherches de prédicteurs selon les découpages. Au cours des calculs de régression, lorsqu'il arrive qu'une zone se révèle sensible à plusieurs couples de prédicteurs, on établit un modèle supplémentaire. C'est le cas de la zone nord où on a obtenu deux à trois modèles. Nous avons utilisé la régression pas à pas (sélection progressive ascendante ou automatique/forward) pour obtenir les meilleurs couples de prédicteurs dans les modèles.

Les corrélations obtenues avec les différentes zones reflètent pratiquement les mêmes résultats qu'avec les stations. (voir graphes de corrélation par zone ci-après).

1-Avec l'Atlantique équatoriale (EA), les corrélations sont meilleures avec des valeurs positives de juillet à septembre. Les fortes valeurs restent cependant voisines de +/-0.3 et seulement à l'extrême sud du pays et rarement au centre.

2-Avec l'Atlantique Nord-Ouest (NWA), toutes les corrélations sont voisines de zéro. Les plus fortes tournent autour de deux.

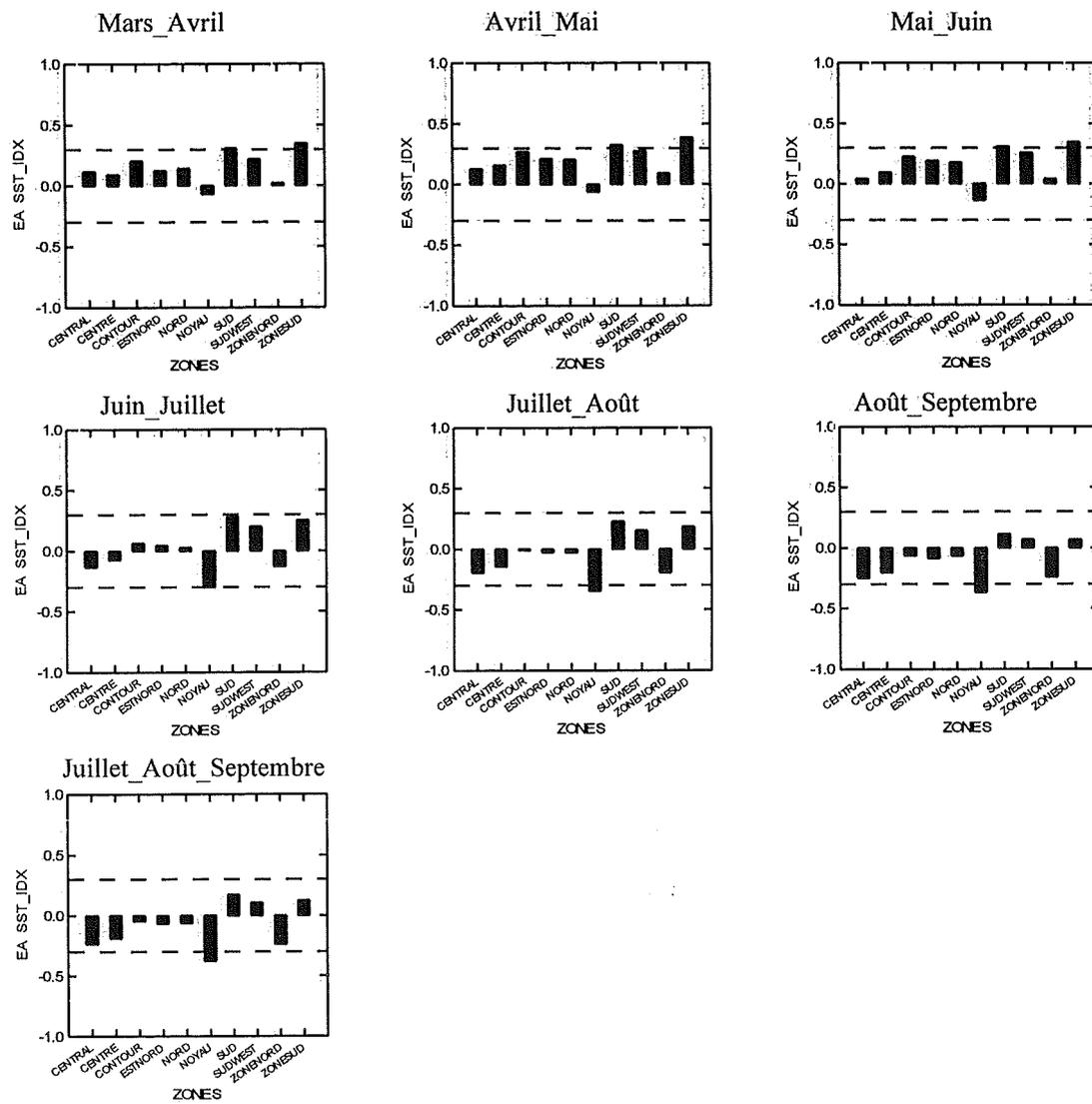
3-Les corrélations sont relativement bonnes avec le NINO3 mais restent aussi voisines de -0.3.

4- Les EOF3 font encore exception, presque toutes les zones ont une corrélation inférieure à -0.3 sauf le centre (NOYAU) qui enregistre de mars à septembre une corrélation supérieure à -0.

Après cela, nous avons procédé à l'analyse de régression avec toutes les zones et tous les prédicteurs. Il ressort que le centre présente une particularité. Cela a compliqué la tâche car tous les découpages où le centre a été retenu comme zone, on a obtenu des résultats moins intéressants. Après l'étude de variation des indices des zones et des résultats obtenus, nous avons opté pour le découpage à deux zones. Indépendamment de l'analyse qui a prévalu à ce découpage, nous nous sommes basés sur la variation des indices des zones nord, centre, Sud pour voir comment ils se comportent. On remarque simplement que les courbes du Nord et du Sud semblent indiquer une variation inter-annuelle assez prononcée. Cependant, en considérant la courbe du centre on observe plutôt le contraire. La variation inter-annuelle est beaucoup plus lissée que dans le cas du nord et du sud. Elle semble être même une résultante des deux courbes. Ceci explique peut-être la faible corrélation de la partie centrale du pays avec les SST. C'est en éditant les courbes de variation des deux zones retenues, que nous avons été plus réconfortés. De la même façon que le nord et le sud, les courbes des zone nord et zone sud semblent s'épouser.

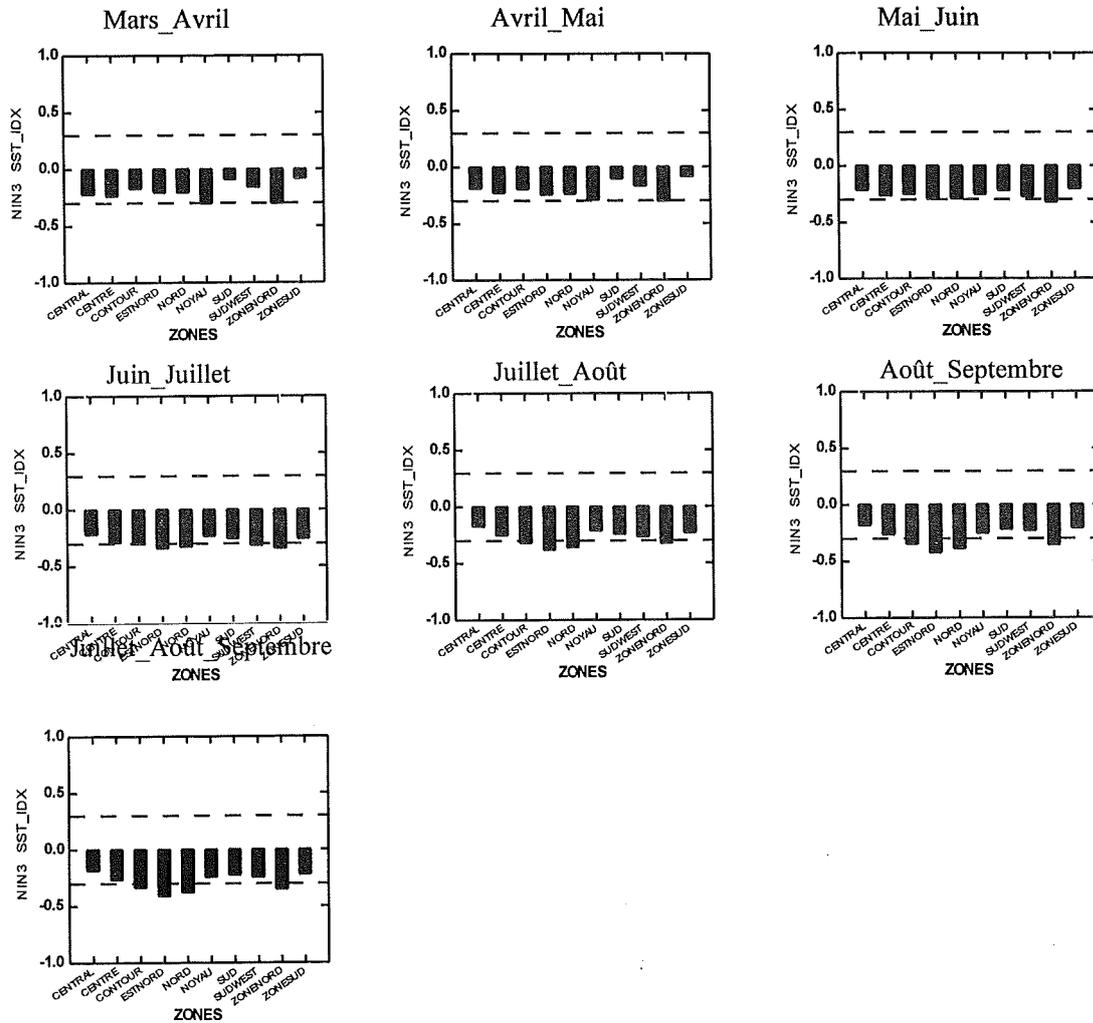
Pour la partie ZONE NORD, nous proposons trois modèles et un modèle pour la partie ZONE SUD.

## Corrélation entre Atlantique Equatoriale SST\_IDX et les indices des ZONES



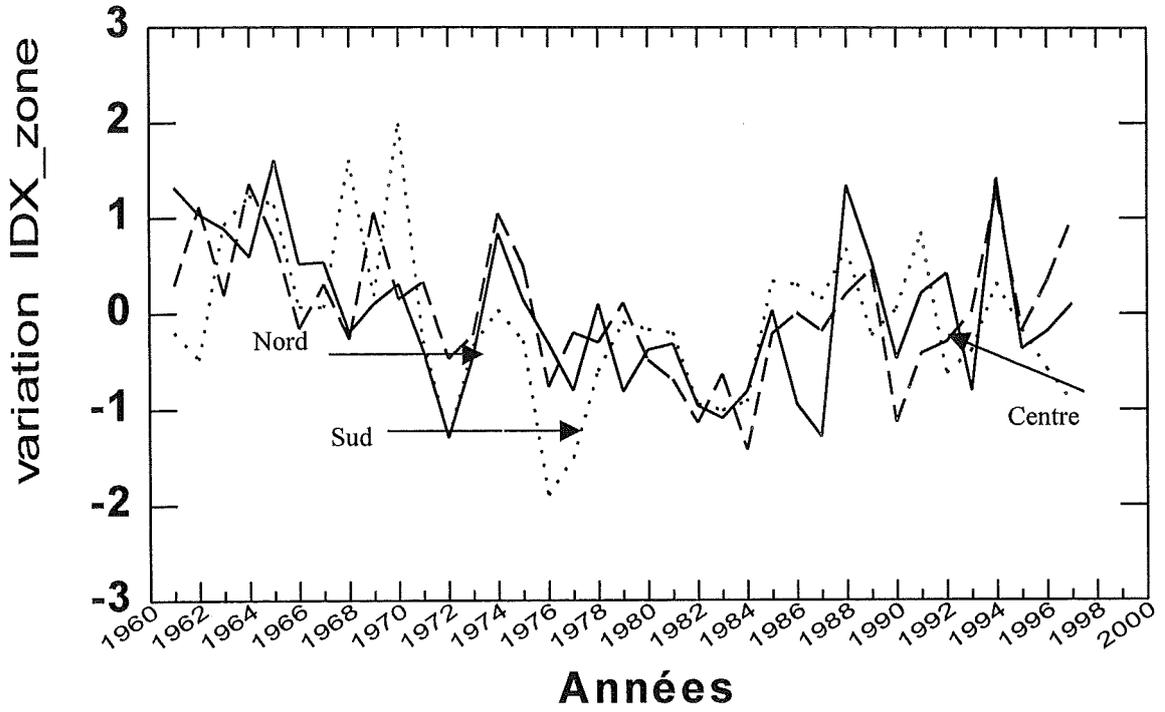


Corrélation entre Océan Pacifique Nord (NINO3)  
SST\_IDX et les indices des ZONES

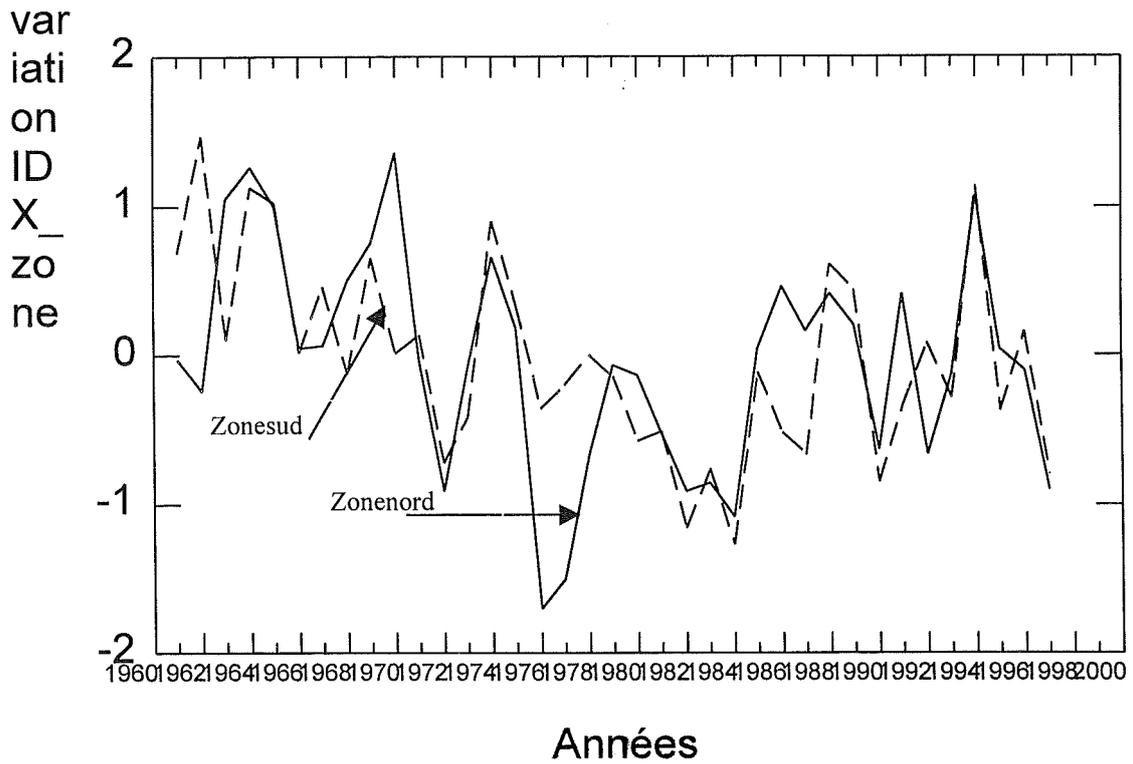




Courbe de variation des indices des Zones Nord (au nord du 13°N), Centre (entre 13°N et 11°N) et Sud (au sud du 11°N)



Courbe de Variation des indices des Zones nord (au nord du 11°05'N) et Zone sud (au Sud de la même Latitude)



**ZONE NORD :**

Modèle N°1 :  $\text{indice\_Précipitations} = \text{CONSTANT} + \text{EOF56} + \text{NINO789}$

Modèle N° 2 :  $\text{indice\_Précipitations} = \text{CONSTANT} + \text{EOF45} + \text{NINO789}$

Modèle N° 3 :  $\text{indice\_Précipitations} = \text{CONSTANT} + \text{EOF789} + \text{NINO789}$

**ZONE SUD :**

Modèle :  $\text{indice\_Précipitations} = \text{CONSTANT} + \text{EOF34} + \text{EA45}$

**RESULTATS DES ANALYSES DE REGRESSION PAR ZONE RETENUES****ZONE SUD**

MODEL ZONE SUD = CONSTANT+EOF34+EA45T

Indice\_Pluie (zone sud) =  $0.1088 - 0.1674 * \text{EOF34} + 0.0675 * \text{EA45T}$

**ZONE NORD**

MODEL 1 = CONSTANT+EOF56+NIN789T

Indice\_Pluie (zone nord 1) =  $0.2130 - 0.1423 * \text{EOF56} - 0.030 * \text{NINO789T}$

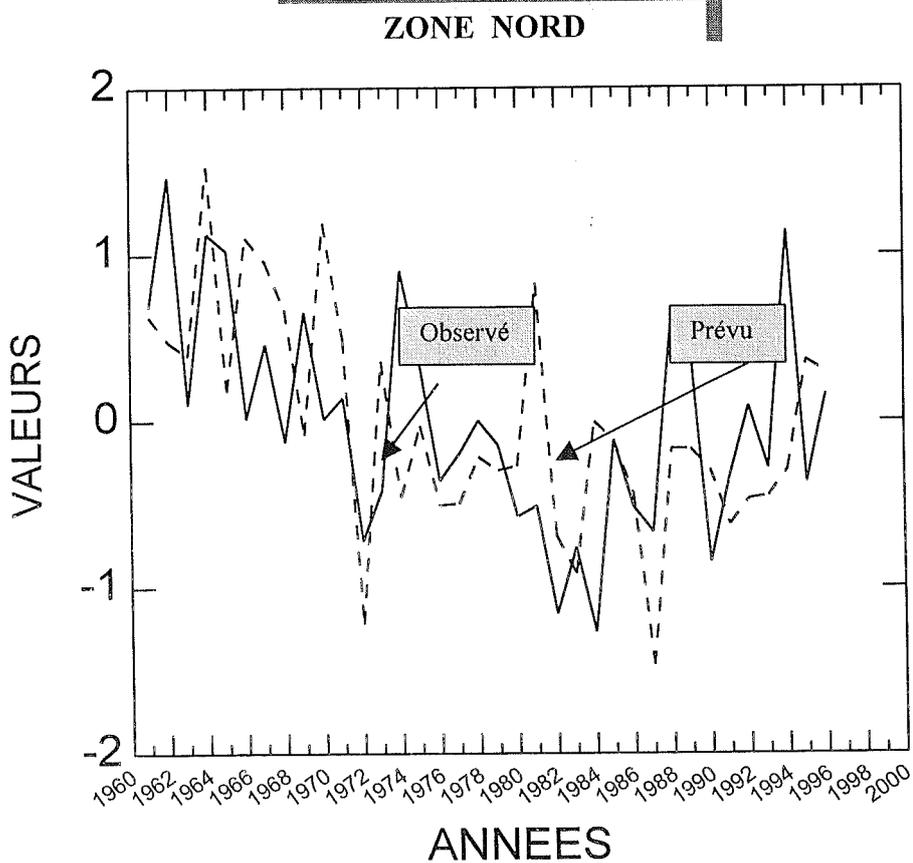
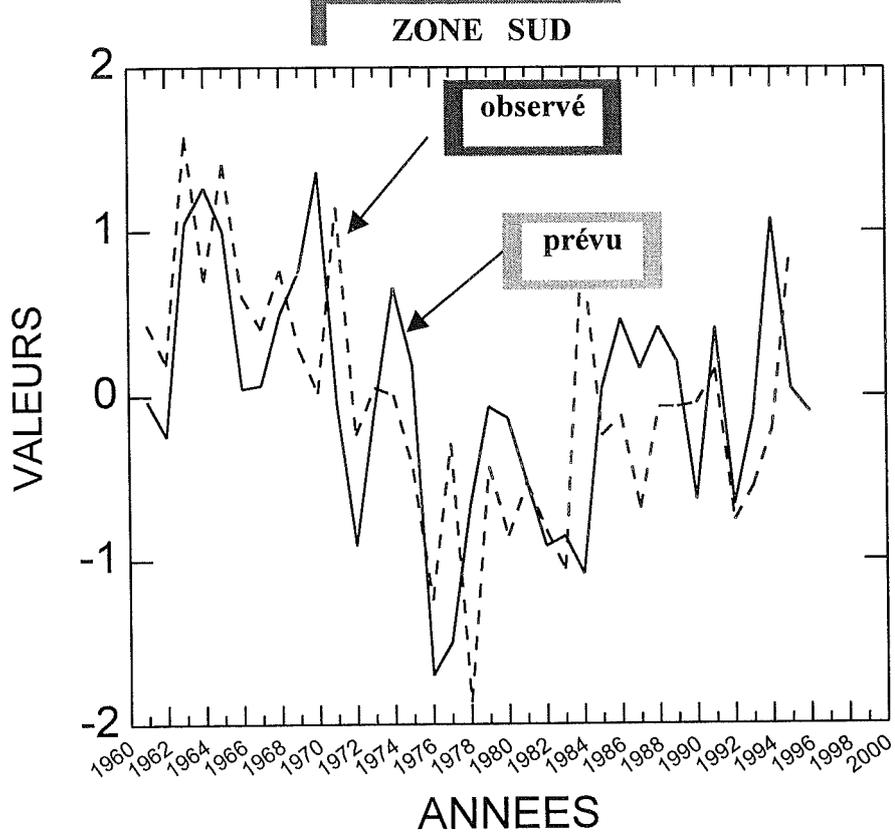
MODEL 2 = CONSTANT+EOF45+NIN789T

Indice\_Pluie (zone nord 2) =  $0.2757 - 0.1561 * \text{EOF45} - 0.0390 * \text{NINO789T}$

MODEL 3 = CONSTANT+EOF789+NIN789T

Indice\_Pluie (zone nord 3) =  $0.3017 - 0.1874 * \text{EOF789} - 0.0277 * \text{NINO789T}$

## Courbes de Variation des indices observés/prévus des zones



## V- L'EVALUATION DU MODELE

L'évaluation constitue la dernière étape de la modélisation. Elle consiste aussi d'une part à déterminer les qualités du modèle ou sa performance (Cross-validation ou reconnaissance glissante) et d'autre part de comparer ce modèle à un fait de hasard (contingence).

### V-1 La cross-validation

Elle permet de comparer l'élément observé et l'élément prévu. Pour ce faire, on prend la série d'observation et on pratique le système de retrait et de remise d'un certain nombre d'année puis faire le modèle avec les années restantes. On teste le modèle sur les années enlevées. On obtient alors une valeur prévue et une valeur observée et on calcule la corrélation entre ces deux valeurs. Cette corrélation est appelée SKILL ou la limite d'acceptabilité du modèle. (SKILL  $\geq$  0.4). Les spécialistes s'accordent à dire que lorsqu'il le SKILL est supérieur ou égale à 0.4 , le modèle est utilisable.

### V-2 La contingence

C'est une méthode utilisée pour déterminer le comportement d'un modèle. On obtient un certain nombre de probabilités caractérisant la qualité du modèle et qui se définissent en terme de probabilité de coïncidence (PC), de probabilité de détection (POD) et de fausse alerte de premier ou de second ordre (FAR). La dernière étape de la contingence consiste à comparer le modèle obtenu à un modèle de hasard. On obtient un pourcentage appelé HIT SCORE qui permet d'apprécier le modèle par rapport à celui du hasard. Tout le travail nécessite une catégorisation des données et nous l'avons effectué avec les précipitations saisonnières en années dites SECHE, NORMALE et HUMIDE .

On entendra par :

**POD** : La probabilité de détection ou tout simplement le pourcentage de prévoir juste une catégorie choisie. Pour ce qui nous concerne, il s'agit de la sécheresse donc la catégorie SECHE.

**PC** : La probabilité de coïncidence ou le pourcentage de réussite de la prévision, quelle que soit la catégorie choisie. Autrement dit, on prévoit une catégorie sèche ou humide et elle se réalise.

**FAR** : La fausse alerte ou la probabilité de rater sa prévision. Autrement dit, on prévoit SECHE et HUMIDE se réalise

La probabilité du **Khi 2** : ou la probabilité de se tromper en disant qu'il y a indépendance entre le modèle et celui du hasard.

## CATEGORISATION DE LA PERIODE D'ETUDE POUR LES ZONES RETENUES

ZONE SUD (rows) by INFLATE (columns)

	sèche	normale	humide	Total
sèche	9	2	1	12
normale	6	1	5	12
humide	1	6	5	12
Total	16	9	11	36

R	=0.6019
P.C.	=41.7%
P.O.D	=56.3%
F.A.R_1	=6%
H_SCORE	=12.6%

ZONE NORD 1 (rows) by INFLATE (columns)

	sèche	normale	humide	Total
sèche	7	3	3	13
normale	3	3	5	11
humide	2	5	5	12
Total	12	11	13	36

R=0.5328	
P.C.	=41.7%
P.O.D	=58.3%
F.A.R_1	=16.6%
H_SCORE	=12.6%

ZONE NORD 2 (rows) by INFLATE (columns)

	sèche	normale	humide	Total
sèche	8	3	1	12
normale	5	4	3	12
humide	2	4	6	12
Total	15	11	10	36

R=0.6100	
P.C.	=50.0%
P.O.D	=53.3%
F.A.R_1	=13.3%
H_SCORE	=25%

ZONE NORD3 (rows) by INFLATE (columns)

	sèche	normale	humide	Total
sèche	6	4	3	13
normale	4	4	3	11
humide	2	5	5	12
Total	12	13	11	36

R=0.5914	
P.C.	=41.7%
P.O.D.	=50%
F.A.R_1	=16.6%
H_SCORE	=12.6%

Récapitulatif des Statistiques par Zone										
Découpage retenu	Zones	Skill	PC	POD	FAR_1	HS	R	Khi2_	Fratio	P_reg
			%	%	%	S %		P %		%
	Zone sud	0.51	41.7	56.3	6	12.6	0.6	1	9.1	0
	Zone nord 1	0.42	41.7	58.3	16.6	12.6	0.53	34	6.3	0
	Zone nord 2	0.52	50	53.3	13.3	25	0.61	11	9.1	0
	Zone nord 3	0.49	41.7	50	16.6	12.6	0.59	62	8.6	0
	Nord 1	0.39	42	46.2	23.1	12.6	0.54	67.2	6.7	0
	Nord 2	0.55	41.7	50	25	12.6	0.63	20.9	10.5	0
	Centre 1	0.35	52.8	50	25	29.2	0.47	15	4.4	0
	Centre 2	0.39	47.2	50	21.4	20.8	0.48	39.8	9.9	0
	Sud	0.49	44.4	53.3	20	16.6	0.59	29	8.6	0
	Sud-ouest	0.46	41.7	40	13.3	12.6	0.57	25	7.5	0
	centrale	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Nord-est	0.52	50	53.3	13.3	25	0.61	11	9.1	0
	contour	0.45	38.8	46.2	15.4	8.2	0.56	51.9	7	0
	Noyau	0.37	41.7	40	20	12.6	0.5	67.6	5	0
	Sud-ouest	0.46	41.7	40	13.3	12.6	0.57	25	7.5	0

## VI CONCLUSION

Cet atelier sur la prévision saisonnière qui vient de s'achever et qui a connu la participation d'une douzaine de pays est un pas en avant dans la lutte pour une sécurité alimentaire. Cependant un certain nombre de point ont retenu notre attention :

- 1- Du point de vue organisationnel, ce type d'atelier dans la sous région est à encourager. Il mérite que l'on s'y attelle sérieusement en développant une synergie sous régionale ou régionale pour mieux cerner les particularités propre à chaque pays. La démarche qui a consisté à s'approcher des usagers et de réunir les décideurs est très louable.
- 2- Du point de vue technique  
Nous croyons que les résultats sont encourageants.  
Près de 60% de chance de prévoir juste l'élément sécheresse dans les deux zones (POD) et 6 à 16% de défaillance (FAR 1), nous pensons que le rôle du météorologiste dans le système d'alerte précoce trouve un début de solution
- 3- Les météorologistes doivent poursuivre la recherche dans leurs pays respectifs. Pour ce qui concerne le Burkina Faso, le centre du pays constitue une particularité qui mérite que

l'on y revienne. Nous pensons que d'autres prédicteurs en plus de la SST pourront résoudre cette faible corrélation que nous venons de constater.

Les quinze stations que nous avons utilisées sont certes nombreuses, mais il serait mieux d'en augmenter et de prolonger la série. Le pourcentage du JAS n'est pas uniforme sur tout le territoire et donc une redéfinition de la saisonnière s'avère nécessaire.

Enfin, la piste de nouveaux prédicteurs est à ce stade inévitable...

## Prévision Saisonnière des Précipitations en Guinée-Bissau

**Joao Lona TCHEDNA:** Direction du service National de la Météorologie, Cx. P. 75 Bissau , Guinée-Bissau.

**Omar BADDOUR:**

-Chef Programme Prévisions Climatologiques et Applications, ACMAD, BP. 13184, Niamey, Niger.

-Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc.

### RESUME

Le présent travail consiste à élaborer des modèles statistiques de prévision saisonnière - prévision des précipitations saisonnières (**Juin Juillet Août et Septembre, JJAS**), à partir des SST, pour la Guinée-Bissau. L'étude a permis de détecter trois zones:

- deux Zones sensibles aux anomalies du phénomène El Niño3 (Zone1=Zone Est, et Zone2=Zone Ouest) et
- une zone sensible aux anomalies des SST d'Atlantique Sud (Zoneea=Zone Sud-Est et Côtière).

Pour chaque zone il a été élaboré un modèle qui tient compte de sa sensibilité vis-à-vis des différents prédicteurs retenus. La performance des modèles nous donne des résultats encourageants. L'application pratique de ces modèles constitue un apport non négligeable aux systèmes d'alerte précoce vers une sécurité alimentaire durable.

### I.- INTRODUCTION

La Guinée-Bissau est un pays essentiellement agricole. Le secteur agricole dans le sens large (Agriculture, Elevage et la Pêche), constitue la principale activité économique du pays, puisqu'il représente plus de 66% du PNB et emploie environ 80% de la population active. Cette importante branche d'activités économiques est largement tributaire du climat.

L'un des aspects les plus importants des services de la Direction du Service Nationale de la Météorologie est la diffusion en temps utile des informations et prévisions climatiques fiables envers l'Agriculture, comme aide à la prise de décision pour la gestion rationnelle des activités en vue d'accroître la productivité et tendre vers l'autosuffisance alimentaire.

Une Prévision Climatique fiable à l'échelle mensuelle, saisonnière et inter-annuelle constitue un apport appréciable au développement durable de tous les secteurs d'activités sensibles au climat, notamment le secteur agricole (Sécurité Alimentaire et l'Alerte Précoce).

Toute œuvre de planification pour une gestion rationnelle des ressources naturelles fait appelle à une bonne compréhension du climat, notamment de la variable pluie et de sa répartition spatio-temporelle. Les informations sur les séquences sèches et humides, le début, la fin et la durée de la saison pluvieuse sont indispensables pour la planification des activités agricoles, la sélection des espèces culturales adaptées, choix des zones allouées au cheptel, etc.

Le présent travail consiste à rechercher la corrélation entre le prédicand (indices de la pluviométrie saisonnière (Juin, Juillet, Août et Septembre); période de référence 1961-1990) et les Indices des SST (Sea Surface Temperatures - El Niño3 et Atlantique Equatorial période de référence 1961-1990) pour établir des modèles statistiques de prévision de la pluviométrie saisonnière. Pour ce faire nous nous sommes servis d'un PC et des Logiciels: SYSTAT 7.0 sous WINDOWS pour les calculs statistiques, SURFER pour la cartographie et WORD pour le traitement du texte.

### II.- DESCRIPTION GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE

## 2.1.- Géographie

La Guinée-Bissau s'étend sur une superficie de 36.125 Km<sup>2</sup> et se situe sur la côte Ouest Africaine, entre les parallèles 10°N et 13° N de latitude; et entre les méridiens 13°W et 17°W de longitude. Le pays comporte une partie insulaire formée par l'archipel de Bijagos et une partie continentale. La Guinée-Bissau est limitée au Nord par le Sénégal et à l'Est et au Sud par la République de la Guinée-Conakry et à l'Ouest par l'Océan Atlantique.

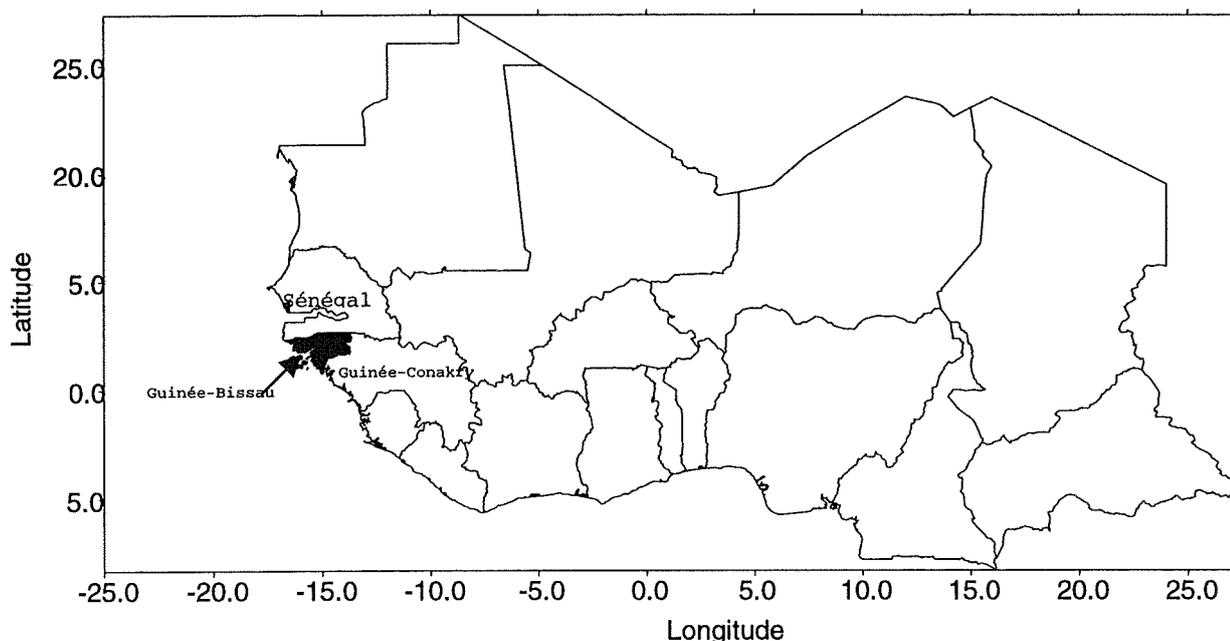


Fig. 1.- Situation Géographique de la Guinée-Bissau.

## 2.2.- Caractéristiques Climatiques

Le climat de la sous région est déterminé par la position du Front Inter-Tropical (FIT), qui est défini comme étant un ligne de séparation entre les alizés de l'Hémisphère Nord (alizés de Nord-Est) et les alizés humides de l'Hémisphère Sud (mousson :courant de Sud-Est dévié à Sud-Ouest à l'Équateur par la force de Coriolis).

La Guinée-Bissau est sous l'influence de trois anticyclones (Anticyclone de Libye, Anticyclone de Sainte-Hélène et l'Anticyclone des Açores). Le premier, centré sur le Sahara génère des vents chaud et sec. Le second, situé dans l'Atlantique Sud, apporte sur le continent des vents humides. L'anticyclone Saharien est à l'origine des vents de Nord-Est soufflant de Novembre à Avril sur la Guinée-Bissau. Ces vents sont remplacés à partir du mois de Mai par l'harmattan (vent chaud et sec) qui cédera sa place à un vent maritime humide (mousson) de secteur Sud-Ouest, apportant de la pluie.

Ce phénomène de pénétration de flux des alizés fortement humidifiés en provenance de l'hémisphère sud est qualifié de mousson par analogie avec la mousson indienne.

Le climat de la Guinée-Bissau est du type tropical soudanien marqué par l'alternance de deux saisons: une saison sèche qui débute aux mois de Novembre jusqu'à Avril et une saison pluvieuse qui débute aux mois Mai/Juin jusqu'à Octobre.

### III.- METHODOLOGIE

Cette étude porte sur l'élaboration des modèles statistiques pour la Prévision des Précipitations Saisonnières au niveau de la Guinée-Bissau. Le travail s'est effectué suivant les étapes suivantes:

- a) Choix des sites et de la saison;
- b) Corrélation entre Prédicteand (Indices de Précipitations Saisonnières: Juin, Juillet, Août et Septembre) et les différents Prédicteurs (SST - Indice décrivant l'anomalie des température de la mer);
- c) Choix des zones en fonction des résultats de la corrélation et des considérations de proximité géographique;
- d) Calcul des indices par zone, et corrélation avec les indices de la SST;
- e) Modélisation:
  - Evaluation des Modèles
    - Cross-validation
    - Table de contingences
    - Hit-Score

Nous avons procédé dans un premier temps au choix judicieuse des stations et de la saison. Ensuite nous avons effectué un diagnostic sous forme de tableaux (voir Annexe 1 et 2). Le tableau n°1 présente le diagnostic de la série des données utilisées et le tableau n°2 donne le diagnostic climatologique (période de référence: 1961-1990). Ensuite, le travail a porté sur la recherche des liens entre le Prédicteand (Précipitation Saisonnières) et les Prédicteurs (SST - Températures de la Surface de la Mer) par la méthode de Corrélation.

Avec les résultats de corrélation entre Prédicteand et les différents Prédicteurs nous avons défini les zones sensibles aux anomalies des SST et calculé les indices régionaux des précipitations. Ces indices ont été corrélés avec les Prédicteurs sélectionnés (SST) y compris un autre Prédicteur (EOF3), troisième composante principale qui décrit la variation à long terme des températures de la surface de la mer globale.

Après avoir déterminé les corrélations, nous avons élaboré des modèles par zone en utilisant les équations de régression linéaire multiple à partir des outils statistiques disponibles dans SYSTAT 7.0 for WINDOWS.

## A) CHOIX DES STATIONS, DE PREDICTAND (SAISON JJAS) ET DE PREDICTEURS (SST)

**a.1) Choix des Stations:** Le choix a porté sur les stations présentant des séries de données de précipitations complètes, couvrant la période allant de 1961 à 1990. Ce qui correspond à la Base Climatologique (Normale) la plus récente recommandé par l'OMM. De façon globale, la distribution spatiale de ces stations est représentative de l'ensemble de réseau d'observation météorologique national. Les données ont été fournies par la Direction du Service National de la Météorologie (DSNM), Département de la Climatologie (DCL).

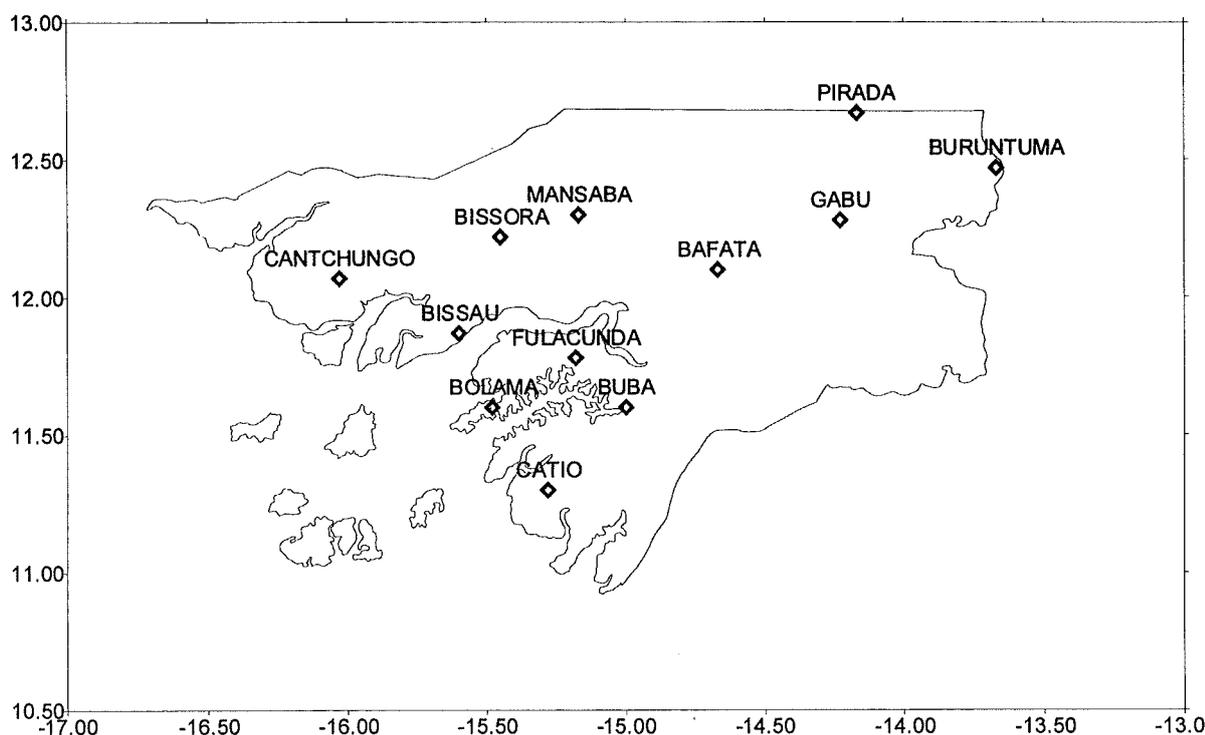


Figure 2.- Emplacement des Stations

**a.2) Choix de Prédicand (Saison Juin, Juillet, Août et Septembre) :** Pour ce qui est du choix de la saison, nous avons choisi les mois dont la moyenne saisonnière représente plus de 80% des précipitation moyenne annuelle. Ce choix a porté sur les mois de Juin, Juillet, Août et Septembre, période pendant laquelle on enregistre entre 84,6% à Bafatá et 89,7% à Pirada, de la pluviosité moyenne annuelle en Guinée-Bissau.

**a.3) Choix de Prédicteurs (SST):** Les prédicteurs retenus pour notre étude sont les indices décrivant l'anomalie des températures de surfaces de la mer (SST):

- NINO3- Indice décrivant l'anomalie de la température de l'océan pacifique:  
[10°N-10°S Latitude]; [90°W-150°W Longitude]
- EA - Indice décrivant l'anomalie de la température de l'océan atlantique sud:

[0° - 10°S Latitude]; [10°E-20°W Longitude]

- **NWA** - Indice décrivant l'anomalie de la température de Nord-Ouest de l'océan atlantique:  
[0° - 10°S Latitude]; [10°E-20°W Longitude]
- **EOF3** - Indice décrivant la variabilité à long terme de la température de la surface de l'océan global

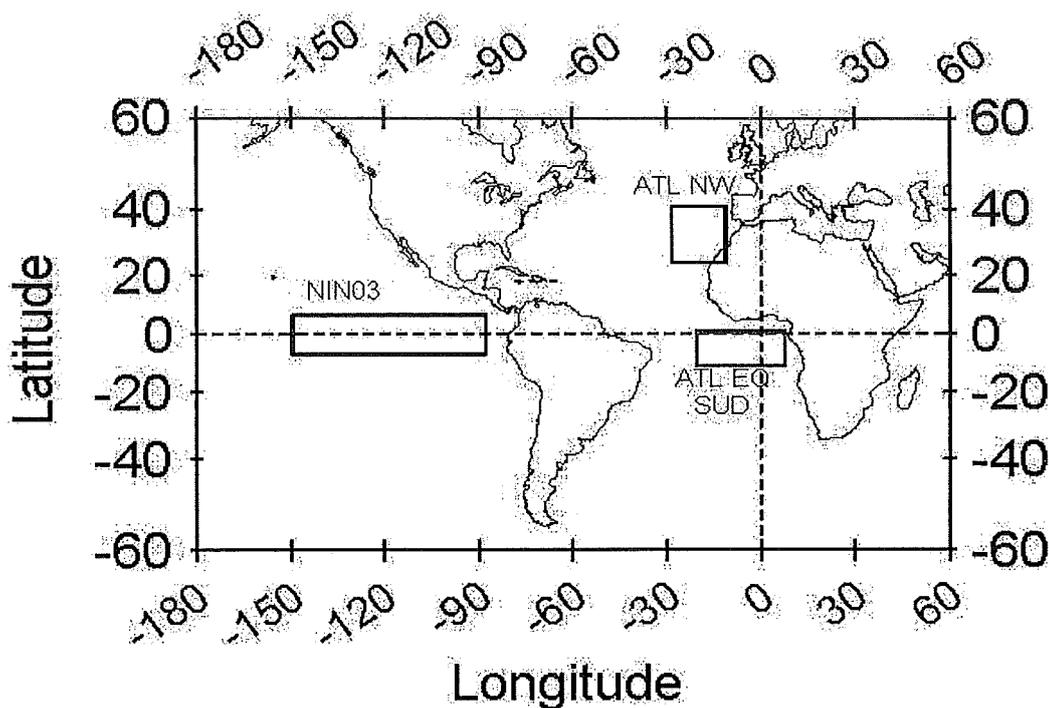


Figure 3.- Localisation des prédicteurs (SST)

## **B) CORRELATION ENTRE PREDICTAND (INDICES DE PRECIPITATIONS SAISONNIERES) ET LES DIFFERENTS PREDICTEURS (INDICES DE SST - TEMPERATURES DE LA SURFACE DE LA MER)**

La corrélation consiste à la recherche de degré de liaison (dépendance) entre les indices des précipitations saisonnières et les indices des températures de la mer (Nord-Ouest Atlantique, Atlantique Sud et El-Niño).

### **b.1) Corrélation entre Indices de RR(JJAS) et les Indices de SST - Nord-Ouest Atlantique:**

La figure 5 (Annexe A.1) donne les résultats de corrélation. A partir des différentes combinaisons nous avons constaté qu'il n'y avait pas de corrélation significative pour la majeure partie des stations choisies avec les SST de nord-ouest atlantique, excepté la station de Fulacunda qui donne une bonne corrélation ( $>0.3$ ).

### **b.2) Corrélation entre Indices de RR(JJAS) et les Indices de SST - Atlantique Sud:**

Pour l'Atlantique Sud, nous constatons déjà à partir du mois de juin/juillet, (voir figure 6 Annexe A.2), que quelques stations ont des corrélations négatives supérieures au seuil de référence (0.3), par rapport aux SST

### **b.3) Corrélation entre Indices de RR(JJAS) et les Indices de SST - El Niño3:**

Avec le phénomène El-Niño, nous avons des corrélations négatives significatives entre les précipitations saisonnières et le signal des SST - El Niño, voir la figure 7 (Annexe A.3).

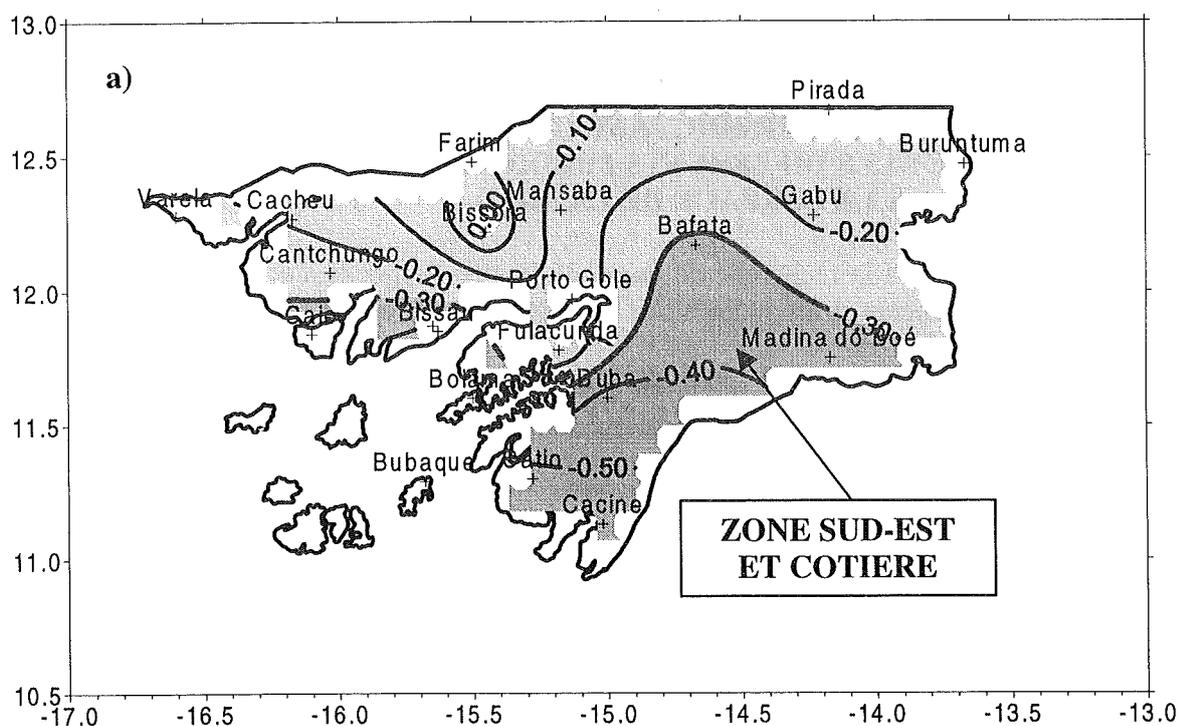
Nous avons retenu les SST d'Atlantique Sud et El-Niño du mois de Juillet, Août et Septembre pour sélectionner les stations qui sont bien corrélés avec les SST. Ce qui nous a permis de tracer les iso-corrélations pour déterminer les zones ayant une corrélation supérieure ou égale à notre seuil de référence (0.3).

### **C) CHOIX DES ZONES EN FONCTION DES RESULTATS DE LA CORRELATION ET DES CONSIDERATIONS DE PROXIMITE GEOGRAPHIQUE**

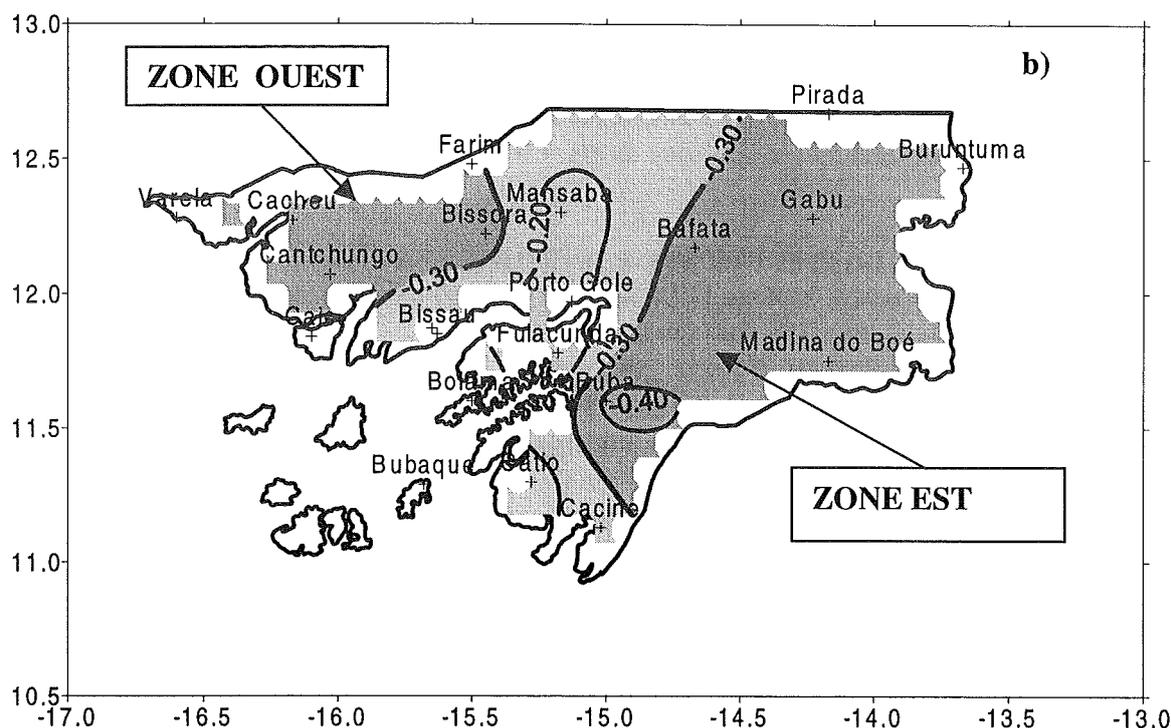
Le choix des zones est fait en fonction des résultats de la corrélation et des considérations de proximité géographique. Les figures 3.a et 3.b donnent les différentes zones avec les corrélations  $>0.3$ . Elles matérialisent les zones obtenues à partir du tracé des iso-corrélations entre les indices des précipitations des stations et les indices des SST au niveau d'Atlantique Sud et El-Niño3 de mois de Juillet, Août et Septembre, respectivement.

### **D) CALCULE DES INDICES PAR ZONES ET CORRELATION AVEC LES INDICES DE LA SST**

Après avoir déterminé les zones, nous avons calculé les indices zonaux. Ces indices ont encore corrélés avec les SST. Ceci a permis de confirmer l'influence des différents prédictes choisis. A cette étape, nous avons introduit un autre prédictes EOF3 qui tient compte de variations à long terme de la SST au niveau de l'océan global. Les résultats sont donnés par les figures 9, 10 et 11 (Annexe B.1, B.2 et B.3).



**Figure 3.a) Corrélation entre Indices de RR (JJAS) et Indices de SST Atlantique Sud (JAS)**



**Figure 3.b)** Corrélacion entre Indices de RR (JJAS) et Indices de SST El Niño3 (JAS)

**d.1) Corrélacion entre Indices des différentes zones et les Indices de SST - Nord-Ouest Atlantique :**

Le Nord-Ouest Atlantique ne donne pas des résultats significatifs, c'est à dire que toutes les corrélations sont inférieures à notre seuil de référence (0.3).

**d.2) Corrélacion entre Indices des différentes zones et les Indices de SST- Atlantique Sud:**

Avec les Indices de SST de l'Atlantique Sud, les résultats confirment l'existence d'une corrélacion significative avec la zone **Sud-Est -Côtère** (zoneea), voir figure 9, Annexe B.1.

**d.3) Corrélacion entre Indices des différentes zones et les Indices de SST - El-Niño:**

Le phénomène El-Niño présente une bonne corrélacion négative variant de -0.3 à -0.5, (voir figure 10, Annexe B.2), avec les indices des zones.

**d.4) Corrélacion entre Indices des différentes zones et l'EOF3:**

La figure 11 (Annexe B.3) donne les résultats de corrélacion qui varient entre -0.3 et -0.6. Toutes les zones répondent de façon significative et inversement proportionnelle à l'EOF3 (3<sup>ème</sup> composante principale de variation à long terme de SST au niveau global).

**E) MODELISATION**

Le principe consiste à établir des modèles statistiques à partir des équations de régression linéaire multiple. Dans cette étude nous avons retenus trois modèles pour les trois zones (un modèle par zone):

**E.1.) - Zone Sud-Est et Côtère (Zoneea):**

$$\text{MODEL ZONEEA} = 0.39 - 0.07 * \text{EA45T} - 0.18 * \text{EOF45} - 0.05 * \text{NIN789T}$$

avec un coefficient de corrélation multiple de (R = 0.63) et une performance (Skill) = 0.48

E.2.) - Zone Est (Zone1):

$$\text{MODEL ZONE1} = 0.20 - 0.06 * \text{NIN6789T} - 0.14 * \text{EOF45}$$

avec un coefficient de corrélation multiple de (R = 0.55) et une performance (Skill) = 0.39

E.3.) - Zone Ouest (Zone2):

$$\text{MODEL ZONE2} = 1.91 - 0.05 * \text{NIN6789T} - 0.20 * \text{EOF45}$$

avec un coefficient de corrélation multiple de (R = 0.63) et une performance (Skill) = 0.45

## F) EVALUATION DES MODELES

Pour tester la fiabilité et la performance des modèles nous avons utilisé les outils statistiques disponibles dans SYSTAT 7.0. Nous avons utilisé l'analyse de variance, la Cross-Validation (reconnaissance glissante) et les Tables de contingences. Les résultats sont donnés dans le tableau n°3.

## IV.- CONCLUSIONS

Les résultats auxquels nos sommes parvenus sont les suivants:

### - Zone Sud-Est et Côtières (Zoneea) :

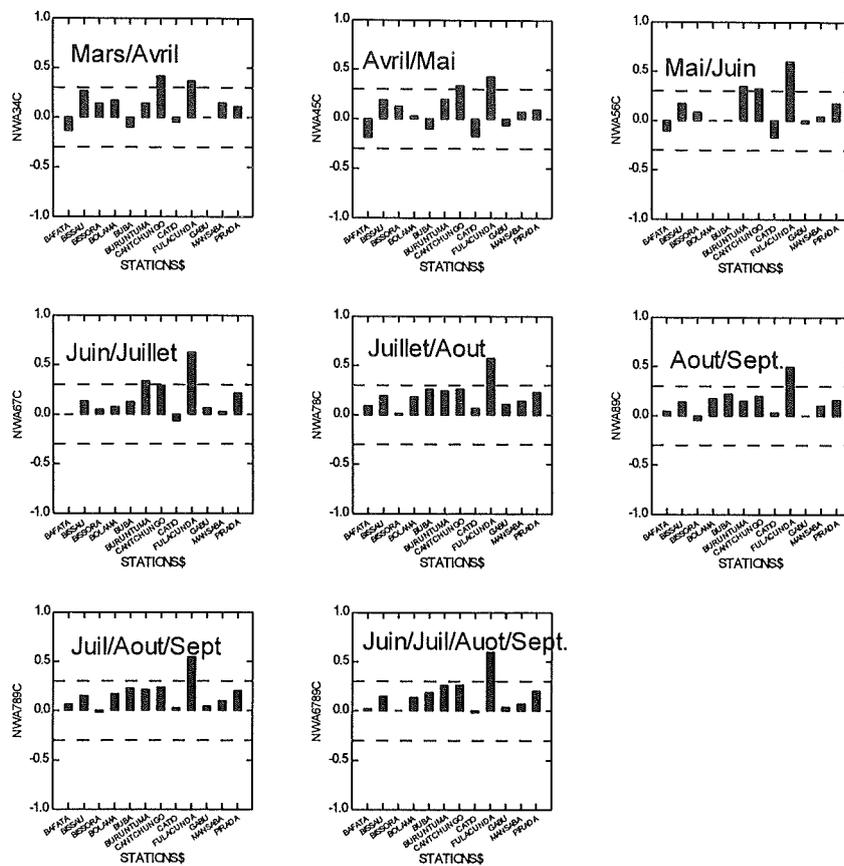
La performance du modèles nous donne des résultats encourageants. L'application pratique de ces modèles est un apport non négligeable aux systèmes d'alerte précoce vers une sécurité alimentaire durable; mais ils méritent d'être affinés et consolidés en ajoutant des prédicteurs autres que la SST et en utilisant aussi une série des données la plus longue possible ainsi qu'un plus grand nombre de stations.

## ANNEXE 1

Tableau N°1- Diagnostic des Séries des données utilisées.

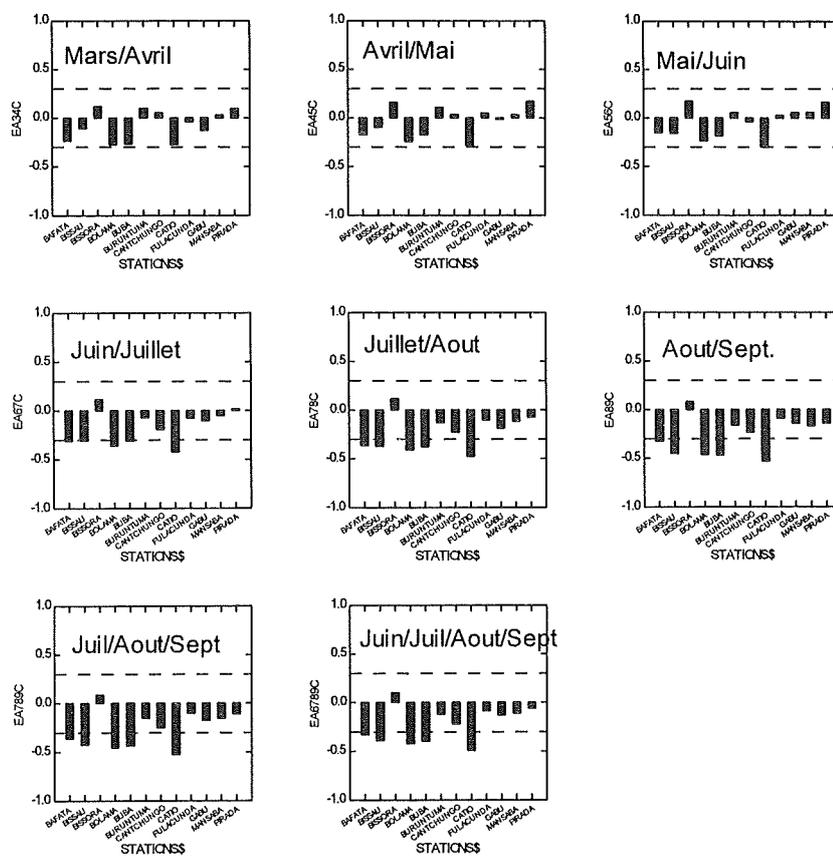
Stations	Début Série	Fin Série	Nombre des Années
Bissau	1961	1990	30
Bafatá	1961	1990	30
Bissora	1961	1990	30
Bolama	1961	1990	30
Buba	1961	1990	30
Buruntuma	1961	1990	30
Cantchungo	1961	1990	30
Catio	1961	1990	30
Fulacunda	1961	1990	30
Gabú	1961	1990	30
Mansabá	1961	1990	30
Pirada	1961	1990	30

ANNEXE - A.1



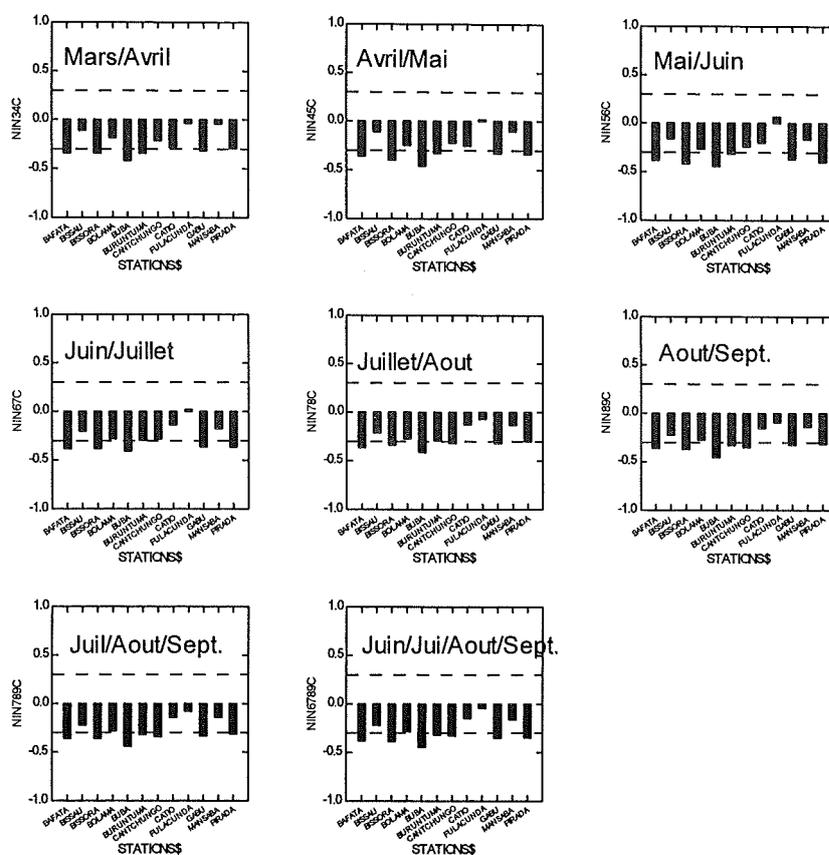
**Figure 5.-** Corrélation entre les Indices de Précipitations Saisonnières (JJAS) des différentes stations et les Indices de SST Atlantique Nord-Ouest (NWA)

## ANNEXE - A.2



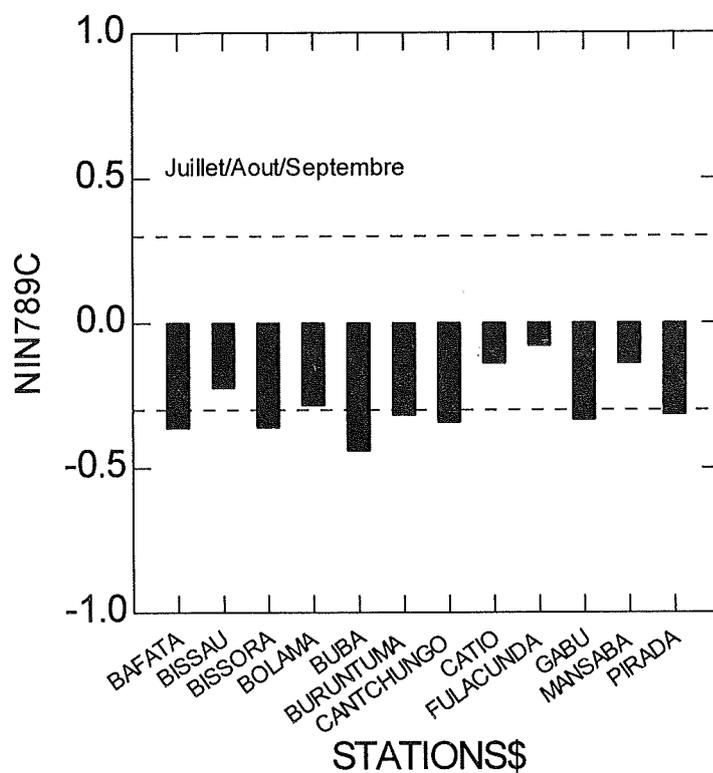
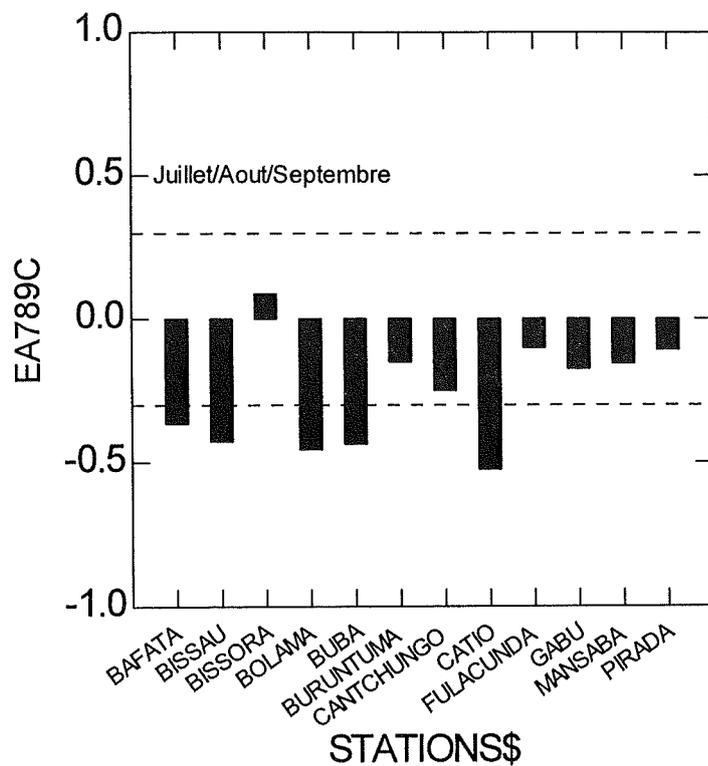
**Figure 6.-** Corrélation entre les Indices de Précipitations Saisonnières (JJAS) des différentes stations et les Indices de SST Atlantique Sud (EA)

## ANNEXE - A.3



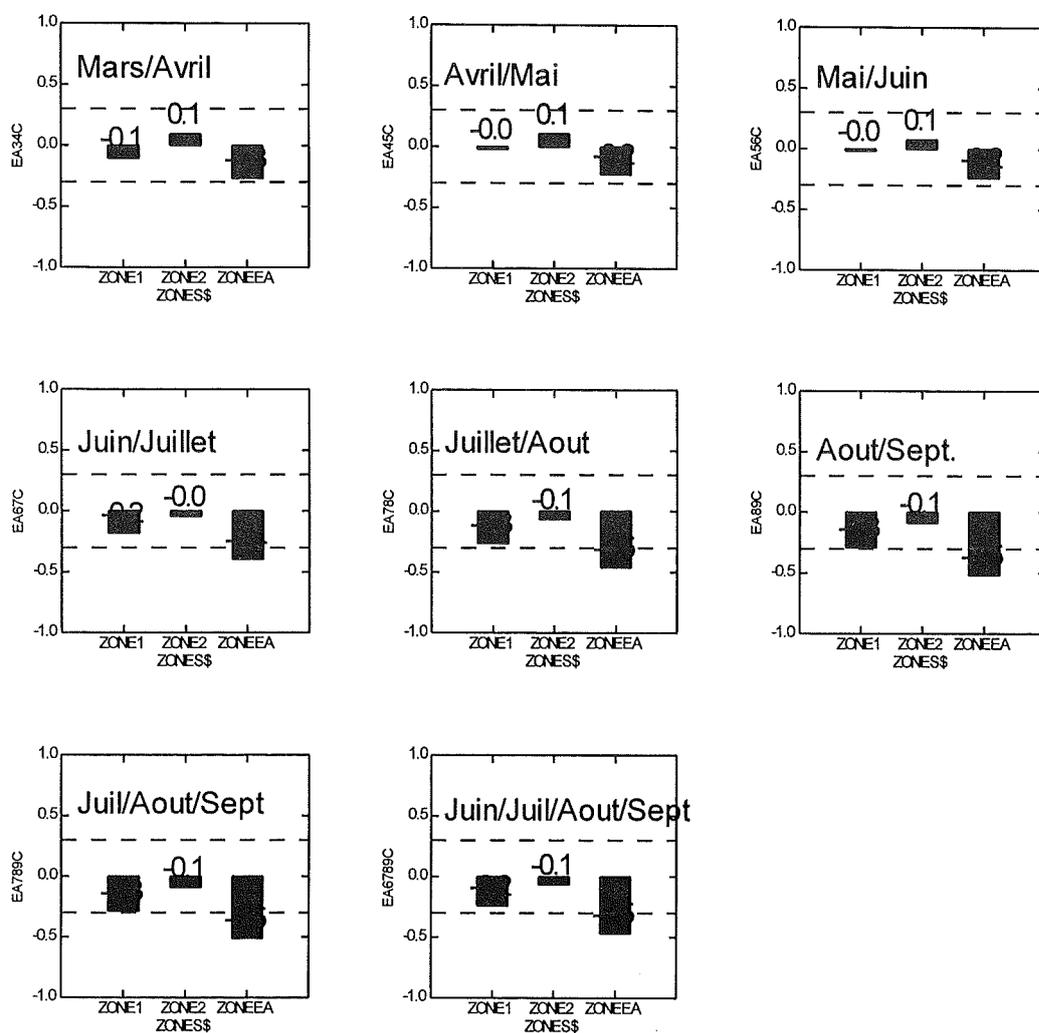
**Figure 7.-** Corrélation entre les Indices de Précipitations Saisonnières (JJAS) des différentes stations et les Indices de SST El-Niño3 (NIN)

## ANNEXE - A.4



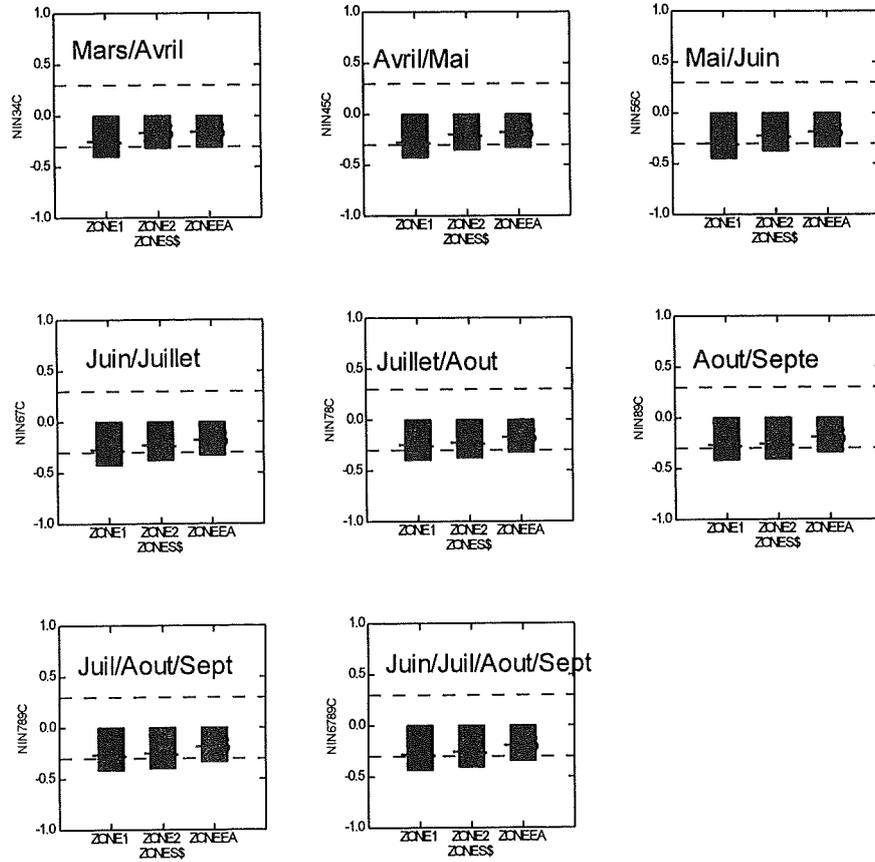
**Figure 8.-** Corrélation entre les Indices de Précipitations Saisonnières (JJAS) des différentes stations et les Indices de SST Atlantique Sud (EA789 - Juillet, Août et Septembre) et El-Niño (NIN789 - Juillet, Août et Septembre)

## ANNEXE - B.1



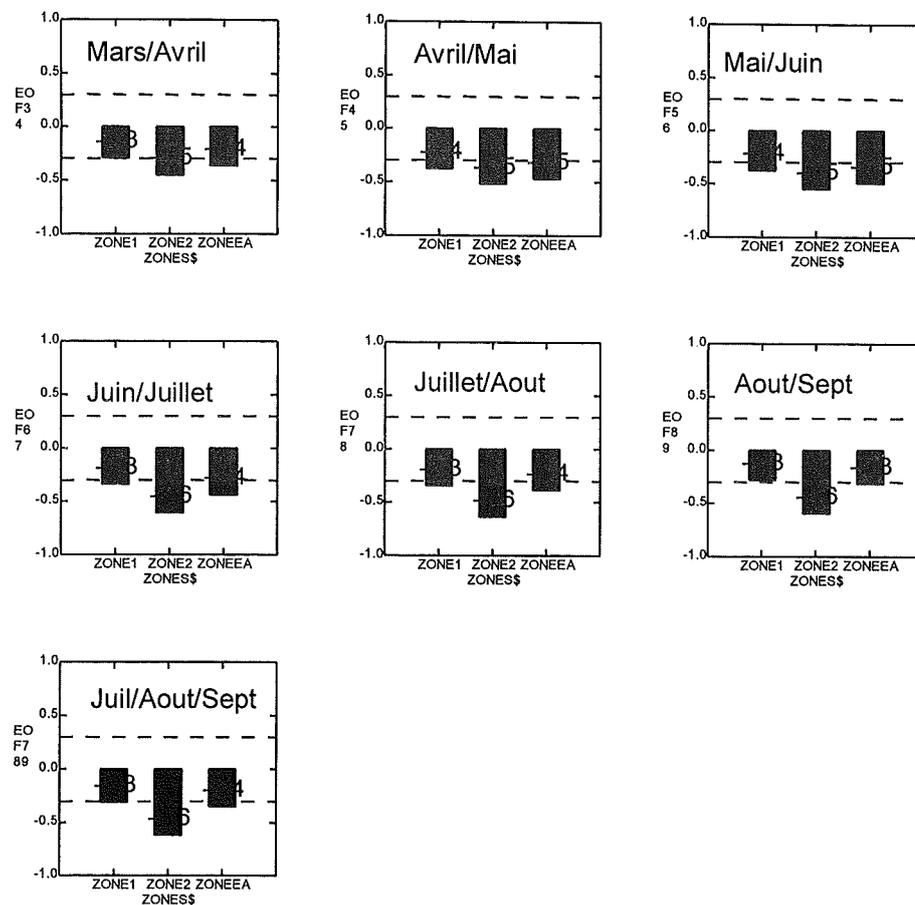
**Figure 9.-** Corrélation entre les Indices des précipitations Saisonnières (JJAS) des différentes Zones (Zone1 = Zone Est; Zone2 = Zone Ouest et Zoneea = Zone Sud-Est et Côtière) et les Indices de SST - Atlantique Sud (EA)

## ANNEXE - B.2



**Figure 10.-** Corrélation entre les Indices des précipitations Saisonnières (JJAS) des différentes Zones (Zone1 = Zone Est; Zone2 = Zone Ouest et Zoneea = Zone Sud-Est et Côtière) et les Indices de SST - El-Niño3 (NIN)

## ANNEXE - B.3



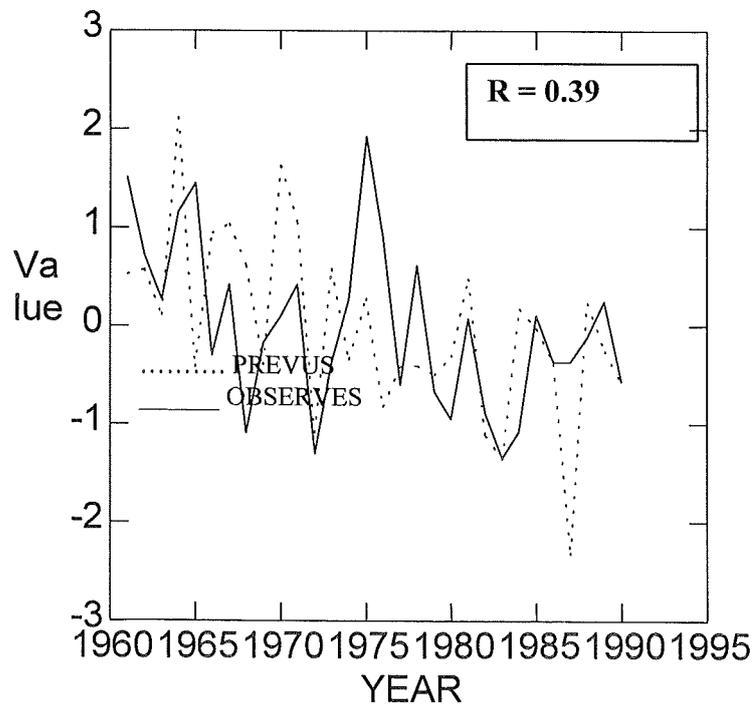
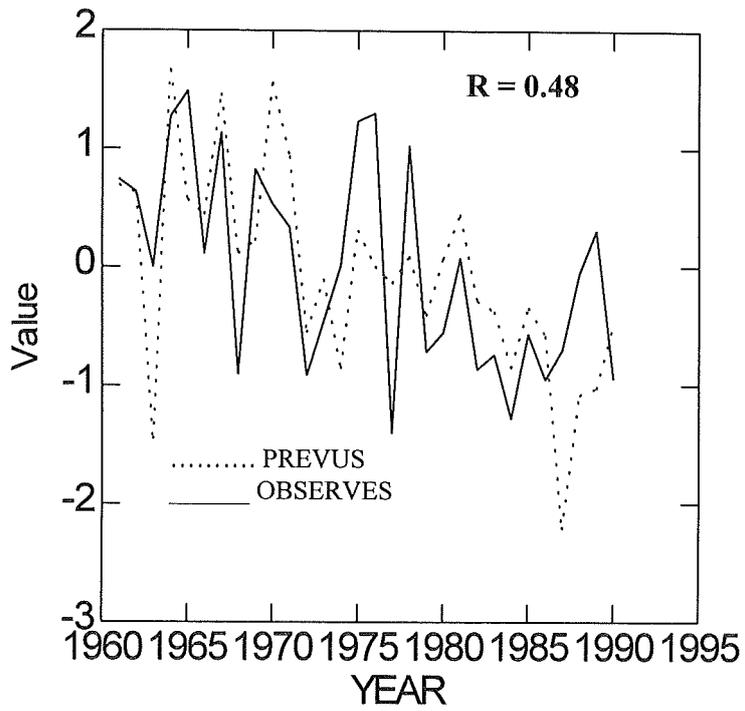
**Figure 11.-** Corrélation entre les Indices des précipitations Saisonnières (JJAS) des différentes Zones (Zone1 = Zone Est; Zone2 = Zone Ouest et Zoneea = Zone Sud-Est et Côtière) et les Indices de SST - Principale composante principale de la variation à long terme de SST au niveau global (EOF3)

## ANNEXE 3

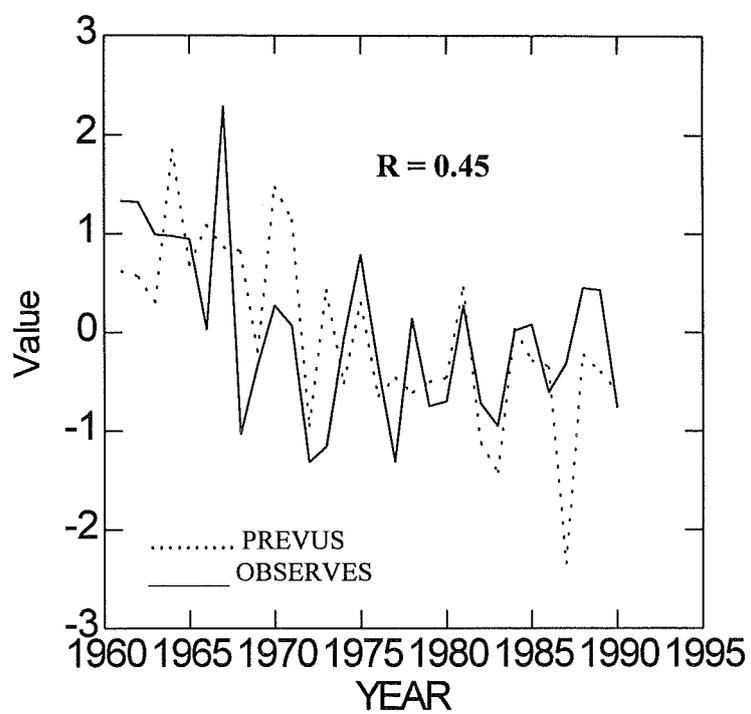
Tableau n°3: Evaluation des modèles

MODELES	A. VARIANCE			PERFORMANCE				
	R	F-ratio	P	Skill	%Coin.	POD	FAR	HSS
<b>Zone Sud-Est et Côtière</b> ZONEEA = 0.39-0.07*EA45T-0.18*EOF45- 0.05*NIN789T	0.63	5.81	0.00	0.48	43.3	56.0	0.0	15.0
<b>Zone Est</b> ZONE1 = 0.20-0.06*NIN6789T- 0.14*EOF45	0.55	5.85	0.01	0.39	53.3	60.0	2.5	29.9
<b>Zone Ouest</b> ONE2 = 1.91-0.05*NIN6789T- 0.20*EOF45	0.63	8.92	0.00	0.45	46.6	33.3	0.0	20.0

EVALUATION DES MODELES



## ANNEXE D.2



## Prévision Saisonnière des Précipitations au Mali

**Siaka BAYA:** Direction de la Météorologie Nationale du Mali B.P. 237 Bamako, Mali.

**Omar BADDOUR:**

-Chef Programme Prévisions Climatiques et Applications, ACMAD, BP. 13184, Niamey, Niger.

-Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc.

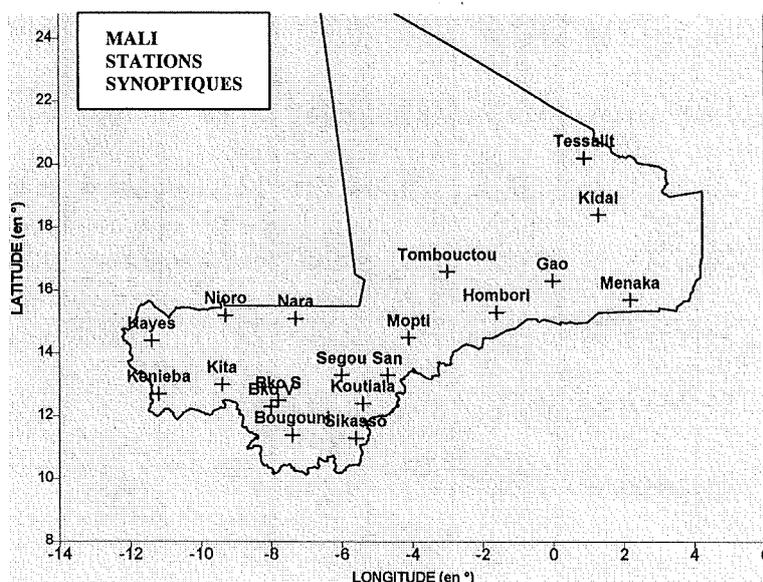
### I. INTRODUCTION

Pays continental, le Mali a une économie essentiellement agro-pastorale ; plus de 70% de la population est rurale. De ce fait, beaucoup de secteurs de développement socio-économique sont tributaires du climat. Les sécheresses observées durant les dernières décennies en sont une bonne illustration.

La contribution de nos chercheurs dans la recherche de solutions visant à limiter les graves conséquences de la variabilité du climat sur notre économie, est d'une importance capitale. En effet, une bonne connaissance du climat permet aux spécialistes de prévoir à l'avance la qualité de la saison. Prévoir une mauvaise saison de pluie à l'avance constitue pour les planificateurs un outil capital de gestion des ressources du pays. L'objectif de cet atelier est de développer des modèles de prévision saisonnière. La méthode que nous utilisons est la prévision statistique. Elle consiste à rechercher des prédicteurs qui expliquent le mieux le paramètre que l'on veut prévoir par l'analyse des corrélations. Dans notre cas nous cherchons à prévoir les précipitations en utilisant comme prédicteurs les températures de surface de la mer (SST). Pour mener à bien ce travail, nous avons disposé d'un micro ordinateur et de logiciels spécialisés (SYSTAT, SURFER....).

#### 1-1. APERCU CLIMATIQUE

Le travail a porté sur les données couvrant la période 1961-1995 de 19 stations synoptiques du Mali. La carte ci-après indique la répartition spatiale de ces stations.



### Quelques caractéristiques climatiques du Mali.

Pour avoir une meilleure vue sur les caractéristiques climatiques du pays nous avons présenté le tableau ci-dessous. Période de référence : 1961-1990.

STATIONS			TOTAL ANNUEL			TOTAL SAISONNIER			D.M.D.S	
Noms	Lat	Long	Moy	S.D	C.V	Moy	S.D	C.V	Date	S.D
Bamako Senou	12° 32 N	7° 57 W	922,6	147,4	0,16	667,7	121,2	0,18	01-jun	10
Bamako Ville	12° 33 N	7° 58 W	995,3	0,3	0,18	710,1	147,8	0,21	01-jun	10
Bougouni	11° 25 N	7° 30 W	1123,8	174,7	0,16	743,1	117,4	0,16	19-mai	18
Gao	16° 16 N	0° 03 W	187,3	59,4	0,31	152,4	48,7	0,32	XX	XX
Hombori	15° 20 N	1° 41 W	337,6	87,7	0,26	273,0	77,3	0,28	16-jul	14
Kayes	14° 26 N	11° 26 W	632,8	124,4	0,19	498,9	111,3	0,22	02-jul	18
Kenieba	12° 51 N	11° 14 W	1152,5	245,3	0,21	849,8	200,9	0,24	10-jun	4
Kidal	18° 26 N	1° 21 E	113,9	39,8	0,35	89,3	32,2	0,36	XX	XX
Kita	13° 04 N	9° 28 W	928,3	146,2	0,16	669,9	126,2	0,19	03-jun	7
Koutiala	12° 23 N	5° 28 W	893,4	179,1	0,20	622,8	144,9	0,23	29-mai	13
Menaka	15° 52 N	2° 13 E	219,0	60,3	0,28	183,5	55,9	0,31	XX	XX
Mopti	14° 31 N	4° 06 W	461,6	95,9	0,21	357,8	83,2	0,23	10-jul	6
Nara	15° 10 N	7° 17 W	413,1	110,7	0,27	335,7	92,5	0,28	09-jul	12
Nioro	15° 14 N	9° 21 W	458,9	127,3	0,28	374,4	110,6	0,30	09-jul	11
San	13° 20 N	4° 50 W	691,5	120,6	0,17	517,2	112,8	0,22	22-jun	13
Segou	13° 24 N	6° 09 W	634,7	129,5	0,20	487,8	114,8	0,24	16-jun	16
Sikasso	11° 21 N	5° 41 W	1124,5	182,6	0,16	727,6	116,6	0,16	14-mai	12
Tessalit	20° 12 N	0° 59 E	68,4	39,6	0,58	54,1	32,1	0,59	XX	XX
Tombouctou	16° 43 N	3° 00 W	155,9	42,6	0,27	132,9	40,5	0,31	XX	XX

**D.M.D.S:** Date Moyenne de Démarrage de la Saison pluvieuse

**S.D** : Ecart type – exprimé en millimètre de pluie pour les totaux annuel et saisonnier et en jour pour D.M.D.S

**C.V** : Coefficient de Variation

**XX** : La définition utilisée pour le début de la saison des pluies ne peut être appliquée pour la station considérée.

## II. MODELISATION

### 2-1 PRINCIPE GENERAL DE LA PREVISION SAISONNIERE

On s'intéresse à un phénomène que l'on veut prévoir ; par exemple : la pluie, le vent, la brume de poussière, la crue : c'est le prédictand.

On cherche des paramètres «informatifs», par exemple : la température de la surface de la mer (SST – "Sea Surface Température" en anglais), le vent, l'humidité, le rayonnement, la pluie, l'albédo : ce sont les prédicteurs.

En général on dispose de beaucoup de variables parmi lesquelles on voudrait choisir les meilleures. Le principe de ce choix consiste à calculer la corrélation entre le prédictand et chacun des prédicteurs et de ne retenir pour le modèle de prévision que la variable qui fournit la corrélation la plus significative. La corrélation entre deux variables mesure le degré de liaison entre ces deux variables. Dans beaucoup de cas, on retient non pas le meilleur prédicteur mais le groupe de prédicteurs (2 ou plus) apportant le maximum d'information. On parle en ce moment de corrélation multiple.

Une fois les prédicteurs retenus, on élabore le modèle de prévision qui n'est autre qu'une équation mathématique exprimant le prédictand en fonction des prédicteurs. L'outil utilisé est la régression linéaire. C'est alors qu'on procède à l'évaluation du modèle élaboré en faisant entre autres, l'analyse de variances et en calculant quelques caractéristiques de validation telles que le 'Skill', le pourcentage de coïncidence, la probabilité de détection, la fausse alerte... Les techniques utilisées sont : la reconnaissance glissante (*cross-validation* en anglais), la simulation et la table de contingence.

### 2.2 CAS DU PRESENT ATELIER

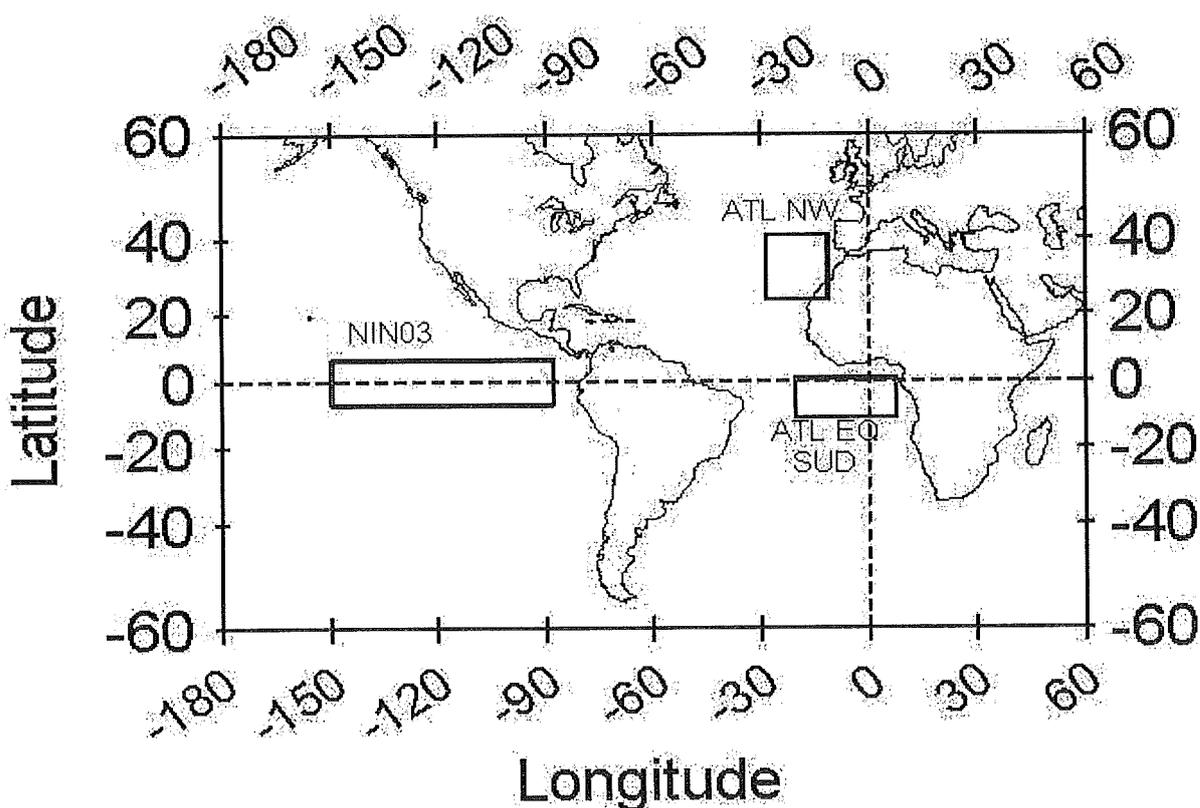
Dans les travaux que nous avons effectués, nous voulons prévoir les précipitations saisonnières à partir des SST. Nous désignons par précipitation saisonnière le total pluviométrique des mois de juillet, août et septembre (JAS). Le choix de la période JAS comme saison se justifie par le fait que ces trois mois totalisent entre 70 et 85% du cumul pluviométrique annuel.

Nous utilisons les quatre prédicteurs ci-après (voir carte suivante) :

- AE : la température de la surface de la mer au niveau de l'atlantique équatorial sud (0°-10° Sud ; 20°Ouest - 10° Est).
- NWA : la SST du nord ouest atlantique (20° nord – 40° nord ; 10° ouest – 30° ouest) ;

- NIN : Communément appelé "Niño3" il désigne la SST au niveau du pacifique centre (10° Sud – 10° Nord ; 90° Ouest – 150° Ouest)
- EOF3 : Elle représente la troisième composante principale de la température de l'océan global et est obtenue par la technique de l'analyse en composantes principales (ACP). Elle décrit, physiquement, la variabilité à long terme de la température de l'océan global.

La carte suivante montre les régions océaniques dont nous utilisons les SST. Ces zones ont été déterminées à partir d'études effectuées par les centres mondiaux de prévision. Ces études ont montré que les SST qui corréleront le mieux avec les précipitations de l'Afrique de l'Ouest sont celles indiquées sur la carte ci-après Niño3, ATL NW (Nord Ouest Atlantique), ATL EQ SUD (Atlantique Equatorial Sud).



Toutes les variables utilisées, le prédicant ainsi que les prédicteurs, sont transformés en indices de la façon suivante :

$$\text{Ind} = \frac{V - N}{SD}$$

V : variable à transformer

N : normale de V pour une période donnée

SD : écart type de N

Ind : indice de la variable à transformer

Les précipitations saisonnières (JAS) ont été transformées en indices (Indrr) :

$$\text{Indrr} = \frac{\text{JAS} - N}{SD}$$

N = Précipitation saisonnière normale (période 1961 – 1990)

SD = écart type de N.

Le tableau ci-dessus donne les valeurs de N et SD pour chacune des dix neuf stations utilisées. N est désigné par Moy. Cette transformation offre l'avantage de travailler avec des variables sans dimensions qu'on appelle aussi anomalies de pluie ou de SST selon la variable transformée.

L'objectif final de nos travaux est de constituer des zones composées chacune par des stations « semblables » et d'établir un modèle de prévision pour chacune des zones. Deux stations seront dites semblables lorsqu'elles répondent à peu près de la même manière au signal d'une même SST ; autrement dit si elles possèdent toutes deux une corrélation significative par rapport à la même SST. Pour cela on utilise les corrélations entre les stations et chacune des SST.

Les zones étant constituées, on calcule l'indice de précipitation saisonnière pour chacune d'elles. Ainsi pour chaque zone on a :

- un indice de pluie qui est le prédicant ;
- un (ou des) prédicteur(s) .

Ce qui permet d'élaborer un modèle de prévision pour chaque zone. Par exemple si une zone A est composée de 3 stations (S1, S2 et S3) dont les indices de pluie sont respectivement (i1, i2 et i3) alors l'indice (IA) de la zone A s'obtient par la formule suivante:

$$IA = \frac{i1+i2+i3}{3}$$

## 2.3. TRAVAUX PRELIMINAIRES

### 2.3.1 CORRELATION ENTRE SST ET INDICES DE PLUIE PAR STATION

#### Niño3

Le diagramme en bâton montre une corrélation négative pour toutes les stations du Mali. Seules quelques stations telles que San, Mopti, Tombouctou, Menaka et Sikasso se distinguent par la faiblesse de leur corrélation. Pour les stations comme Kidal, Tessalit,

Bamako, Kita, Kenièba la corrélation est assez significative surtout aux mois de juillet août et septembre. La figure suivante représente les lignes d'iso-corrélation entre les stations et Niño3 des mois de juillet août septembre.

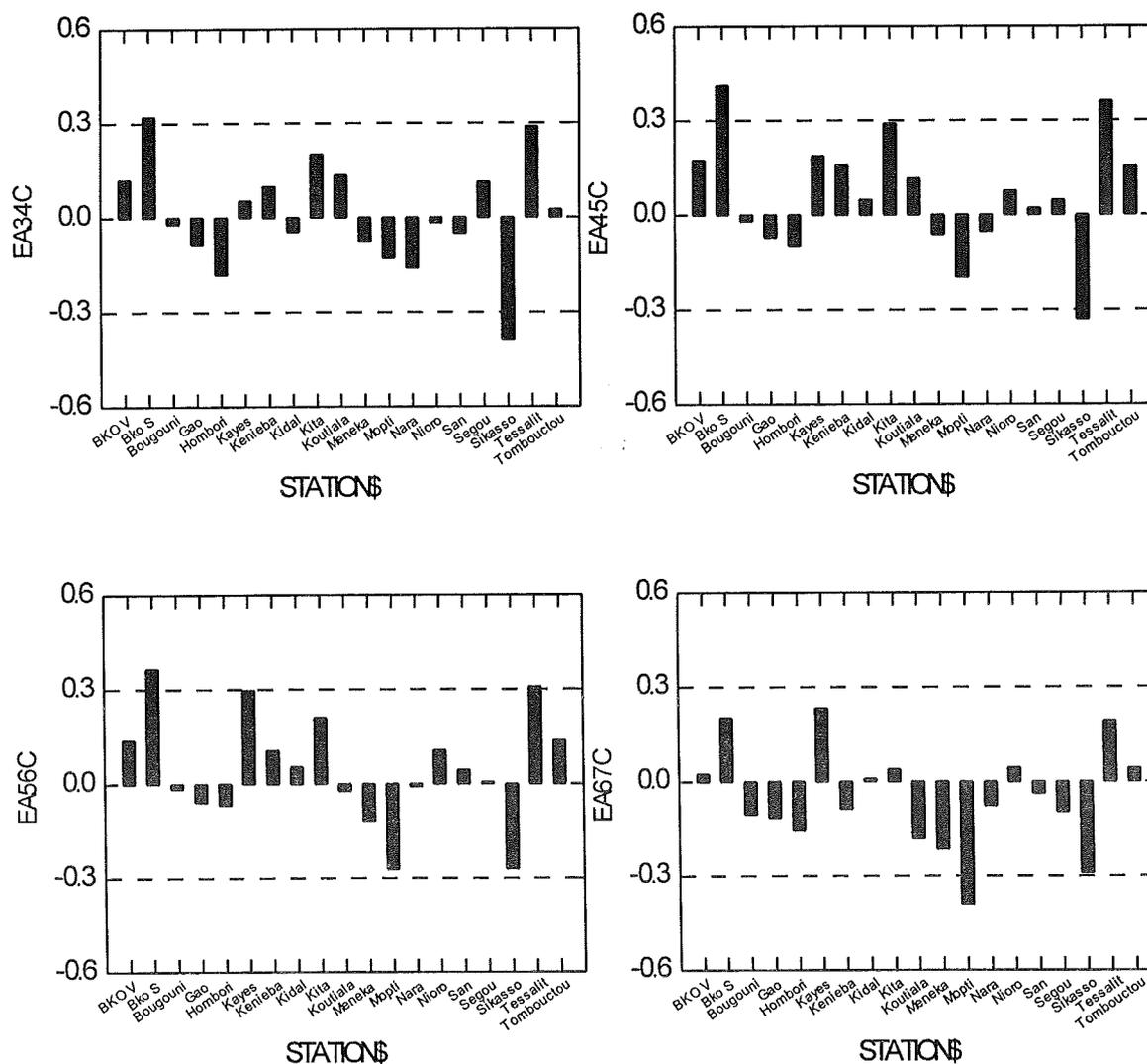
### SST Atlantique Equatoriale sud (AE)

Seuls quelques stations se détachent (Mopti, Hombori, Sikasso, Koutila) par une corrélation avoisinant la valeur  $-0.3$ . Les autres stations ont une très faible corrélation (voir figures ci-après).

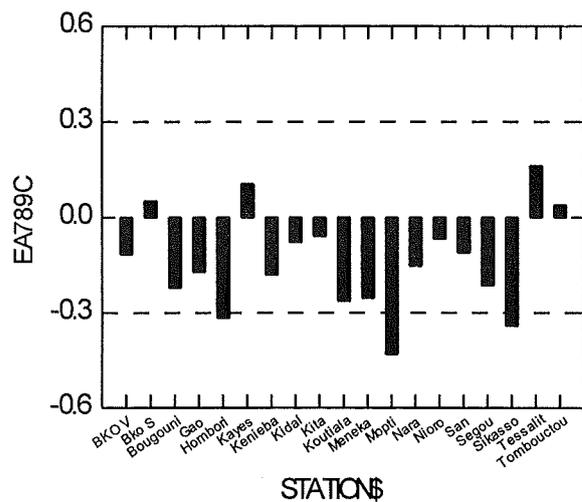
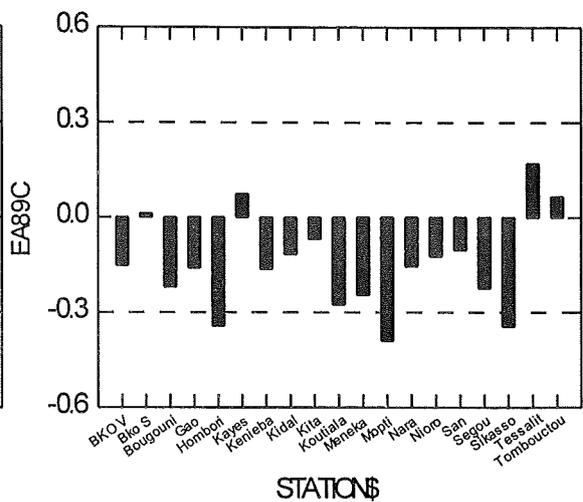
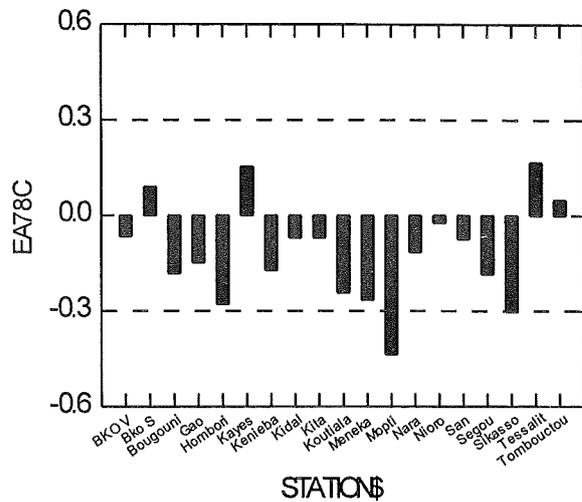
### SST Nord Ouest Atlantique NWA :

Excepté Tessalit toutes les stations ont une faible corrélation avec NWA (voir figures ci-après).

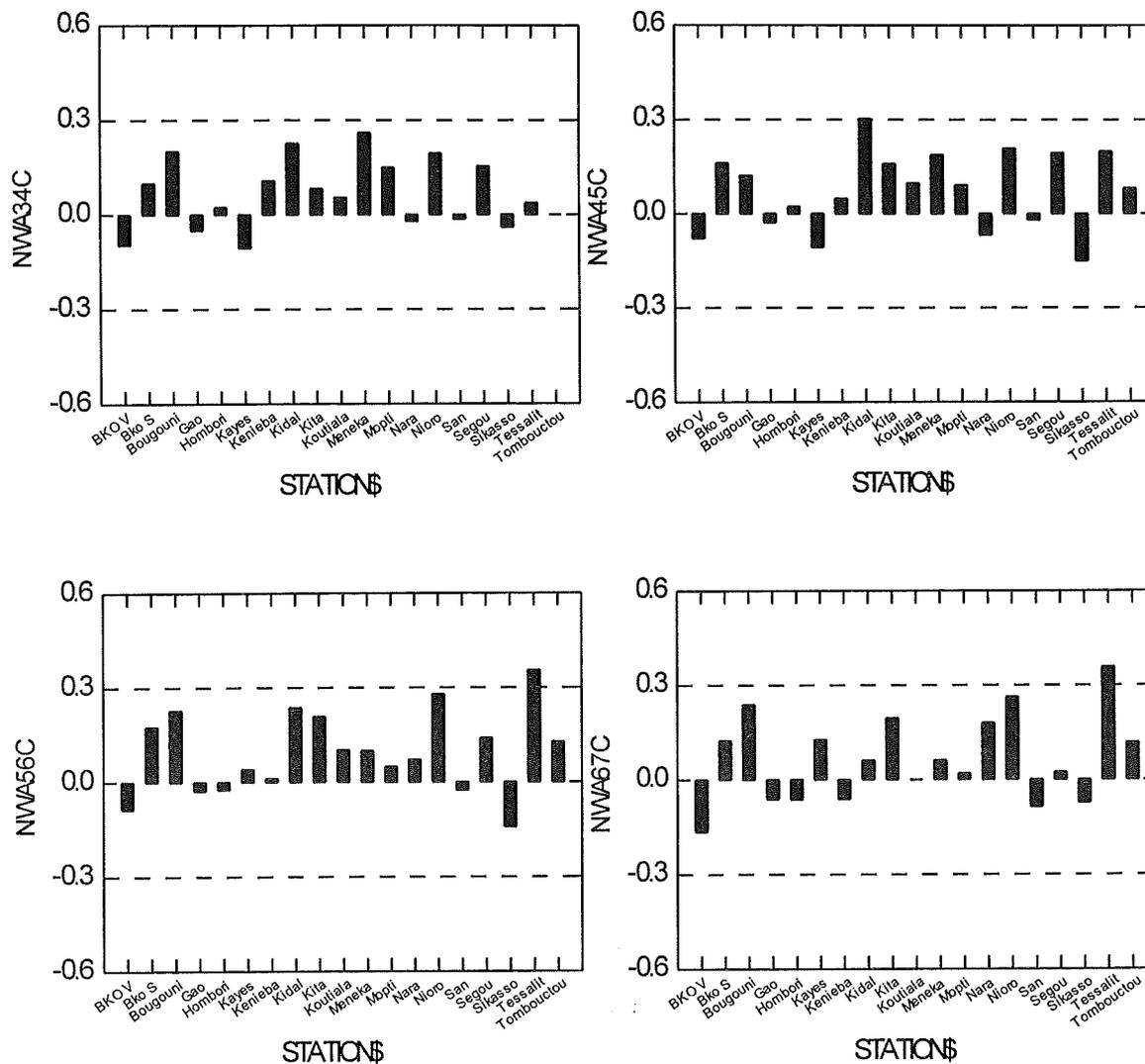
Corrélation SST Atlantique Equatoriale – Indice de pluie par station



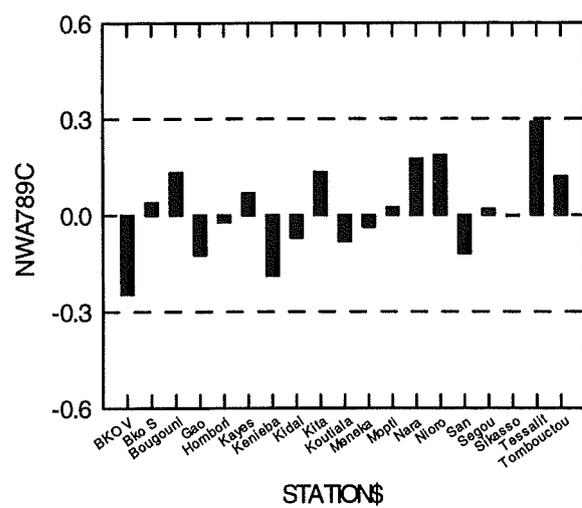
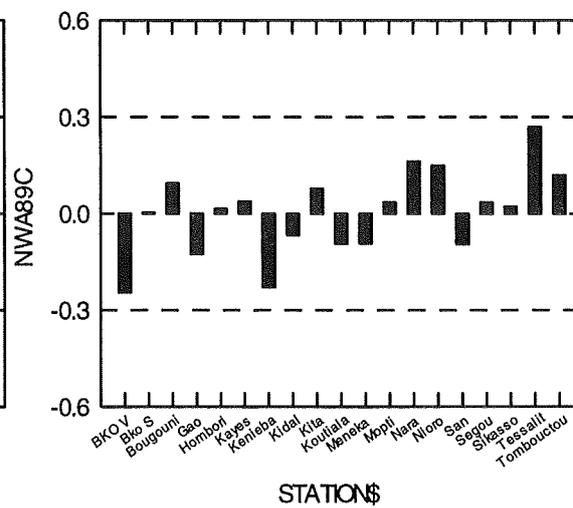
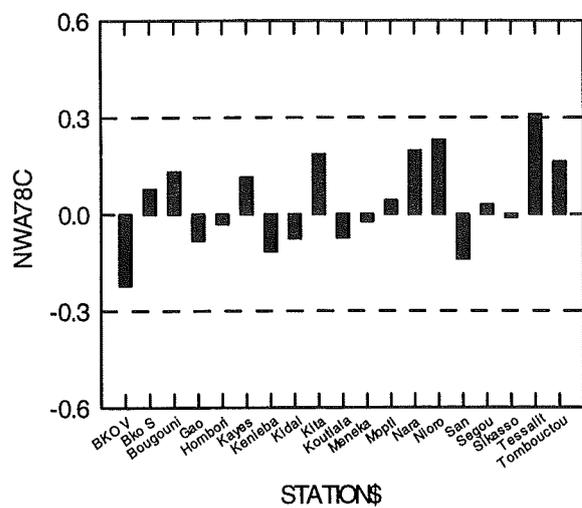
Corrélation SST Atlantique Equatoriale – Indice de pluie par station (suite)



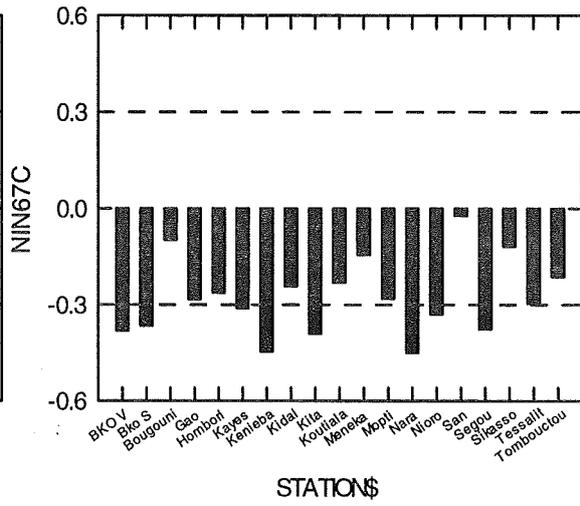
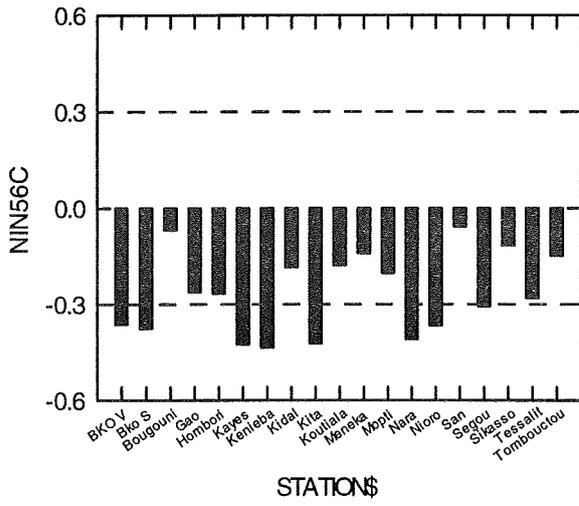
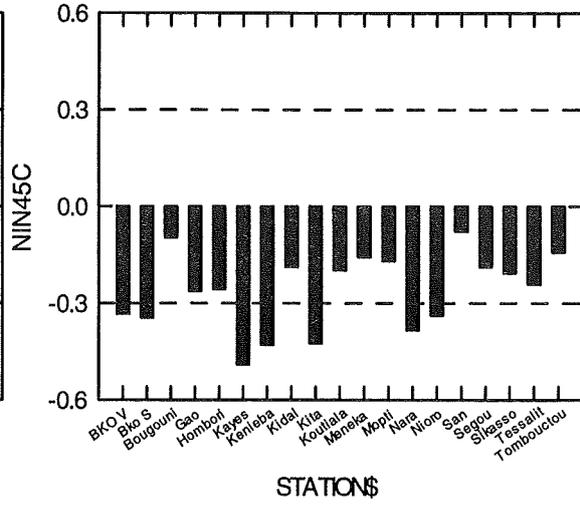
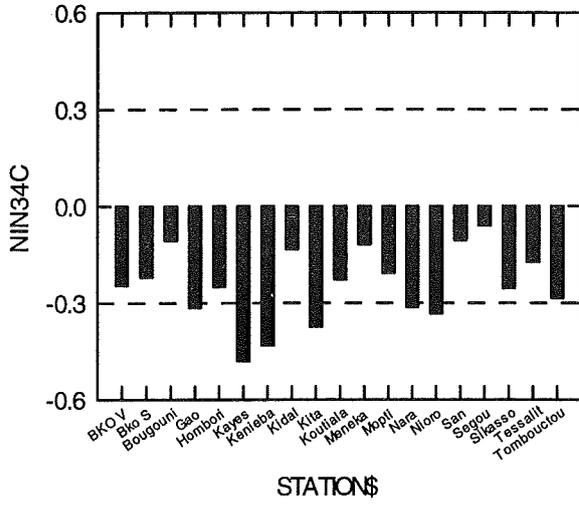
## Corrélation SST Nord Ouest Atlantique – Indice de pluie par station



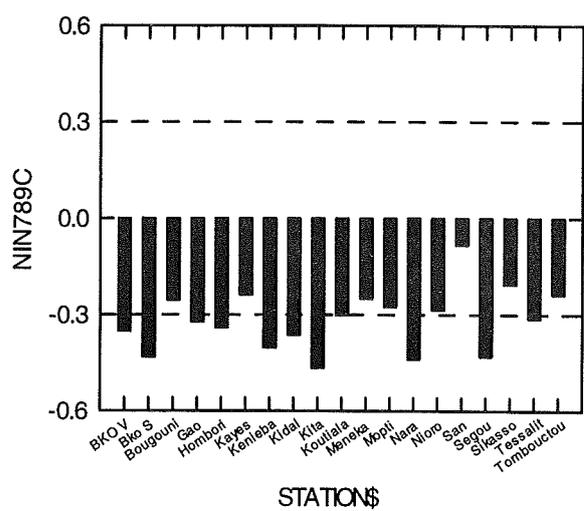
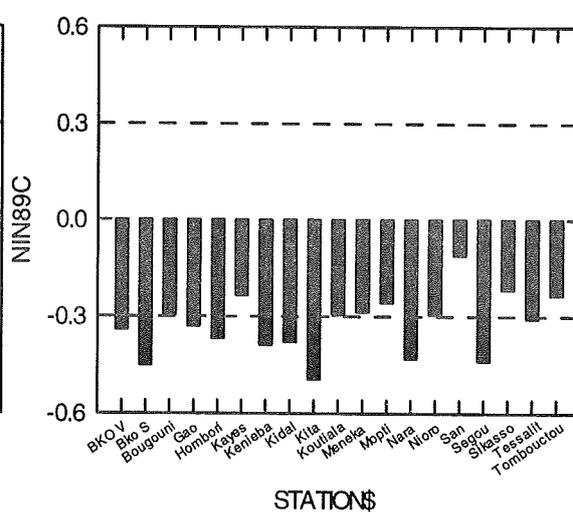
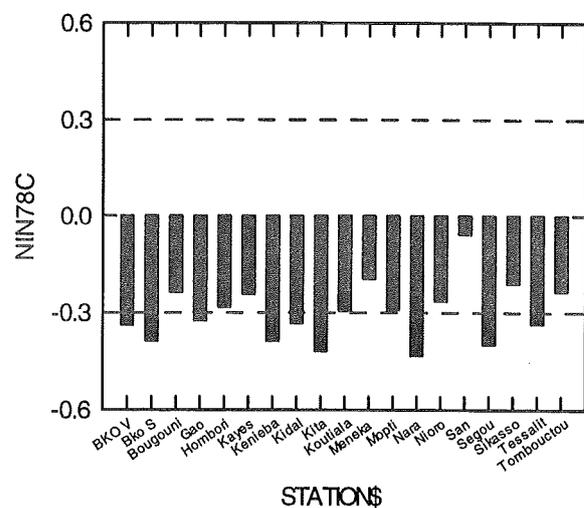
## Corrélation SST Nord Ouest Atlantique – Indice de pluie par station (suite)



Corrélation SST Niño3 – Indice de pluie par station



## Corrélation SST Niño3 – Indice de pluie par station (suite)



## 2.3 ZONAGE

### 2.3.1 Détermination des zones

En utilisant les cartes d'égaies corrélations nous avons réparti les stations en trois zones. Les stations de Kayes, San et Tombouctou ne se retrouvent dans aucune des trois zones car ne possèdent pas de corrélation significative avec les SST utilisées.

#### . Zone Ouest :

Elle est constituée des stations de l'Ouest dont la corrélation avec Niño3 est inférieure ou égale à  $-0.3$ . Il s'agit des stations de Bamako Sénou, Bamako ville, Kenièba, Kita, Nara, et Nioro.

#### . Zone Est :

Elle est constituée des stations du Nord de corrélation inférieure à  $-0.3$  : Gao, Hombori, Kidal, Tessalit. Nous précisons que les zones Est et Ouest ont été constituées en tenant également compte de la proximité climatique. Il s'agit là de deux groupes de stations n'ayant pas le même climat. Ces 2 groupes ne pourraient par conséquent former une seule zone même si les stations concernées répondent de la même façon à Niño3.

#### . Zone Sud Est :

Elle est formée des stations de : Mopti, Sikasso, Koutiala, Hombori, Menaka, Ségou, Bougouni. Ce sont les stations qui répondent au mieux à l'atlantique Equatorial. Les corrélations les plus significatives sont obtenues pour Mopti, Sikasso et Hombori (Corrélation  $\leq -0.3$ )

### 2.3.2 Corrélations entre zones et SST

L'analyse des graphes de corrélations entre indices de SST et indices de pluie des zones nous montre ce qui suit :

- toutes les zones répondent significativement à EOF3 avec une corrélation négative de mars à septembre, avec toutefois un renforcement aux mois de juillet, août et septembre (corrélation inférieure ou égale à  $-0.5$ ) ;
- les trois zones répondent assez bien au signal de Niño3. La zone la plus sensible à cette dernière SST est la zone Ouest, avec une corrélation inférieure à  $-0.5$  de mai à septembre ;
- la zone sud est la seule sensible aux anomalies de température de l'atlantique équatorial de juillet à septembre ;
- aucune des trois zones n'est sensible aux anomalies de température du nord ouest atlantique.

L'analyse faite de ces corrélations permet de retenir comme prédicteurs :

- EOF et NINO pour la zone ouest ;
- EOF et NINO pour la zone est ;
- EOF, NINO et EA pour la zone sud est .

## 2.4 ELABORATION DES MODELES

Pour chaque zone nous avons établi quatre modèles. Ces modèles utilisent les mêmes prédicteurs avec des échéances différentes.

### Notations utilisées

- Préc : indice de précipitation saisonnière ;
- NINij (ou ij) : indice Niño3 des mois i et j (ou i, j et k) ;

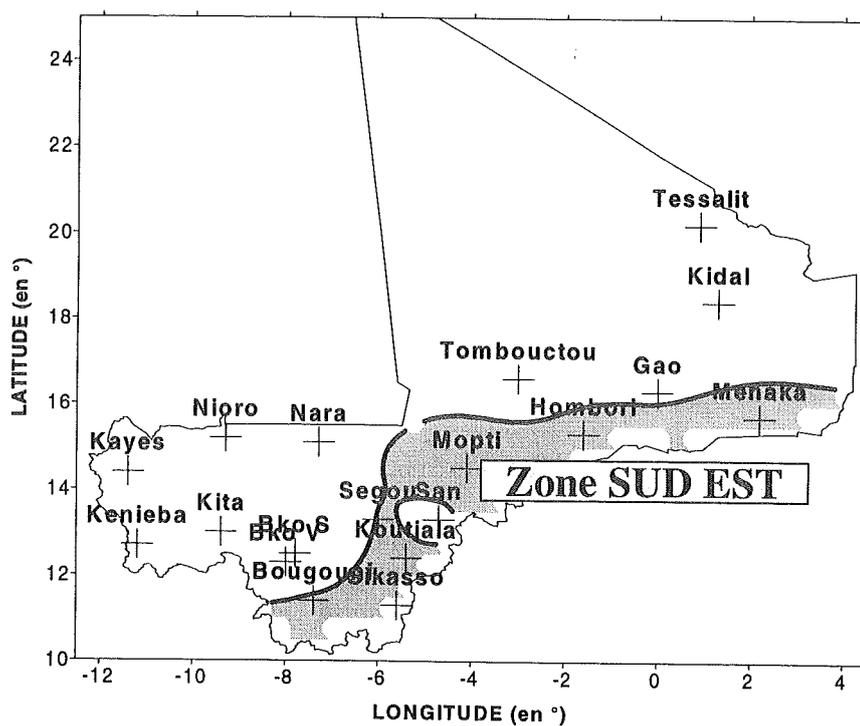
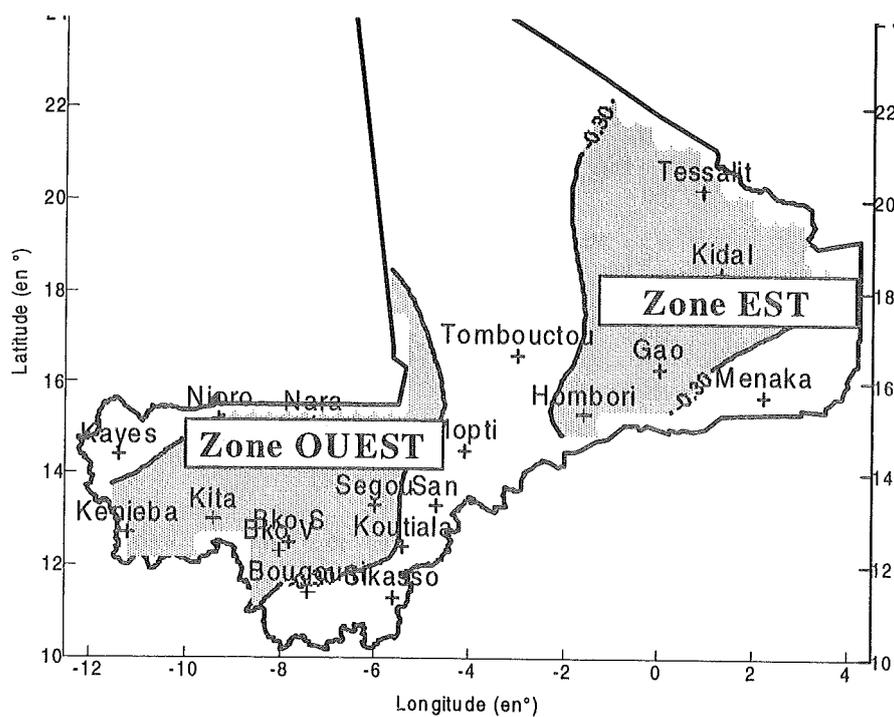
EA et EOF sont notés de façon analogue que NIN, par exemple EA67 représente l'anomalie de température de l'atlantique équatorial pour les mois de juin et juillet.

P.C : pourcentage de coïncidence ;

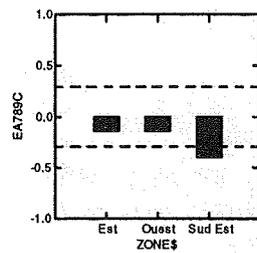
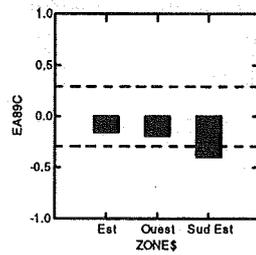
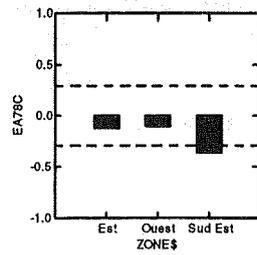
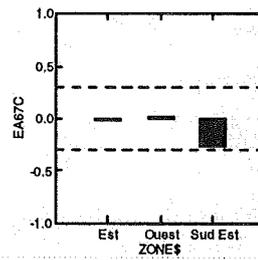
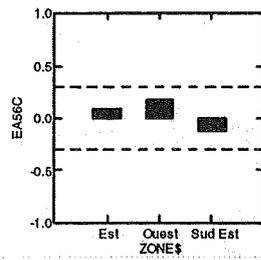
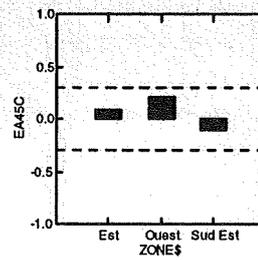
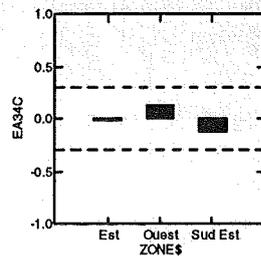
HSS : hit score ;

P.O.D : Probabilité de détection ;

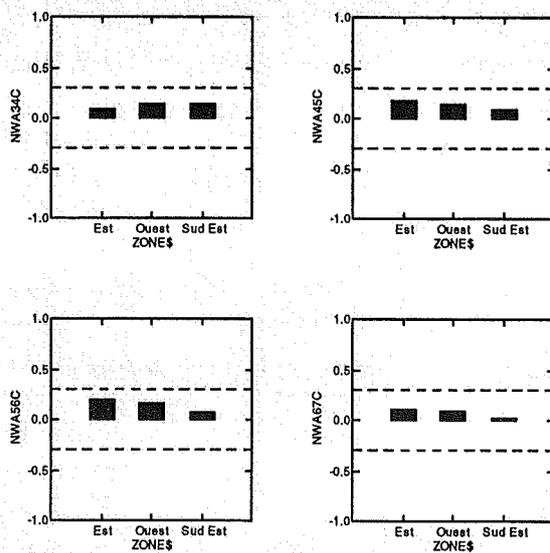
FAR : fausse alerte.

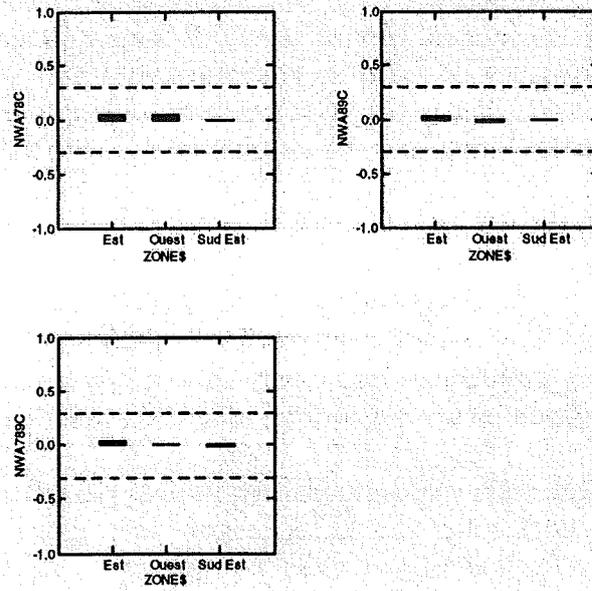


## Corrélations SST Atlantique Equatoriale et Indices de zone

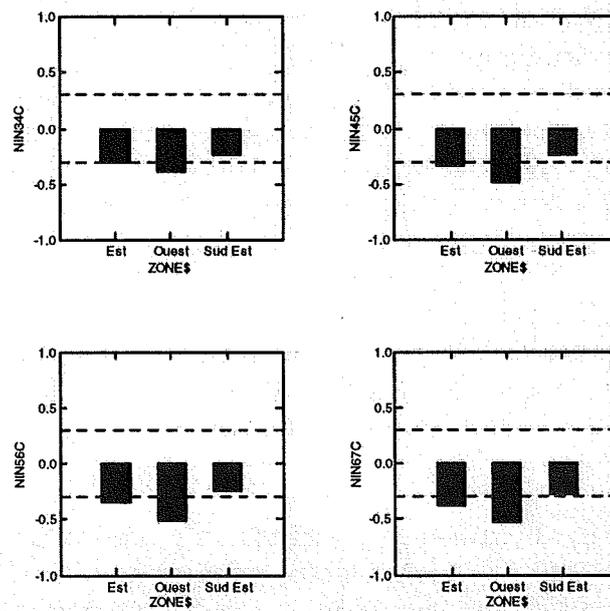


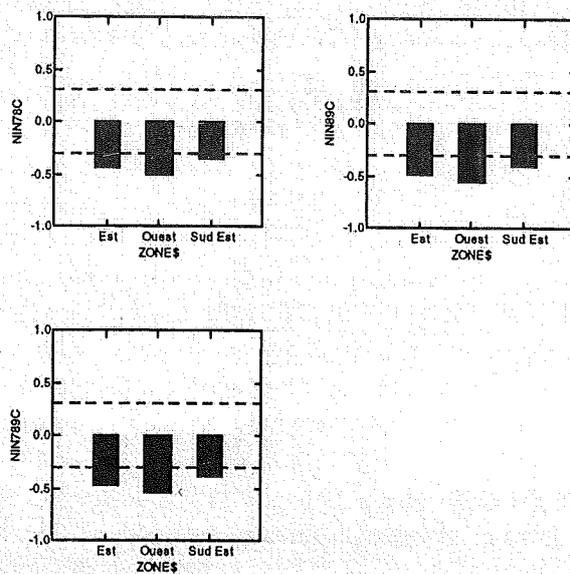
## Corrélations SST Nord Ouest Atlantique et Indices de zone



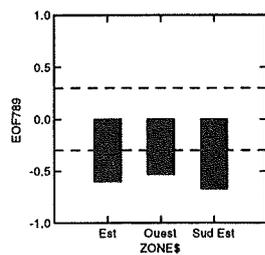
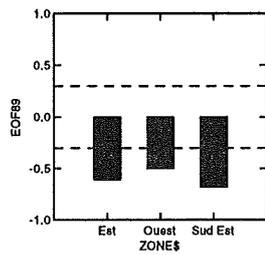
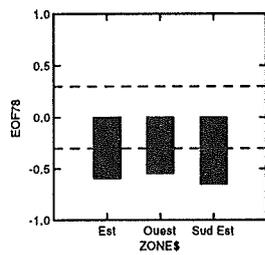
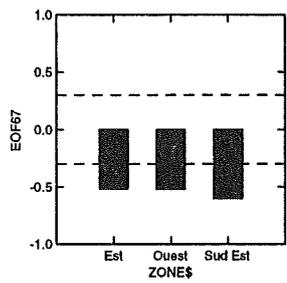
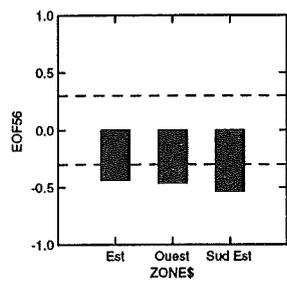
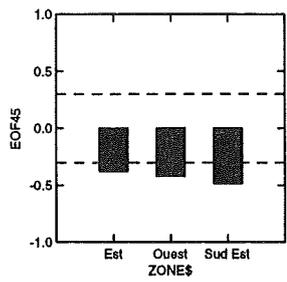
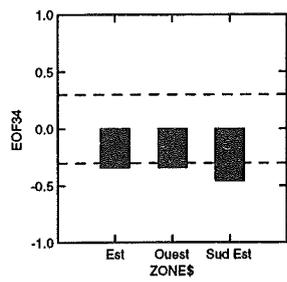


### Corrélations SST Niño3 et Indices de zone





Corrélations EOF3 et Indices de zone



## 2.4.1 TABLEAUX RECAPITULATIFS DES RESULTATS

### ZONE OUEST

MODELES	A. VARIANCE			PERFORMANCE				
	R	F-ratio	P%	SKILL	P.C	POD	FARI <sub>1</sub>	HSS
Modèle1	0,655	11,26	0,0	0,574	47	70	0	21
Modèle2	0,657	11,40	0,0	0,574	59	80	9	39
Modèle3	0,660	11,55	0,0	0,581	50	80	9	30
Modèle4	0,664	11,83	0,0	0,585	47	70	0	21

Modèles retenus : Modèle2 et Modèle4

### ZONE EST

MODELES	A. VARIANCE			PERFORMANCE				
	R	F-ratio	P%	SKILL	P.C	POD	FARI <sub>1</sub>	HSS
Modèle1	0,56	7,30	0,2	0,47	72	50	17	58
Modèle2	0,58	8,03	0,1	0,50	66	50	17	49
Modèle3	0,58	8,23	0,1	0,50	69	50	17	54
Modèle4	0,6	8,84	0,1	0,52	72	50	20	58

Modèles retenus : Modèle3 et Modèle4

### ZONE SUD EST

MODELES	A. VARIANCE			PERFORMANCE				
	R	F-ratio	P%	SKILL	P.C	POD	FARI <sub>1</sub>	HSS
Modèle1	0,61	6,063	0,2	0,505	53	40	25	30
Modèle2	0,62	6,477	0,2	0,503	53	40	25	30
Modèle3	0,68	8,646	0,0	0,584	63	60	29	45
Modèle4	0,69	9,371	0,0	0,583	59	60	27	39

Modèles retenus : Modèle3 et Modèle4

#### Signification des termes utilisés

**R** : coefficient de corrélation multiple ;

**P** : seuil de signification de R ou risque d'erreur ;

**Skill** : corrélation entre valeurs observées valeurs prévues par le modèle ;

**P.O.D** : probabilité de détection de la sécheresse (en pourcentage) ;

### III . CONCLUSION

Après l'analyse des résultats on peut affirmer que les modèles obtenus sont assez stables et donc peuvent être utilisés pour la prévision saisonnière des précipitations au Mali. Le Skill

variant entre 0.5 et 0.6 peuvent être considérés comme assez bon. Un skill dépassant 0.4 est habituellement admis.

Les probabilités de détection de la sécheresse varient entre 60 et 70%. Ce qui signifie que les modèles élaborés pourraient prévoir à l'avance 6 à 7 cas de sécheresses sur 10.

La fausse alerte (du 1<sup>er</sup> degré) qui est la probabilité d'obtenir une saison humide alors qu'elle a été prévue sèche par le modèle est très faible dans les zones Ouest et Est.

Les valeurs obtenues sont de :

- 0 et 9 (environ 1 sur 10) pour les modèles de la zone ouest. Ce qui est très bon comme résultat ;
- 17 et 20 (environ 2 sur 10) pour les modèles la zone Est. Résultat assez bon ;
- 27 et 29 (environ 3 sur 10) pour les modèles la zone Sud Est.

Bien que les résultats soient intéressants, les modèles obtenues méritent d'être validé avec des données de longue série (au moins 50 ans). La prise en compte d'un plus grand nombre de stations fournira aussi un meilleur zonage.

Il est également souhaitable, pour obtenir de meilleurs modèles, que le prévisionniste travaille en étroite collaboration avec des spécialistes d'autres domaines utilisateurs de produits de prévision saisonnière (agronomes, hydrologues, hommes de santé...). Cela aidera non seulement à sélectionner les meilleurs prédicteurs mais aussi à mieux orienter les recherches de façon à prendre en compte les besoins des usagers.

Enfin, nous estimons que cette initiative de ACMAD qui consiste à regrouper les climatologues de la sous-région pour leur donner les rudiments indispensables à des travaux de recherche sur la prévision saisonnière est à saluer.

Nous formulons des vœux pour que des initiatives comme celles-ci soient encouragées et soutenues par les décideurs et les bailleurs de fonds nationaux et internationaux afin d'aider nos chercheurs à être la hauteur du défi qui est :

*'Faire de la Prévision Saisonnière au profit d'un Développement Durable.'*

## Prévision Saisonnière des Précipitations au Niger

**Lélé Mouhamadou ISSA:** Direction de la Météorologie Nationale du Niger, B.P. 218 Niamey (Niger)

**Omar BADDOUR:**

-Chef Programme Prévisions Climatiques et Applications, ACMAD, BP. 13184, Niamey, Niger.

-Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc.

### RESUME

Le présent document contient les résultats des modèles de prévision saisonnière des pluies au Niger. La saison a été définie comme le cumul des pluies des mois de Juillet Août et Septembre (JAS) car ce cumul représente plus de 80% du total annuel. Le travail a consisté à mettre en évidence par la méthode de corrélation, la relation qui existe entre les SST (Température de Surface de Mer) et les précipitations au Niger, à diviser le pays en zones homogènes en tenant compte des stations ayant la même réponse par rapport au signal des SST, à calculer les indices pluviométrique des zones, à construire des modèles et enfin à évaluer la qualité des modèles.

Nous avons utilisé des données de 15 stations synoptiques sur une période allant de 1960 à 1996 et compte tenu des données manquantes, 11 stations seulement ont pu être exploitées. Les résultats nos travaux ont montré que le phénomène El Niño (Pacifique central) et la troisième composante principale de la SST de l'océan global (EOF3) expliquent en partie les précipitations au Niger bien plus que la température de l'océan Atlantique. Nos modèles ont été élaborés à partir de ces deux paramètres.

### ABSTRACT

This document contains the results of seasonal prediction models in Niger using SST as predictors.

The season taken is the cumulated monthly rainfall of July, August and September (JAS). The work consists about:

- 1- Correlation of SST and JAS
- 2- Dividing the country into zones using the results of (1)
- 3- Correlation of SST and zonal indices
- 4- The significant correlation of SST with rainfall indices over the zones give rise to designated models.

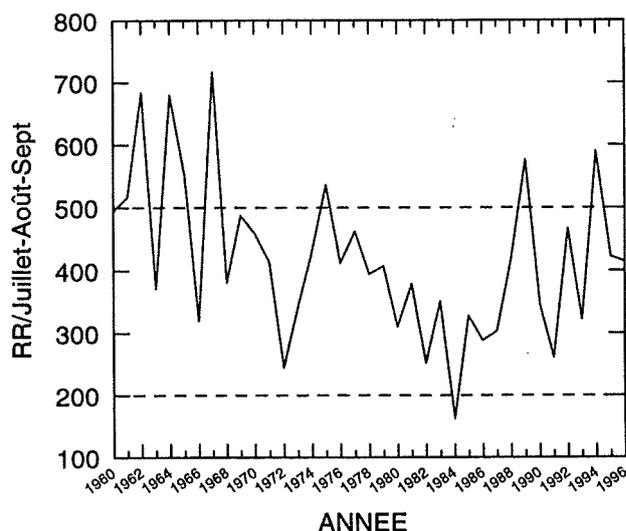
Data were collected from 15 stations across Niger; only 11 stations with complete data were used

## I. Introduction

Le Niger est un pays Sahélien où les 80% de la population est constituée d'agriculteurs et d'éleveurs. La grande variabilité de la pluviométrie à l'origine des sécheresses, affecte considérablement l'économie nigérienne. Il n'est peut être pas nécessaire de rappeler la sécheresse des années 1983 – 1984 qui avait réduit l'économie nigérienne à son plus bas niveau; également la mauvaise pluviométrie de l'année 1997 qui a engendré le départ massif des populations vers les côtes en quête d'une situation meilleure, et cela malgré les efforts que fait le gouvernement dans le cadre de la distribution gratuite de vivre dans les campagnes. C'est là pour nous, l'intérêt de la prévision saisonnière ; car celle-ci mise à la dispositions des usagers finaux pourrait permettre d'accroître le rendement de nos producteurs et sur un autre plan, aider nos gouvernements à prendre le plus vite possible des dispositions nécessaires pour limiter les dégâts dus aux aléas climatiques (Sécheresse, inondation ).

C'est dans ce cadre qu'il faut situer cet atelier organisé par le centre ACMAD auquel le Niger a pris une part active. Pendant le déroulement des travaux, nous avons utilisé comme prédictand les indices standardisés des cumuls des précipitations des mois de **Juillet, Août et Septembre** pour définir notre saison car nous estimons que ce cumul représente plus de 80% du cumul annuel ; et comme prédicteurs, les Températures de surface de la mer (SST) ( Atlantique Pacifique...). Pour faire ce travail nous avons utilisé un micro-ordinateur et un logiciel statistique SYSTAT 7.0 sous Windows.

Exemple de la variabilité des précipitations au Niger (Cas de la station de Niamey Aéro )



## **II- DESCRIPTION GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE DU NIGER**

### **2.1 Description Géographique**

Le Niger est un pays sahélien qui s'étend sur une superficie de 1 267 000 km<sup>2</sup>, situé entre les latitudes 11°33' N et 23°33' N et les longitudes 0° et 16°E. Il est limité au nord par l'Algérie et la Libye, à l'ouest par le Mali et le Burkina Faso, au sud par le Bénin et le Nigeria et à l'est par le Tchad.

Au sud de 16° N, d'Ouest en Est se trouve concentré toute la population du Niger. Le relief dans cette partie, est constitué de plaines et de vallées sauf dans la région du fleuve où l'on rencontre de larges étendues de terre latéritique. Les sols sont sablonneux, désertiques et pauvres en composantes chimiques sauf dans la région du fleuve où l'on rencontre des sols noirs alluviaux et fertiles.

### **2.2 Description Climatique**

Le climat au Niger est régulé par le mouvement du FIT ( Front Intertropical ). Ce front est la zone de contact entre l'air sec tropical et l'air humide équatorial. Le mouvement du FIT et les perturbations associés sont à l'origine de la saison pluvieuse qui commence en moyenne au mois de Juin pour finir au mois d'Octobre. La sécheresse est liée à la présence d'un anticyclone subtropical et au déplacement du FIT vers le sud. Pendant la saison sèche, souffle un vent continental chaud et sec appelé harmattan.

Près de 20°N, commence la zone de sécheresse continue : c'est le désert. Cette région est très aride, ce qui explique l'absence presque totale de végétation sauf près des quelques rares points d'eau appelés Oasis.

### **2.3 Données Disponibles**

#### **2.3.1 Données Pluviométriques**

Les données de précipitations mensuelles des différentes stations ont été fournies par la Direction de la Météorologie Nationale du Niger ( Division de la Climatologie ). Ces données ont été directement copiées de la banque de données CLICOM du dit service et converties en format SYSTAT. Etant donné que toutes les stations ne possèdent pas une période commune de données, nous avons choisi la période 1960 à 1996 pour avoir le maximum de stations synoptiques. La carte N°1 nous montre les noms et l'emplacement des stations utilisées. On peut remarquer qu'elles sont toutes situées le long de la bande sud-ouest à sud-est, c'est à dire la région la plus arrosée où a lieu l'essentiel des activités socio-économiques du pays.

#### **2.3.2 Données de Température de surface la Mer ( SST )**

Les anomalies de température de surface de la mer ont été fournies par le centre ACMAD. Il s'agit des anomalies de la température de l'océan Atlantique équatoriale (EA), des anomalies de la température d'une région de l'océan Atlantique Nord-Ouest (NW), des anomalies de la température de l'océan Pacifique Niño3 et de la troisième composante principale de la SST de l'océan global ( EOF 3 ). La figure 1 montre les zones des relevées de température pour différents océans.

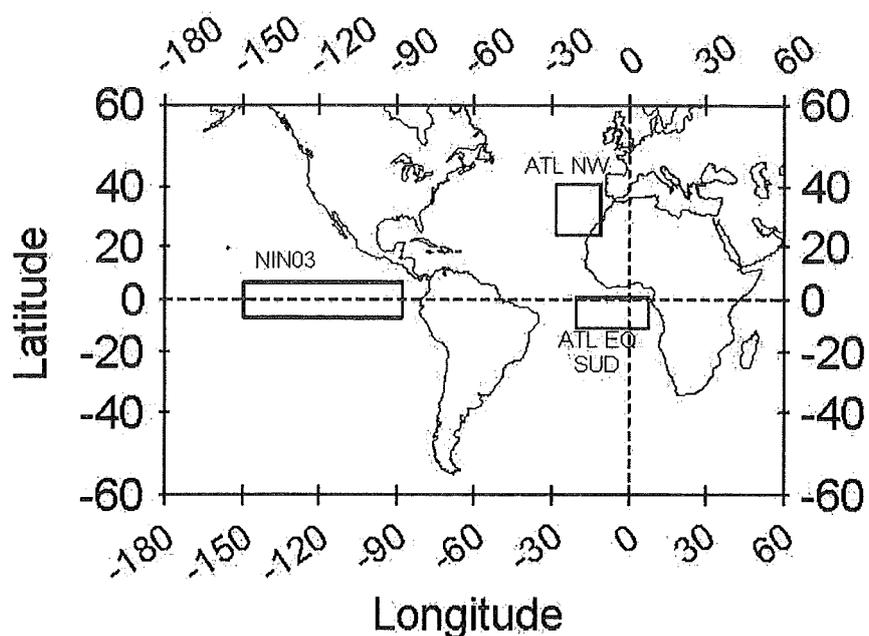
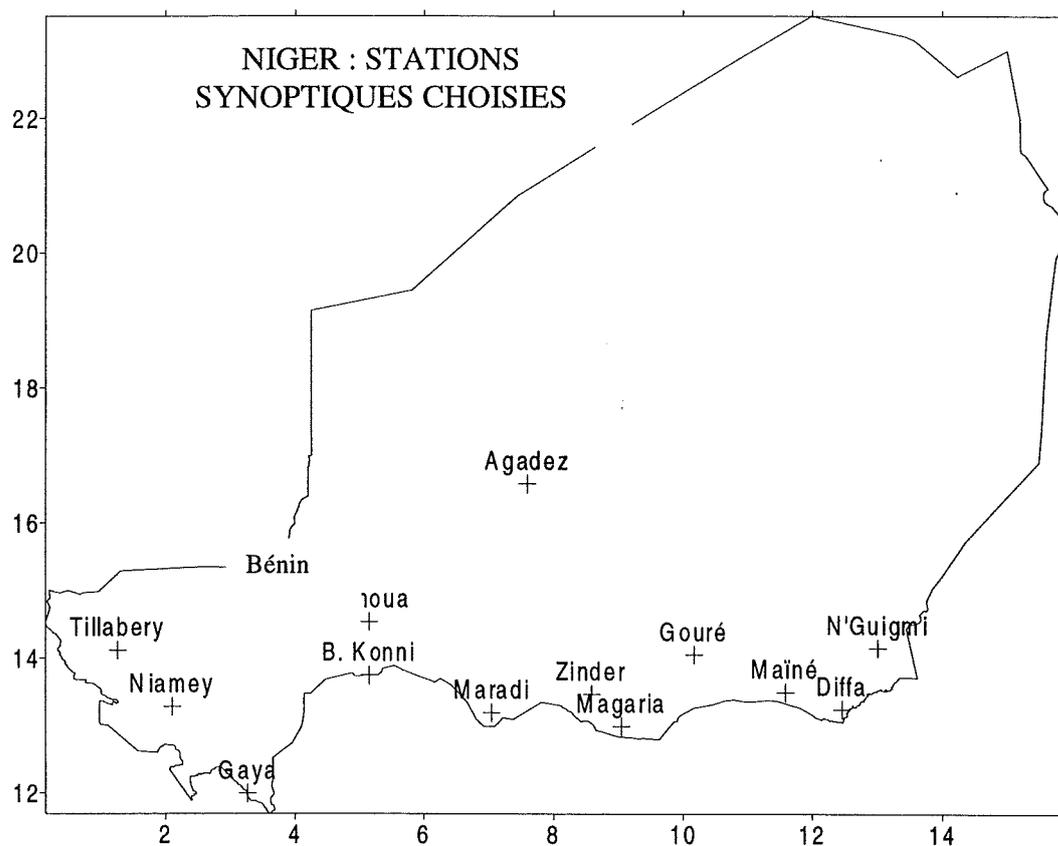


Figure 1 Choix des SST



Carte N° 1 : Position des Stations de travail

Le tableau 1 illustre la variabilité temporelle de la pluviométrie annuelle et saisonnière (**Juillet – Août – Septembre**) pour les stations choisies. On peut constater que le coefficient de variation des endroits à faible pluviométrie est beaucoup plus élevé tant pour le total

annuel que pour le total saisonnier. Il est de 0.94 (pour l'année) et 1.04 (pour la saison), par exemple, pour la station de Bilma. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 300 et 700 mm dans 64% des stations choisies et entre 100 et 300 mm pour les 28%. La station la moins arrosée est celle de Bilma avec une moyenne annuelle de 10.76 mm et la plus arrosée reste toujours celle de Gaya avec une moyenne de 795.07 mm.

La date moyenne de démarrage de la saison pluvieuse tourne autour de la première décennie du mois de Juin dans plus de 80% des stations choisies. Cette date moyenne a été déterminée grâce à la méthode du Professeur Omotosho du Nigéria.

STATION			TOTAL ANNUEL 1960-1996			TOTAL SAISONNIER ( JAS ) 1960-1996		
Stations	Lat	Long	Moy	SD	CV	Moy	SD	CV
Agadez	16°58'	7°59'	116.592	48.21	0.41	99.716	45.51	0.45
Bilma	18°41'	12°55'	10.768	10.12	0.94	8.92	9.35	1.04
Birni N'konni	13°48'	5°15'	488.762	102.89	0.21	375.851	99.64	0.26
Diffa	13°19'	12°37'	272.251	103.37	0.38	248.168	104.27	0.42
Gaya	11°59'	3°30'	795.076	131.26	0.16	562.484	121.48	0.21
Gouré	13°59'	10°18'	278.264	102.36	0.36	252.088	90.24	0.35
Maradi	13°28'	7°25'	495.562	114.03	0.25	401.608	114.87	0.28
Mainé Soroa	13°14'	11°59'	350.697	114.03	0.32	304.432	110.70	0.36
Magaria	12°59'	8°56'	490.254	204.34	0.41	442.074	132.06	0.29
N'guigmi	14°15'	13°07'	194.270	97.42	0.50	176.11	87.80	0.49
Niamey Aéro	13°30'	2°08'	543.738	138.52	0.25	418.716	126.60	0.30
Tahoua	14°54'	5°18'	370.186	107.95	0.29	285.938	93.14	0.32
Tillabéry	14°12'	1°27'	399.846	107.20	0.26	316.12	90.47	0.28
Zinder	13°48'	8°59'	406.932	110.86	0.27	343.33	99.77	0.29

Tableau 1 :Pluviométrie annuelle moyenne et pluviométrie saisonnière moyenne des stations sélectionnées.

### III. APPROCHE DE LA PREVISION

#### 3.1 Principe de la Prévision

Le principe est de voir la prévisibilité des précipitations sur notre pays à partir des températures de surface de la mer (SST).

Notre travail a consisté dans un premier temps à standardiser les données saisonnières **JAS (Juillet Août Septembre)** pour chaque station (fichier prédictand) puis à la corrélation de ce fichier avec les prédicteurs disponibles à savoir, les anomalies de la SST des mois de **Mars/Avril, Avril/Mai, Mai/Juin, Juin/Juillet, Juillet/Août et Juillet/Août/Septembre** sur les océans mentionnés plus haut. Le but est d'apprécier le degré de relation entre les SST et la pluviométrie au Niger. Les résultats obtenus après la corrélation sont représentés sur les graphes 1, 2 et 3.

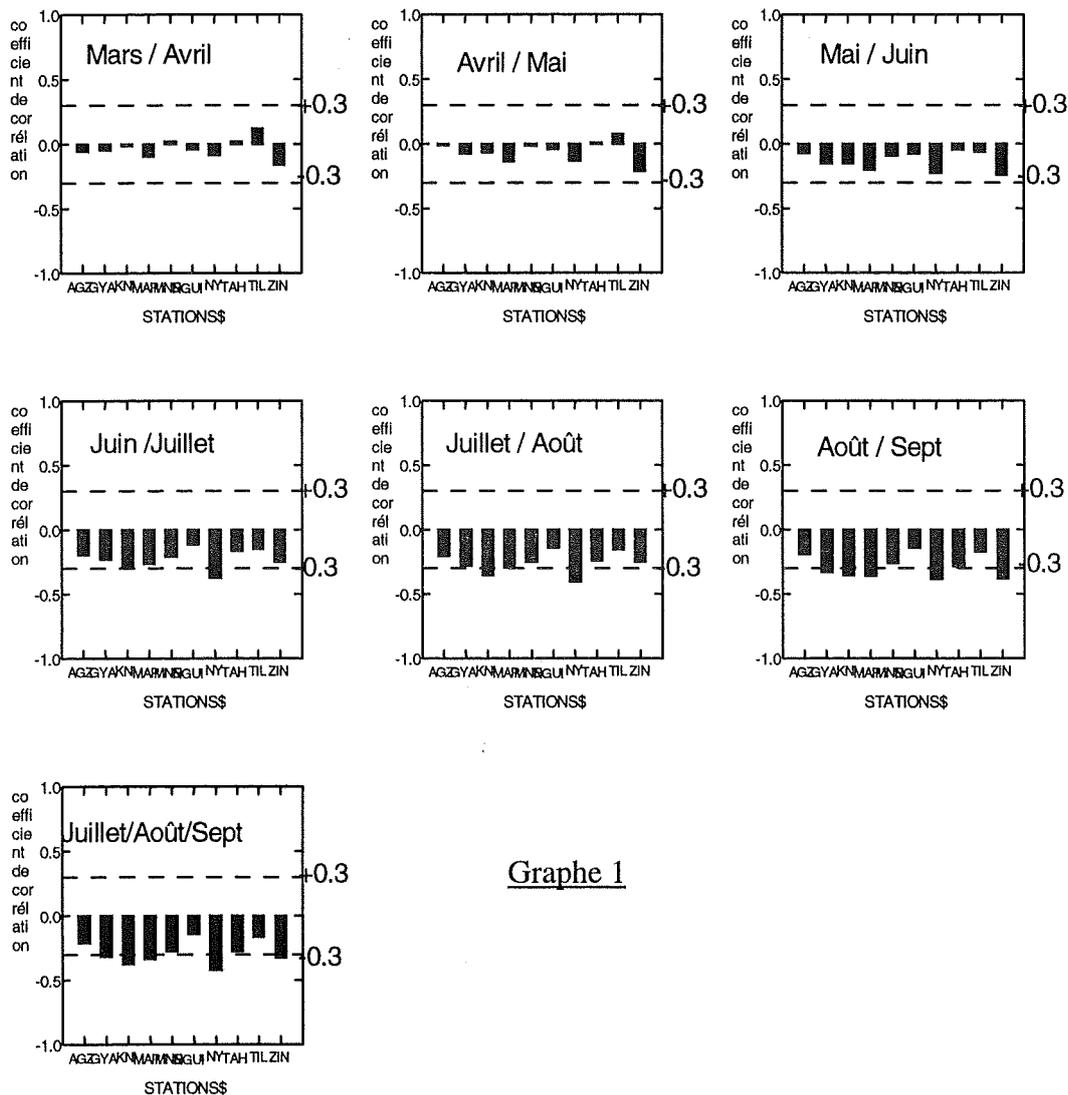
#### 3.2 Corrélation entre l'Indice Saisonnier (JAS) et SST Atlantique équatoriale (EA)

Les résultats obtenus montrent des corrélations négatives dès les mois de Mars/Avril sauf pour la station de Tillabéry qui présente une corrélation positive. En général, ces corrélations sont faibles, mais augmentent en valeur au fur et à mesure que l'on progresse dans le temps.

On remarque que les corrélations des mois de juillet/Août sont significatives ( $> -0.3$ ) mais il nous est impossible de considérer comme prédicteur les SST de ces mois puisque la saison pluvieuse a déjà commencée ; de plus, la température l'Atlantique équatoriale n'est pas une valeur prévue mais mesurée.

Corrélation JAS / SST Atlantique Equatoriale

( Niger )

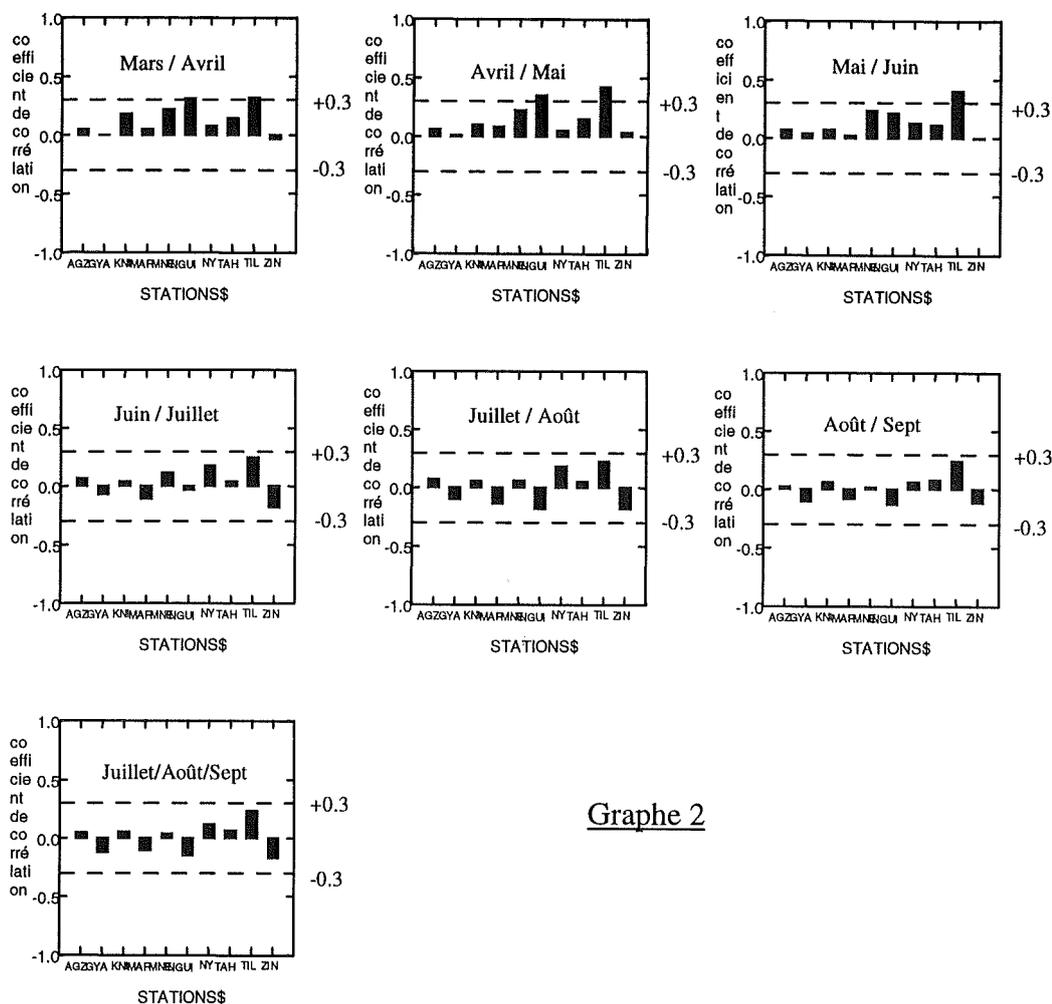


Graphe 1

### 3.3 Corrélation entre l'indice saisonnier (JAS) et SST Atlantique Nord ouest (Atl NW)

Contrairement à celle de l'Atlantique équatorial, la corrélation avec la SST de l'Atlantique Nord-Ouest donne des valeurs positives mais pas très significatives. On peut remarquer que le signal est un peu faible de Mars à Septembre. Nous pouvons donc conclure que la SST de l'Atlantique Nord-Ouest n'explique pas la variation de la pluviométrie du Niger.

Corrélation JAS / SST Nord ouest Atlantique ( Niger )



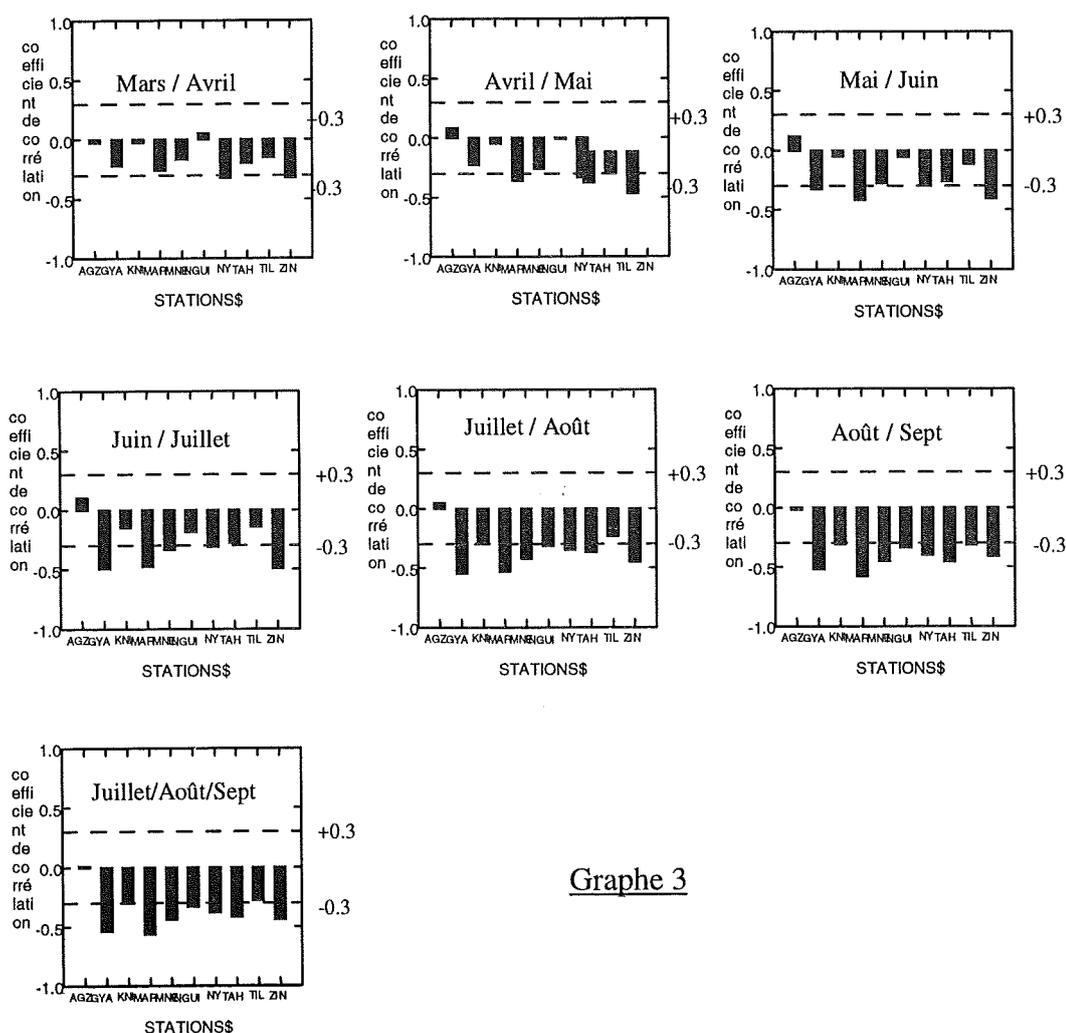
Grphe 2

### 3.4 Corrélation entre l'indice saisonnier et Niño3

La corrélation donne ici des valeurs négatives et significatives à partir de Mars/Avril. Cette corrélation devient de plus en plus significative au fur et à mesure que la saison pluvieuse s'installe progressivement. 99% des stations retenus présentent des corrélations  $\geq -0.3$  ; seule la station d'Agadez située au Nord du pays ne répond pas au signal El Niño3. Nous pouvons donc dire que le phénomène El Niño3 explique en partie la pluviométrie au Niger, ainsi el Niño3 sera retenu comme prédicteur pour nos différents modèles de prévision.

Au regard de tous ces résultats, nous pouvons retenir comme prédicteurs la température de surface de la mer de l'océan Atlantique équatoriale pour quelques stations seulement et Niño3 pour toutes les stations choisies.

Corrélation JAS / NINO3 ( Niger )



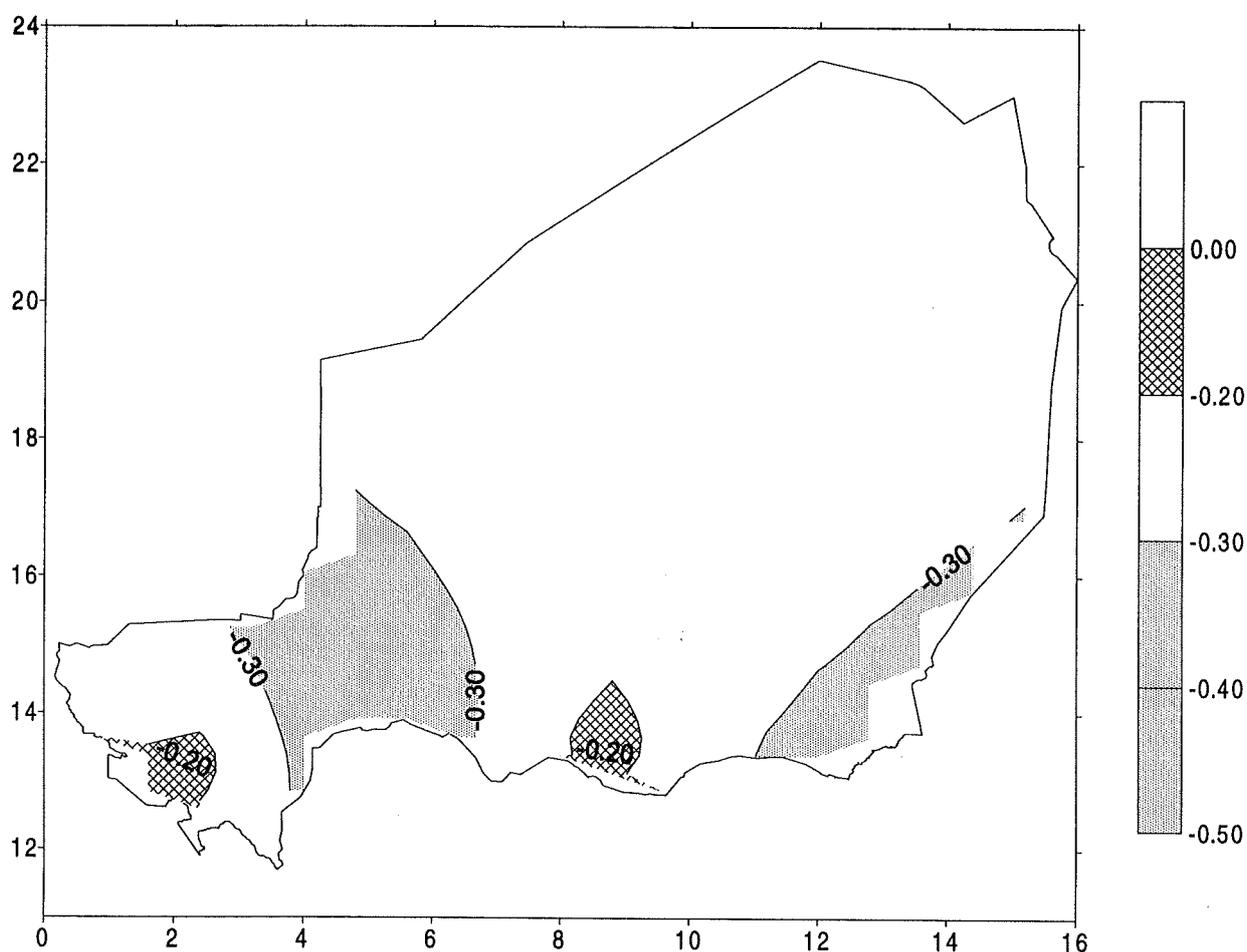
Grappe 3

## IV. ZONAGE

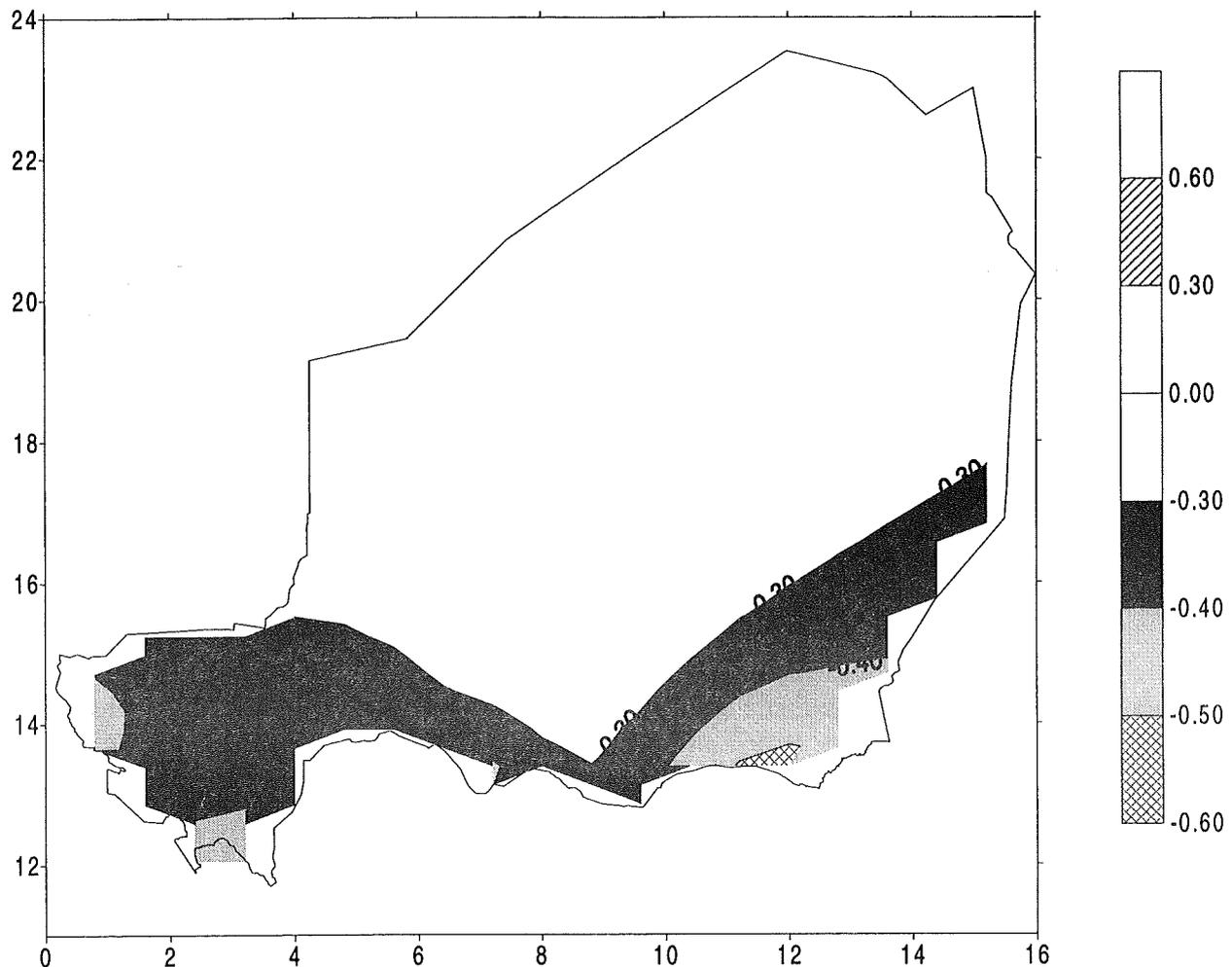
### 4.1 Principe

Le zonage d'une région dépend du paramètre utilisé ; on peut donc avoir un zonage en fonction des températures, du vent, de l'humidité, de la pluviométrie, etc... Dans notre cas, la pluviométrie a été notre élément de base pour la détermination des zones d'étude. Pour ce faire, on trace sur une carte grâce au logiciel SUFER les iso-corrélations obtenus à partir des différentes corrélations entre les indices de pluie saisonnière par station et les prédicteurs retenus.

L'objectif est de localiser les zones qui répondent de la même manière au signal des SST. Les cartes 2 et 3 montrent respectivement le résultat obtenu avec l'Atlantique équatoriale et Niño3.



**Carte 2 : Corrélation entre les indices standardisés de pluie (JAS) et les anomalies de la SST sur l'Atlantique Equatoriale**

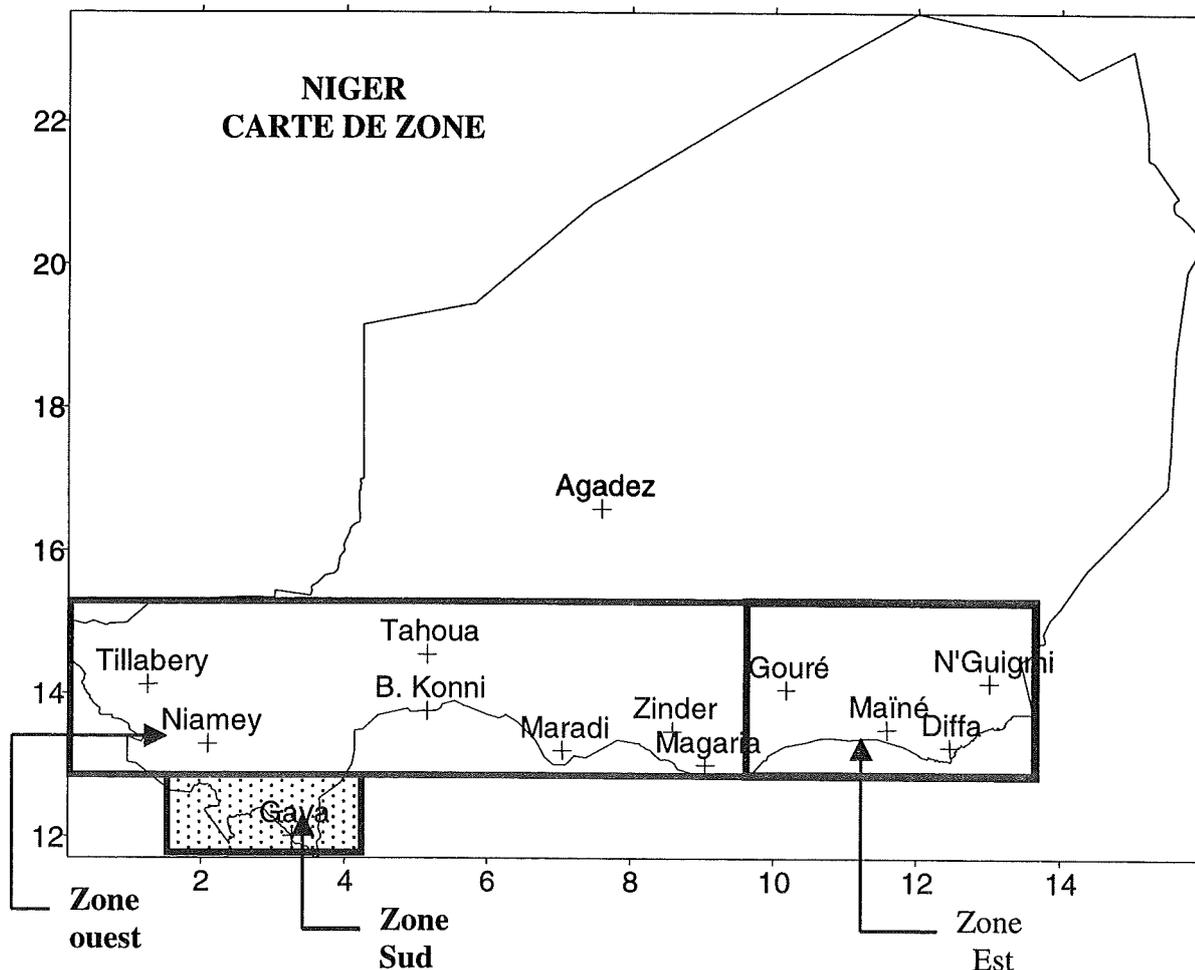


Carte 3 : Corrélation entre les indices standardisés de pluie (JAS) et Niño3

L'analyse de ces résultats nous montre que pour le cas de l'Atlantique équatoriale, le pays est influencé seulement dans sa partie Ouest et l'extrême Est. Le cas de Niño3 paraît beaucoup plus intéressant, car on remarque que l'iso-corrélation  $-0.3$  couvre toute la zone allant d'Ouest au Sud-est avec un fléchissement au niveau de la région de Zinder. Cette configuration du phénomène El Niño sur notre pays nous donne déjà le découpage en zone. On pourrait retenir dans un premier temps deux zones : une zone Ouest et une zone Est. Mais si nous tenons compte du découpage géographique existant, à savoir qu'on peut considérer le Sahel à partir du  $13^{\circ}\text{N}$ , nous sommes donc contraint à séparer la zone sahélienne de la zone Soudano-sahélienne. Ainsi, nous avons retenu les trois zones suivantes:

- **Zone Ouest** (zone 1) regroupant toutes les stations d'Ouest et du Sud centre du pays.
- **Zone Est** (zone 2) regroupant toutes les stations du Sud-est
- **Zone Sud** (zone 3) regroupant toutes les stations de l'extrême Sud du pays.

La carte N°4 matérialise les différentes zones trouvées.



**Carte 4 :** Détermination des zones pluviométriques

#### 4.2 Calcul des indices des zones

Etant donné qu'il n'est pas commode de faire la prévision pour chaque station, nous avons jugé utile de déterminer un indice par zone en faisant la moyenne des indices des stations situées dans une même zone. Nous obtenons donc pour chacune des zones un indice qui constitue notre prédictand final. Pour obtenir les indices de zone, on a considéré la période 1961 à 1990 comme la normale pour chaque station. La moyenne ( $M$ ) et l'écart Type ( $ET$ ) ont été calculés sur cette période. L'indice pluviométrique d'une année donnée, pour une station donnée est obtenu grâce à la formule suivante :

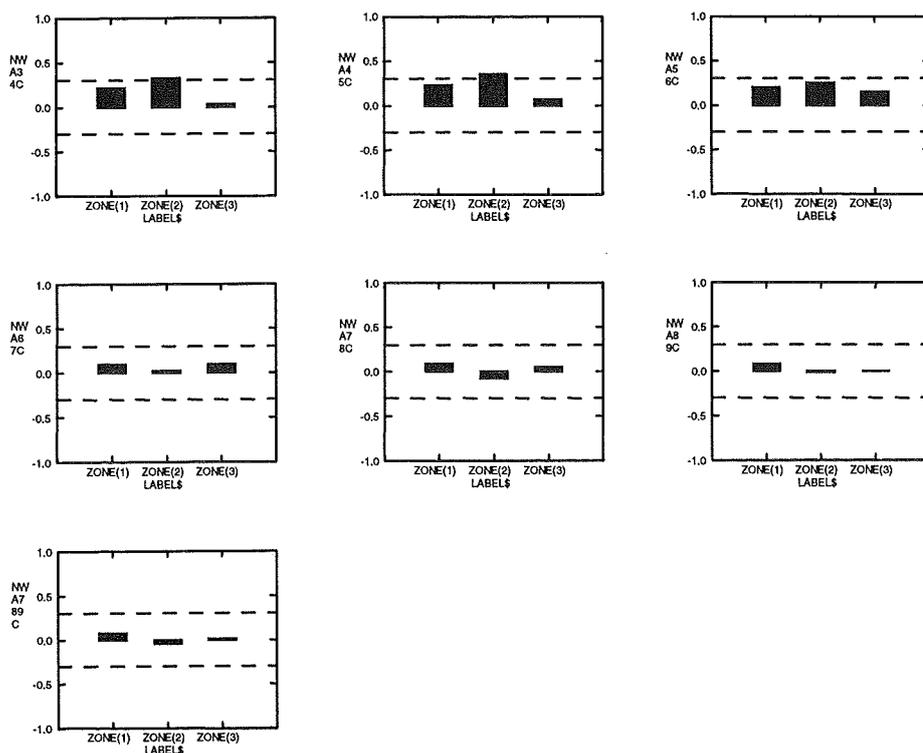
$$Indice = \frac{RR(JAS) - M}{ET}$$

Où  $RR(JAS)$  est le total saisonnier des mois de Juillet, Août et Septembre.

### 4.3 Corrélation entre SST et indices régionaux

Les indices des zones ont été corrélés avec les différentes températures de surface de la mer et la troisième composante principale de la SST de l'océan global (EOF3). Ce nouveau prédictor tient compte de la variation inter annuelle de la température de l'océan global. Les résultats obtenus sont représentés dans les graphes suivants :

Corrélation Indice Zonal des JAS / Atl.NW



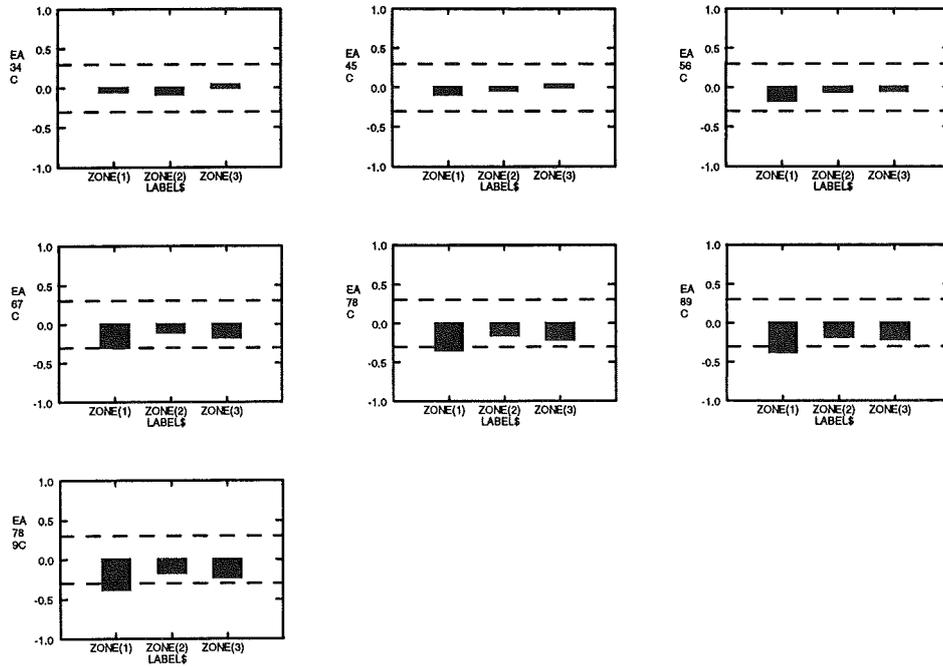
- La corrélation ainsi obtenue n'est pas très significative pour les zones Ouest et Sud indiquées respectivement sur les graphes par zone(1) et zone(3), et cela du début des mois de Mars/Avril jusqu'aux mois de Juillet/Août/Septembre. Par contre, la zone(2) c'est à dire celle d'Est nous présente pour les mois de Mars/Avril et Avril/Mai des corrélations supérieures à 0.3. Cette valeur de corrélation décroît au fur à mesure que la saison pluvieuse s'installe.

- Le cas de la SST de l'Atlantique équatoriale donne aussi des résultats non significatifs mais à la différence de celle de l'Atlantique Nord Ouest, la corrélation croît au fur et à mesure que s'installe la saison.

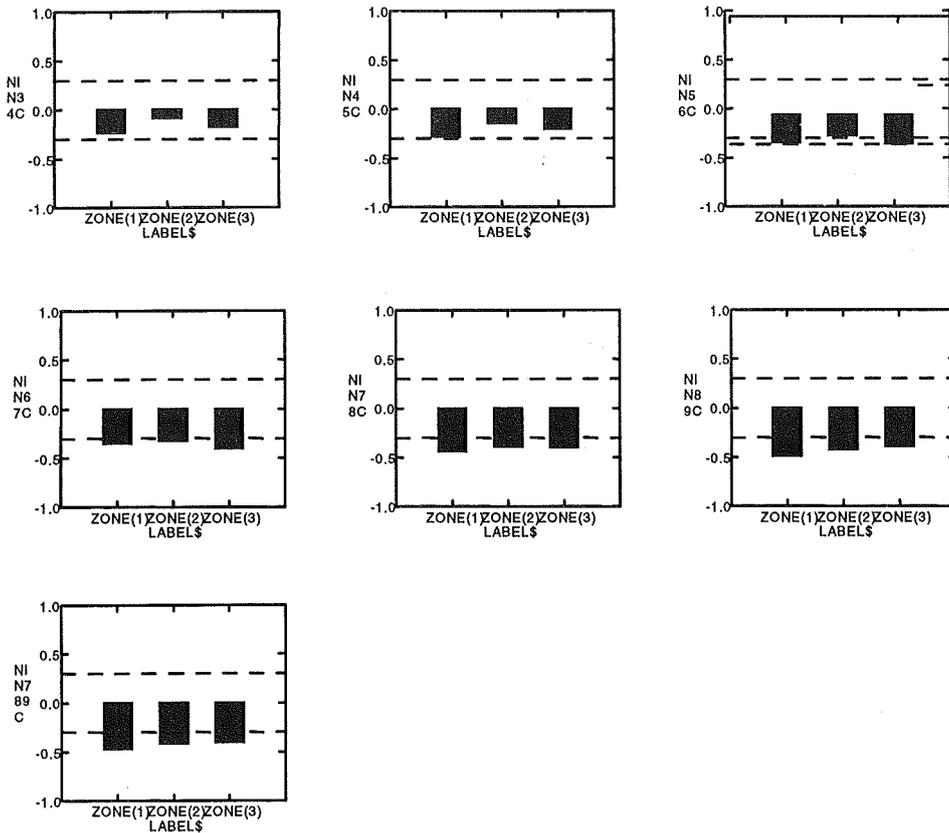
- Le cas de Niño3 montre quant à lui une corrélation significative pour les trois zones. Cette corrélation devient plus importante quand on évolue dans la saison. Le signal le plus fort s'observe pour les mois de Juillet/Août/Septembre et cela pour les trois zones considérées.

- l'EOF 3 donne une corrélation semblable à celle de Niño3, mais son signal est plus fort dès les mois de Mars/Avril pour la zone ouest que pour les autres zones. En général, ce nouveau prédictor pourrait en partie expliquer les pluies dans notre pays.

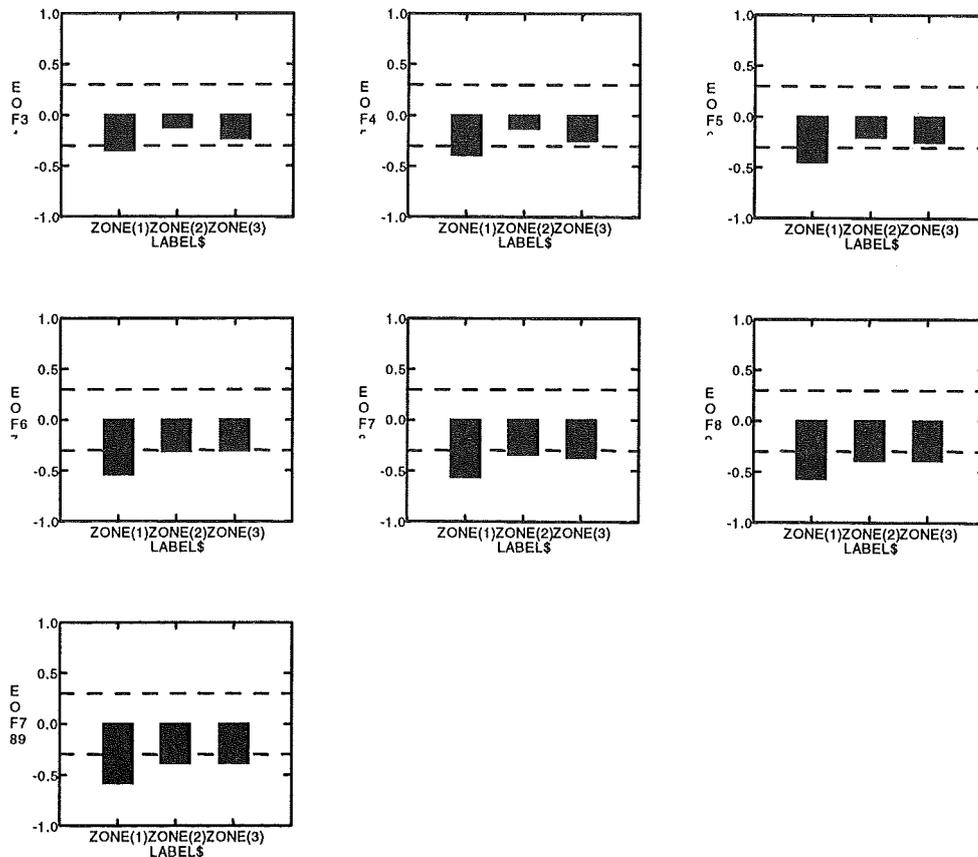
### Corrélation Indice Zonal Des JAS / SST Atl. Eq.



### Corrélation Indice Zonal des JAS / Nino3



## Corrélation Indice Zonal des JAS / EOF3



Vu les différents résultats obtenus, nous sommes passés à la modélisation en retenant principalement comme prédicteurs les indices Niño3, l'EOF3 puis dans un cas particulier l'Atlantique Equatoriale.

### V. MODELISATION

Les modèles obtenus sont les suivants :

$$\text{ZONE OUEST} \Rightarrow \text{RR}_p = \text{CONSTANT} + \text{NIN89T} + \text{EOF45}$$

$$\text{ZONE EST} \Rightarrow \text{RR}_p = \text{CONSTANTE} + \text{NIN789} + \text{EOF45}$$

$$\text{ZONE SUD} \Rightarrow \text{RR}_p = \text{CONSTANTE} + \text{NIN789} + \text{EOF45} + \text{EA45}$$

$$\text{RR}_p = \text{CONSTANTE} + \text{NIN789} + \text{EOF45}$$

Où  $\text{RR}_p$  est l'indice de précipitation prévue

### VI. EVALUATION DES MODELES

$$\text{ZONE OUEST} \Rightarrow \text{RR}_p = \text{CONSTANT} + \text{NIN789T} + \text{EOF45}$$

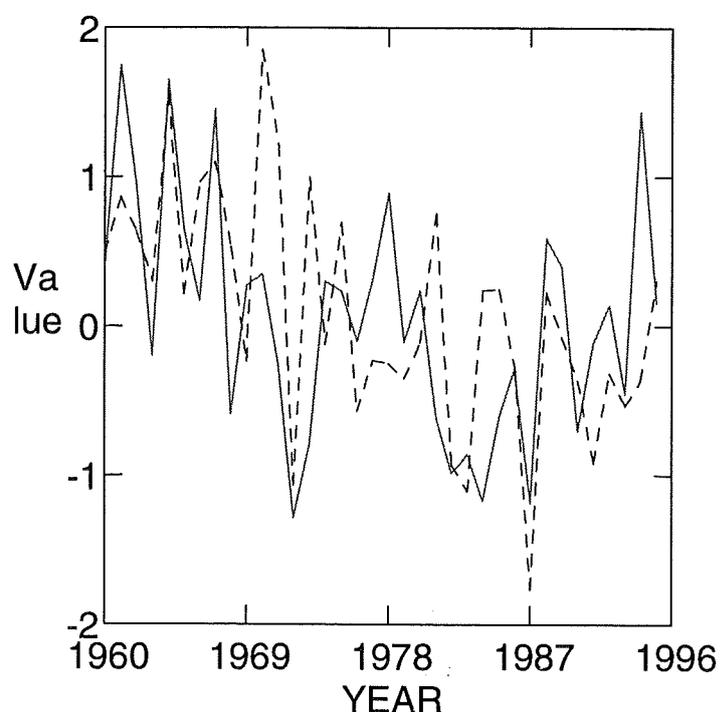
$$\text{RR}_p = 0.286 - 0.055 * \text{NINO789} - 0.132 * \text{EOF45}$$

avec un coefficient de corrélation multiple  $R=0.575$  et un Skill de 0.469

L'évaluation de ce modèle nous donne comme « SKILL » = 0.469. Ce « SKILL » exprime le coefficient de corrélation obtenu entre les indices prévus et les indices observés. Les

Scientifiques ne sont pas généralement d'accord sur la valeur de ce skill. Certains estiment qu'un modèle est acceptable avec un skill de 0.3 d'autres par contre non ; ce pourquoi nous ne pouvons pas encore nous prononcer sur la valeur de ce skill trouvé. L'analyse de la performance de ce modèle pourra nous permettre de juger sa qualité.

Courbe comparative des indices prévus et les indices observés de la zone Est  
(----- Prévu ——— Observé)



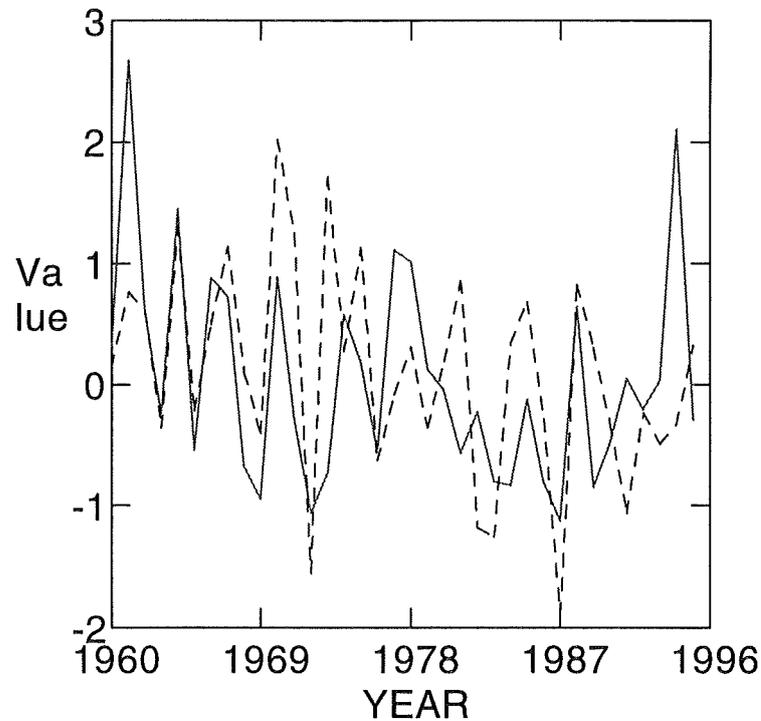
**ZONE EST  $\Rightarrow RR_p = \text{CONSTANTE} + NIN789 + EOF45$**

$$RR_p = 0.198 - 0.069 * NIN789 - 0.056 * EOF45$$

avec un coefficient de corrélation multiple  $R=0.51$  et un Skill de 0.401.

Le « SKILL » étant de 0.401 on peut remarquer que les deux courbes suivent presque les mêmes allures. Néanmoins, pour les années 1970 et 1972, notre modèle a prévu des valeurs nettement supérieures à celles observées. Pour l'année 1987, la prévision du modèle a sous-estimé l'observée. Par tout ailleurs, la prévision est acceptable.

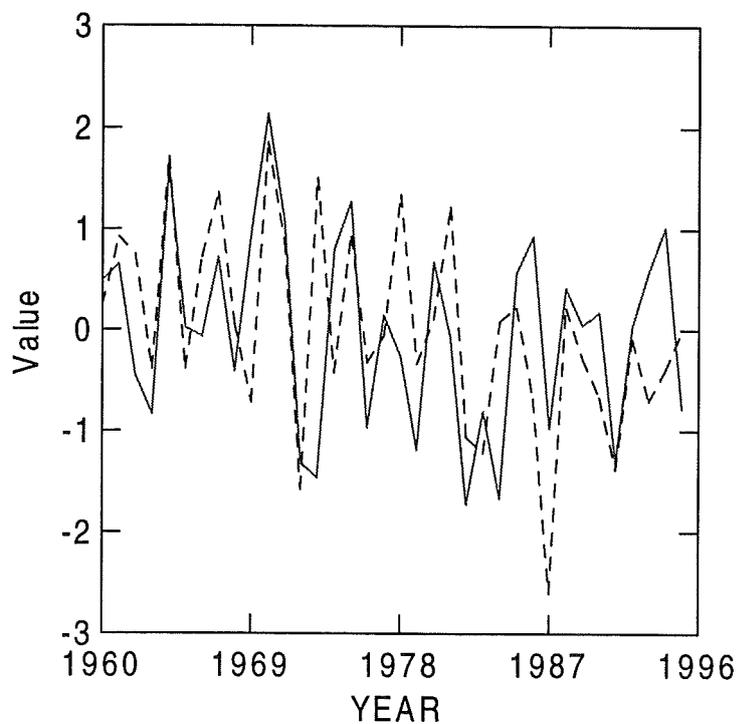
Courbe comparative des indices prévus et les indices observés de la zone Est  
 (----- Prévu ——— Observé)



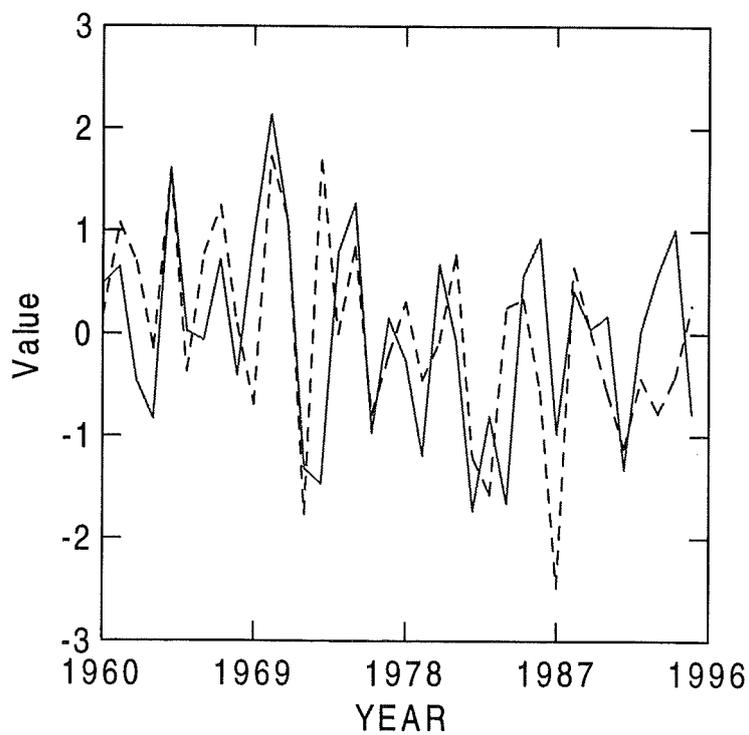
**ZONE SUD  $\Rightarrow RR_p = \text{CONSTANTE} + NIN789 + EOF45 + EA45$**   
 $RR_p = 0.289 - 0.083*NIN789 - 0.034*EOF45 - 0.102*EA45$   
 avec un coefficient de corrélation multiple  $R = 0.595$  et un Skill de 0.456.

Le graphe ci-dessus nous montre le résultat obtenu lors de la cross validation. L'analyse de ce graphe nous montre que les deux courbes tendent à se superposer. Seule l'année 1987 nous donne une prévision d'indice qui sous estime l'indice observé puis vers la fin de la série, la courbe des valeurs observées montre une tendance à la hausse alors que celle des valeurs prévues montre une tendance à la baisse.

Courbe comparative des indice observés sur la zone Sud et les indices estimés par le modèle1 de la même zone( ----- Prévu \_\_\_\_ Observé)



Courbe comparative des indice observés sur la zone Sud et les indices estimés par le modèle2 de la même zone( ----- Prévu \_\_\_\_ Observé)



$$RR_P = \text{CONSTANTE} + \text{NIN789} + \text{EOF45}$$

$$RR_P = 0.215 - 0.081 * \text{NIN789} - 0.101 * \text{EOF45}$$

avec un coefficient de corrélation multiple  $R = 0.578$  et un Skill de 0.476.

Le résultat de la cross validation nous donne un « skill » de 0.476. L'analyse du graphe ci-dessus montre que les deux courbes s'épousent du début de la série jusqu'à la fin. Tout de même, on remarque une sous estimation des indices prévus pour l'année 1987 et l'année 1995 comparé à leurs indices observés.

Si nous faisons la comparaison entre les résultats obtenus par les deux modèles de la même zone (sud), on ne remarque pas une différence significative. Les deux modèles ont ensemble prévu des indices de valeur inférieure à celle observée pour les 1987 et 1995.

Cette ressemblance des deux modèles peut s'expliquer par le fait que l'information qu'apporte la température de l'océan Atlantique Equatoriale sur la pluviométrie au Niger est négligeable comparativement à celle qu'apporte Niño3.

## VII. PERFORMANCE DES MODELES

La dernière étape de notre travail consiste à juger la performance de nos modèles ; nous avons à cet effet, divisé la série des indices de chaque zone en trois catégories de même que la série des indices prévus. Nous obtenons pour chacune des zones, une catégorie sèche, une catégorie normale et une catégorie humide. Le but est de chercher pour chaque catégorie le modèle le plus apte à détecter les cas de saison sèche, de saison normale ou de saison humide. La table de contingence nous permet de tester la performance d'un modèle. Pour cela, nous avons défini des notions sur lesquelles nous avons travaillé. Les résultats obtenus sont présentés de la façon suivante :

### Exemple d'une table de contingence et quelques définitions

	$P_S$	$P_N$	$P_H$	
$O_S$	$N_{11}$	$N_{12}$	$N_{13}$	$T_1$
$O_N$	$N_{21}$	$N_{22}$	$N_{23}$	$T_2$
$O_H$	$N_{31}$	$N_{32}$	$N_{33}$	$T_3$
	$T_{11}$	$T_{22}$	$T_{33}$	$T$

Pourcentage de coïncidence =

$$(N_{11} + N_{22} + N_{33}) / T$$

$$\text{POD (cas sécheresse)} = N_{11} / T_1$$

$$\text{FAR (1<sup>er</sup> ordre)} = N_{31} / T_{11}$$

- Pourcentage de Coïncidence (%C): C'est la somme des éléments de la diagonale de la table de contingence divisée par la taille (T) de la série utilisée.

- POD ou Probabilité de Détection : Ici, on s'intéresse à un phénomène spécifique donné ; cela peut être par exemple la sécheresse comme dans notre cas. Ce pourcentage explique donc le nombre de cas (d'un phénomène retenu) que le modèle pourrait prévoir.

- FAR ou Probabilité de fausse Alerte : Nous pouvons avoir une FAR de 1<sup>er</sup> ordre ou de 2<sup>nd</sup> ordre. Le FAR est du premier ordre lorsque par exemple on prévoit une sécheresse alors que qu'on a observé une année humide

- Le HIT SCORE : C'est la probabilité qui compare la performance d'un modèle à celle d'un modèle de hasard. Un modèle avec un Hit score de 1 est un modèle parfait ce qui n'existe pas.

- Résultats De L'analyse De La Table De Contingence

Pour chacune de ces tables ci-dessous, on trouvera les valeurs de la probabilité de coïncidence, de la probabilité de détection, de la probabilité de fausse alerte ainsi que du Hit Score. Les résultats obtenus sont encourageants car les probabilités de détection dépassent les 50% et celles de la fausse alerte varient entre 0 et 33% donc faibles.

### MODEL ZONE OUEST $\Rightarrow RR_p = \text{CONSTANTE} + \text{NIN789T} + \text{EOF45}$

Table de contingence

	Ps	Pn	Ph	Total
Os	7	2	3	12
On	4	5	3	12
Oh	1	5	6	12
Total	12	12	12	36

**%C = 50%**  
 POD= 58%  
 FAR= 8%  
 H.S= 25%

### MODELE ZONE EST $\Rightarrow RR_p = \text{CONSTANTE} + \text{NIN789T} + \text{EOF45}$

Table de contingence

	Ps	Pn	Ph	Total
Os	4	5	3	12
On	2	6	4	12
Oh	0	5	7	12
Total	6	16	14	36

**%c = 47 %**  
 POD = 33%  
 FAR = 0%  
 H.S = 20%

### MODELE ZONE SUD $\Rightarrow RR_p = \text{CONSTANTE} + \text{NIN789T} + \text{EOF45} + \text{EA45T}$

Table de contingence

	Ps	Pn	Ph	Total
Os	5	5	2	12
On	1	8	3	12
Oh	3	3	6	12
Total	9	16	11	36

**%c = 53 %**  
 POD = 42%  
 FAR = 33%  
 H.S = 30%

**MODELE(2) ZONE SUD  $\Rightarrow RR_D = \text{CONSTANTE} + \text{NIN789T} + \text{E0F45}$**

Table de contingence

	Ps	Pn	Ph	Total
Os	7	3	2	12
On	2	7	3	12
Oh	3	3	6	12
Total	12	13	11	36

$\%c = 55\%$   
 POD = 58%  
 FAR = 25%  
 H.S = 33%

Tableau récapitulatif

ZONES	ANALYSE DE LA VARIANCE			PERFORMANCE DES MODELES				
	R	F-RATIO	P	SKILL	%C	POD	FAR	HSS
M.OUEST	0.57	8.143	0001	0.469	50	58	8	25
M. EST	0.51	5.804	0007	0.401	47	33	0	20
Modèle 1	0.59	5.832	0003	0.456	53	42	33	30
SUD Modèle 2	0.57	8.274	0001	0.476	55	58	25	33

**Légende :**

R = coefficient de régression multiple

F-Ratio= rapport entre % variance expliquée et % variance résiduelle

% C = probabilité de coïncidence

POD probabilité de détection

FAR = probabilité de fausse alerte

HSS = hit score.

**VIII. CONCLUSION**

Les résultats auxquels nous sommes parvenus sont encourageants et méritent d'être pris en considération. Les coefficients de corrélations sont relativement élevés. Les résultats de l'évaluation des modèles obtenus à partir de la cross validation (méthode de reconnaissance glissante) nous donne de bons coefficients de corrélation (skill) entre les indices prévus et les indices observés.

L'analyse de la variance nous donne également des résultats satisfaisants ; le F-ratio qui est le rapport entre le pourcentage de variance expliqué par la régression et le pourcentage de la

variance résiduel est acceptable pour les quatre modèles, car leurs seuils de signification testés grâce à la statistique de Fisher nous donne des probabilités presque nul ce qui est acceptable pour une bonne régression.

En ce qui concerne la table de contingence, les résultats sont encore plus encourageants, car avec une probabilité de détection comprise entre 33 et 58% et une probabilité de fausse alerte comprise entre 0 et 33%, on ne peut que se réjouir pour le moment compte tenu de la taille de notre série.

L'utilisation des résultats de ces modèles pourrait avoir un impact considérable sur notre économie. L'agriculture, l'hydrologie, les transports, les travaux public et le secteur de l'énergie en tireront profit. D'autre part, l'utilisation des résultats de ces modèles permettra aux décideurs de prendre des mesures adéquats pour limiter les dégâts dus à une mauvaise campagne agricole.

En fin, pour améliorer nos résultats, nous avons besoin d'une base de données plus longue et d'augmenter le nombre de stations car compte tenu de la grande variabilité des précipitations, la densité du réseau serait déterminante dans la modélisation. La recherche d'autres prédicteurs serait également à souhaiter, comme l'AEJ et la TEJ. Le phénomène de sable en suspension dans l'atmosphère doit également faire l'objet de recherche en relation avec les précipitations au Niger. Aussi, il est très important qu'il ait un échange de données sous régional pour poursuivre les recherches dans le souci de comprendre l'impact du phénomène El Niño dans l'Afrique de l'ouest.

Nous finirons par remercier les initiateurs de cet Atelier car ce genre d'initiative est à encourager et mérite d'être pérennisé dans le cadre d'un développement durable en Afrique de l'ouest et plus particulièrement dans le Sahel.

# Predicting Seasonal Rainfall in Nigeria, Using Sea Surface Temperature.

**Okey C Aligbe:** Nigeria Meteorological Services P.m.B 1215 Oshodi Lagos, Nigeria.

**Omar BADDOUR:**

-Chef Programme Prévisions Climatiques et Applications, ACMAD, BP. 13184, Niamey, Niger.

-Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc.

## 1. INTRODUCTION

Rainfall has become such an important socio-economic factor that it can no longer be taken for granted or considered as a mere meteorological phenomenon. In Africa, agriculture is largely dependent on seasonal rainfall and the noticeable decline in rainfall amount, in the recent past, has taken a devastating toll on crops and livestock resulting in serious food shortages.

Even though mankind has not been able to exercise any control over the climate, ample tools now exist to assist climatologists in predicting the future expectations of climate thereby providing timely information to farmers for food security. Within the scope of a workshop organised by ACMAD and some partners, some techniques for forecasting seasonal rainfall were examined with a view to prepare participants for the West African Forum on Food Security in Abidjan, Cote D' Ivoire in May, 1998.

This paper explores the possibility of developing an operational seasonal rainfall prediction scheme for Nigeria using a statistical model with Sea-Surface Temperature Anomalies (SSTA) observed a few months before the season as predictor. Section 2 describes the materials and methods applied following which results are discussed in section 3.

## 2. MATERIALS AND METHODS

Since there is a clearly defined latitudinal variation in rainfall amount and length of season over West Africa (M.V.K. Sivakumar et al, 1993; Aligbe O.C., 1997), the period covering July-August-September (JAS) which applies generally to Nigeria is considered and referred to as the rainy season. Standardized anomaly series of rainfall were derived from monthly data obtained from the Food and Agriculture Organization (FAO). Thirty three (33) stations with good spread across Nigeria were considered for the period 1960 to 1993. Missing data had been interpolated at source using the inverse weighting method.

Sea-surface temperature data were obtained from the UK Met Office and the regimes Equatorial Atlantic, Nino\_3 and North West Atlantic were considered. Two-months running averages were calculated. The regression model  $Y = \text{Constant} + A * (\text{SSTA})$  was employed after obtaining correlations between SSTA in the regions and each of the 33 stations. Along the lines of correlation results, the stations were later zoned into three and standardized rainfall anomalies were calculated for each zone. The zonal data were substituted in the model and matched with SSTA in the various sea domains. Empirical Orthogonal Function (EOF) analysis was also applied. Observed and predicted rainfall were categorized and contingency tables were constructed for cross validation of predicted values.

The bulk of the work was done using SYSTAT 7.0 from where some results were exported for mapping in SURFER (Copyright Golden Software) and presentation in Microsoft PowerPoint.

### 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Results for individual stations show good positive correlation between rainfall for stations in the South West, up to Latitude 10 North, and Equatorial Atlantic SSTA. The best forecast skill was obtained with April/ May & May/ June SSTA giving a lead-time of one to two months. While stations to the South East of Nigeria, up to latitude 10 North, had weak correlations with all predictors, those to the north of latitude 10 showed some moderate correlations with Jul-Aug-Sep SSTA in Nino\_3 and March/April EOF.

Guided by the above results, the country was zoned into three (the Guinea Coast to the SW, East Guinea Coast to the SE and the Sudan-Sahelian to the North). In view of the weak correlations obtained for the SE, this zone was excluded in succeeding analyses. Cross validation plots of observed versus predicted rainfall show encouraging results. Positive correlation (of the order  $r = 0.55$  &  $r = 0.58$ ) were obtained for the South West using April/May and May/June SSTA respectively. A skill of 48.7% and 51.5% were achieved. The northern zone had a strong positive correlation (of the order  $r = 0.61$ ) with Nino\_3 Jul-Aug-Sep SSTA + Mar-Apr EOF which yielded a skill of 52.9%.

### 4. CONCLUSION

The possibility of using SSTA to predict seasonal rainfall in Nigeria has been explored. The South West of Nigeria which falls within the Guinea Coast region (approximately south of latitude 10 N and longitude 7.5 W to 7.5 E) has a strong positive correlation with Equatorial Atlantic Sea-Surface Temperature (Ward et al, 1990). The best compromise between forecast lead-time and loss of skill was found with May SSTA (Aligbe O.C. et al, 1997). Since accurate forecast of Nino\_3 SST for Jul-Aug-Sep is on course, predictions for northern Nigeria can be made with good lead time. For the South East, however, the SSTA in other oceanic domains needs to be explored.

The potentials provided by the good forecast skills in this work can be used to issue an experimental forecast for Nigeria by the end of May 1998.

### REFERENCES

- Aligbe O.C, Y. Berte and M.N. Ward, 1997: The procedure for forecasting seasonal rainfall amount and crop performance in the Guinea Coast (West Africa), using Equatorial Atlantic Sea Surface Temperature Anomalies. ACMAD, Niger, Research Report.
- Aligbe O.C., 1997: Climate Information and Prediction services (CLIPS):- The socio-economic benefits of climate data archives. ACMAD, Niger, Training Report.
- Sivakumar M.V.K., Maidoukia A., Stern R.D., 1993: Agroclimatology of West Africa: Niger, ICRISAT information Bulletin No. 5.
- Ward, M.N., Owen, J.A., Follard, C.K. and Farmer, G., 1990: The relationship between sea surface temperature anomalies and summer rainfall in Africa 4 - 20 N,. Long Range Forecasting and Climate Memorandum No. 32. Available from the National Meteorological library, Meteorological Office, Bracknell, Berkshire, UK.

## Prévision Saisonnière des Précipitations au Sénégal

**Chérif DIOP:** Direction de la Météorologie Nationale B.P. 8257 Dakar-Yoff, Sénégal.

**Omar BADDOUR:**

-Chef Programme Prévisions Climatiques et Applications, ACMAD, BP. 13184, Niamey, Niger.

-Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc.

### ABSTRACT

We describe the relationships between SST and the seasonal rainfalls in Senegal (July, August and September). These connections permitted the determination of two zones in Senegal. The rainfalls of the southern zone are associated with El NINO signals and EOF (eigenvectors), the northern one is by the NW Atlantic SST. We used a statistical technique to build a rainfall prediction model for each zone using SST anomalies and EOF. The evaluation of the models shows that the southern region model is less reliable to predict dry season than the northern region, due to the persistence of the trend of rainfall series to be slightly below normal.

SST anomalies may not always sufficiently to prove to be of skilful forecasts, because the seasonal rainfalls are also associated with local factors (e.g land albedo, land surface roughness and change in amount of moisture in the soil). The results of the models are a good tool for making decision for users and policymakers in planning the food security from March-April. Finally this study constitute a tool for early warning in case we need to take a quick action for the implementation of the food security.

### I/ INTRODUCTION

Le Sénégal comme tous les autres pays du Sahel, a une économie qui dépend essentiellement de l'agriculture, activité très vulnérable et sensible aux fluctuations climatiques notamment la sécheresse. De graves déficits pluviométriques récurrents touchent le Sénégal depuis les années 70, affectant ainsi l'économie du pays.

Les effets de cette sécheresse ont été désastreux : cours d'eau asséchés, barrages vides affectant le potentiel hydroélectrique, bétail décimés par manque de pâturage. L'ampleur d'un tel phénomène dépend surtout d'un manque de préparation de la part des décideurs à recevoir cet événement. Dès lors il est clair que les programmes de développement doivent être élaborés en tenant compte des informations et services climatologiques tel que la prévision saisonnière des précipitations.

L'objectif principal de cette étude est d'élaborer un modèle de prévision saisonnière dont les produits seraient mis à la disposition des usagers comme aide à la décision afin de mieux tirer profit de l'information climatologique dans la planification de leurs programmes nationaux.

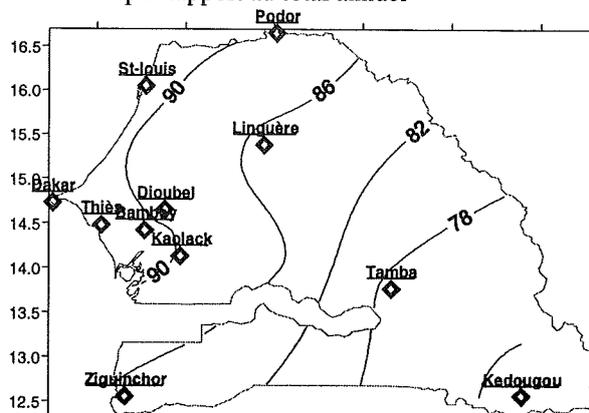
### II/ METHODE

#### • 2.1 Données Disponibles :

Nous avons utilisé les données des précipitations mensuelles disponibles sur une période de 35 ans (1961-1996) pour 11 stations du Sénégal, assurant une couverture assez uniforme des zones climatiques.

Nous avons choisi comme saison des pluies, les mois de **Juillet** **août** et **Septembre** car l'essentiel des pluies annuelles tombent durant cette période et représentent environ 80% du cumul annuel (voir figure 1). Les pluies sont associées au mouvements de la Zone de Convergence Intertropicale au dessus du Sahel (Ward and al., 1993). La figure 1 illustre la position géographique des stations et le pourcentage du cumul saisonnier par rapport au cumul annuel.

Fig.1 : Réseau des stations et pourcentage du cumul saisonnier par rapport au total annuel



## • 2.2 ZONAGE

Nous allons constituer un fichier saisonnier JAS (**Juillet, Août et Septembre**) pour chaque station sous forme d'indices standardisés. Ces indices seront corrélés avec les indices des SST des Océans Pacifique et Atlantique :

1. Atlantique Equatorial, (EA)
2. Nord Ouest Atlantique (NWA)
3. Pacifique équatorial (El NINO)

Après avoir corrélé les indices des stations avec les SST, nous allons déterminer les régions homogènes en cernant les zones dont les stations présentent des corrélations significatives (>0.3) et répondent de la même façon au signal SST. Il est rapporté dans la littérature sur les téléconnexions des SST avec la pluviométrie, que la valeur 0.3 est jugée significative si l'on dispose d'une série de données d'au moins 35 ans. On détermine alors un indice régional en faisant la moyenne des indices des stations se trouvant dans une même zone. Cet indice est donné par la relation suivante :

$INDX_r = (1/N) * \sum((RR - RR_m) / \sigma)$  où RR est l'indice pluies et RR<sub>m</sub> l'indice de la Normale et  $\sigma$  l'écart-type de la normale,  $\sum$  = somme des indices des stations et N = nombre de stations dans la zone, INDX<sub>r</sub> = indice moyen de la zone.

## • 2.3 MODELISATION

Après avoir déterminé les indices pluviométriques de chaque zone, nous recherchons les prédicteurs appropriés pour chaque zone. La méthode statistique de régression linéaire multiple a été utilisée pour prévoir les pluies à partir des prédicteurs comme les SST et la EOF<sub>3</sub> (composantes principales décrivant la variation globale à long terme de l'ensemble des Océans). L'indice standardisé des pluies prévu est donnée par :

$$\text{Indice} = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n + \epsilon$$

où X<sub>n</sub> est la valeur du prédicteur retenu, a<sub>0</sub> la constante et a<sub>1</sub> à a<sub>n</sub> sont les coefficients de régressions, et  $\epsilon$  les résidus. La sélection des prédicteurs est faite à partir de la méthode *stepwise* avec un degré de confiance de 95%.

- **Evaluation des modèles**

Nous avons utilisé deux méthodes pour l'évaluation de nos modèles :

- la méthode dite de la cross- validation
- la méthode dite de la table de contingence

La méthode cross-validation utilise les données historiques pour reconstituer une prévision depuis le début de la série. Le skill est alors le degré de corrélation entre la série observée et celle prévue.

La table de contingence donne les scores suivants :

**PC** (pourcentage de coïncidence à rejeter si  $< 0.33$ )

**POD** (doit être  $> 0.33$ ) est la probabilité de détection de la sécheresse pour notre cas.

**FAR** (il doit être inférieur à 0.33), c'est la probabilité de donner une fausse alerte, plus cette probabilité est proche de zéro plus le modèle est bon.

**HSS** (hit score), c'est la notation du modèle, plus la probabilité est proche de 100% plus le modèle est bon.

### III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

#### 3.1 Variation de la pluviométrie au Sénégal

La pluviométrie annuelle a varié remarquablement ces dernières décennies avec une tendance à la baisse durant les vingt dernières années. Les figures 2a et 2b montrent les variations des indices pluviométriques au Sénégal depuis 1961.

La zone Nord du pays est soumise à une sécheresse persistante depuis 1970. La courbe de variation de l'indice (fig. 2a) montre une baisse considérable entre 1960 et 1970 se maintenant en dessous de la normale jusqu'à 1996 avec une variabilité interannuelle très marquée.

Par contre pour la zone sud, c'est vers 1980 que la sécheresse s'est réellement installée dans cette partie du pays. La courbe de variation de l'indice (fig. 2b) montre une baisse plus lente entre 1960 et 1983, se maintenant légèrement en dessous de la normale. L'analyse des deux figures montre une progression de la sécheresse du Nord vers le Sud (Gueye et Sivakumar, 1992). Les causes de cette sécheresse sont liées en partie aux échanges thermiques entre le sol et les couches moyennes atmosphériques. Ce bilan thermique est affecté par l'état du sol (Folland et al. 1991). Quand on sait que les sols sont généralement dégradés par manque d'humidité et de végétation, on peut penser qu'il existe plusieurs facteurs locaux pouvant aussi contribuer à la sécheresse au Sahel

#### 3.2 Relations entre les SST et les pluies saisonnières (JAS) au Sénégal

Les corrélations entre les JAS et les SST de l'Equatorial Atlantique sont d'un niveau pas très significatif ( $< 0.3$ ). Seules les stations de Tamba et Kédougou sont légèrement soumises à l'influence de cette SST, avec des coefficients de corrélation voisines de 0.3. (figure 3). On remarque que la corrélation commence par être positive avec les SST de mars à juin, pour devenir négative à partir de juillet, excepté les stations de Tamba et Kédougou qui se comportent différemment des autres stations par rapport au signal de la SST (corrélation positive). La cause est probablement due au fait que ces stations sont situées dans l'extrême sud-ouest du pays, dont l'essentiel des pluies sont issues de nuages convectifs associés à la mousson.

Fig. 2a: Courbe de variation indice régional des pluies zone nord

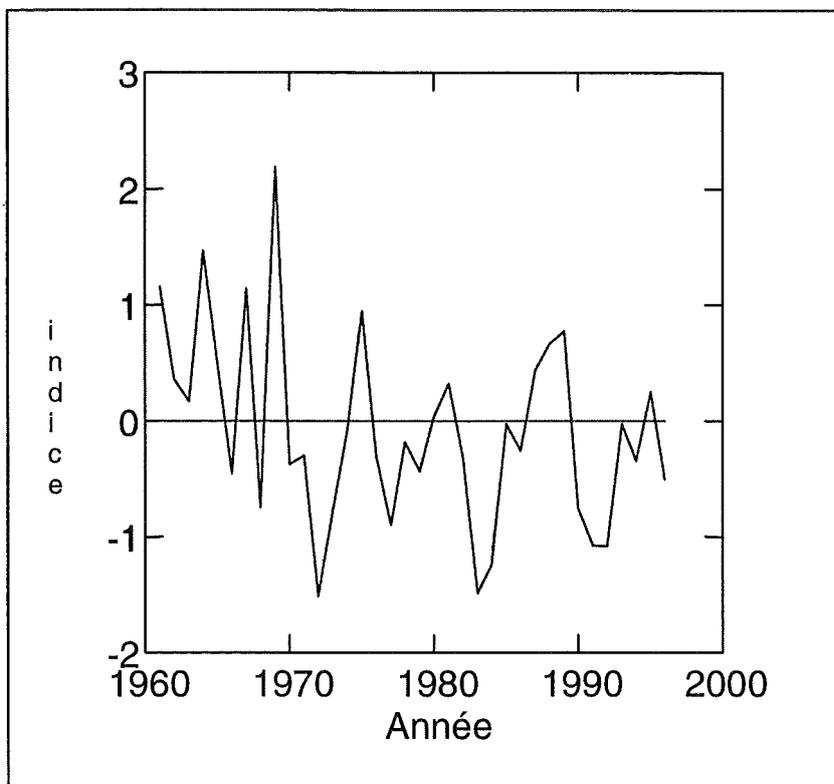
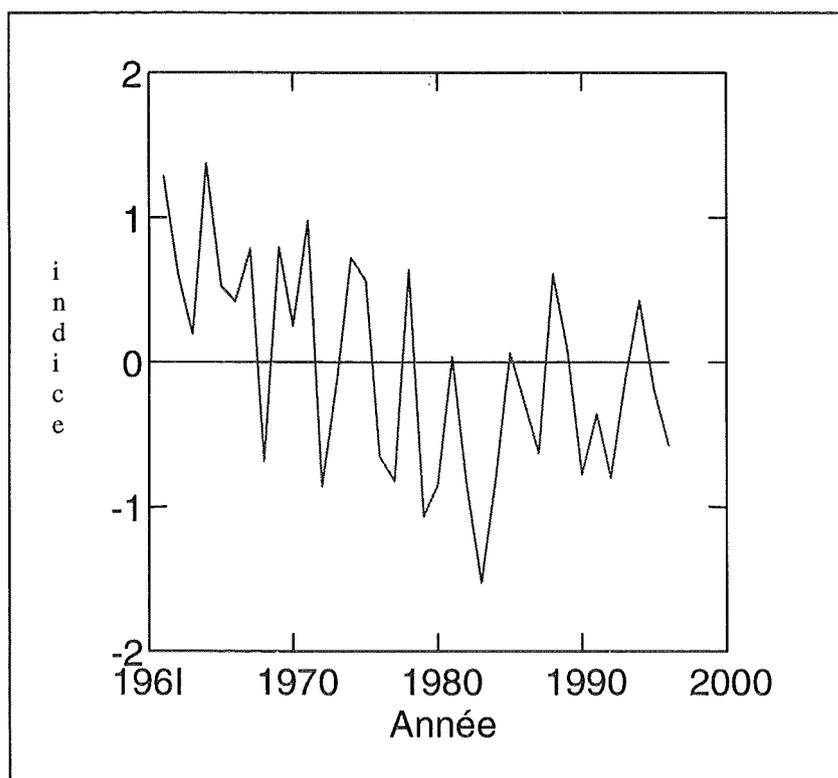


Fig. 2b: Courbe de variation indice régional des pluies zone sud



La relation entre la SST du Nord Ouest Atlantique et les JAS du Nord du pays est assez forte (corrélation  $> 0.3$ ), surtout de mars à juin (Ndiaye, 1996), par contre le reste du pays est faible relié au SST NWA (voir figure 4).

Le signal El NINO (relation avec le Pacifique équatorial) est très marqué de mars à juillet pour la moitié sud du pays (corrélation atteignant  $- 0.5$ ).

D'une manière générale, on note une influence de la SST de l'Atlantique Nord sur le nord du pays tandis que le sud est soumis à l'influence de El NINO. La figure 5 illustre bien l'influence de El NINO sur le pays avec une liaison très marquée sur la partie Sud.

### 3.3 ZONAGE

A partir des corrélations avec le NW Atlantique et le Pacifique, se dégagent deux zones :

- une zone Nord** regroupant les stations : ST-Louis, Podor, Linguère, Dakar, et Thiès ; soumise à l'influence de l'Atlantique Nord et
- une zone Sud** (Diourbel, Bambey, Kaolack, Tamba, Ziguinchor et Kédougou) affectée par El NINO.

La corrélation avec l'indice régional des pluies saisonnières avec l'Atlantique équatorial confirme le faible signal noté plus haut. Avec le NW Atlantique c'est l'indice de la zone 2 qui est lié à la SST de mars à juin, à partir de juillet le signal devient faible. Avec le Pacifique équatorial, c'est la zone 1 qui reste soumise à l'influence de El NINO.

La corrélation avec EOF<sub>3</sub> (composantes principales décrivant la variation globale à long terme de l'ensemble des Océans) montre une bonne relation de celles ci avec les pluies saisonnières de la zone 1 (figure 6).

Fig. 3 : Corrélation entre les pluies saisonnières du Sénégal et la SST Equat. Atlantique

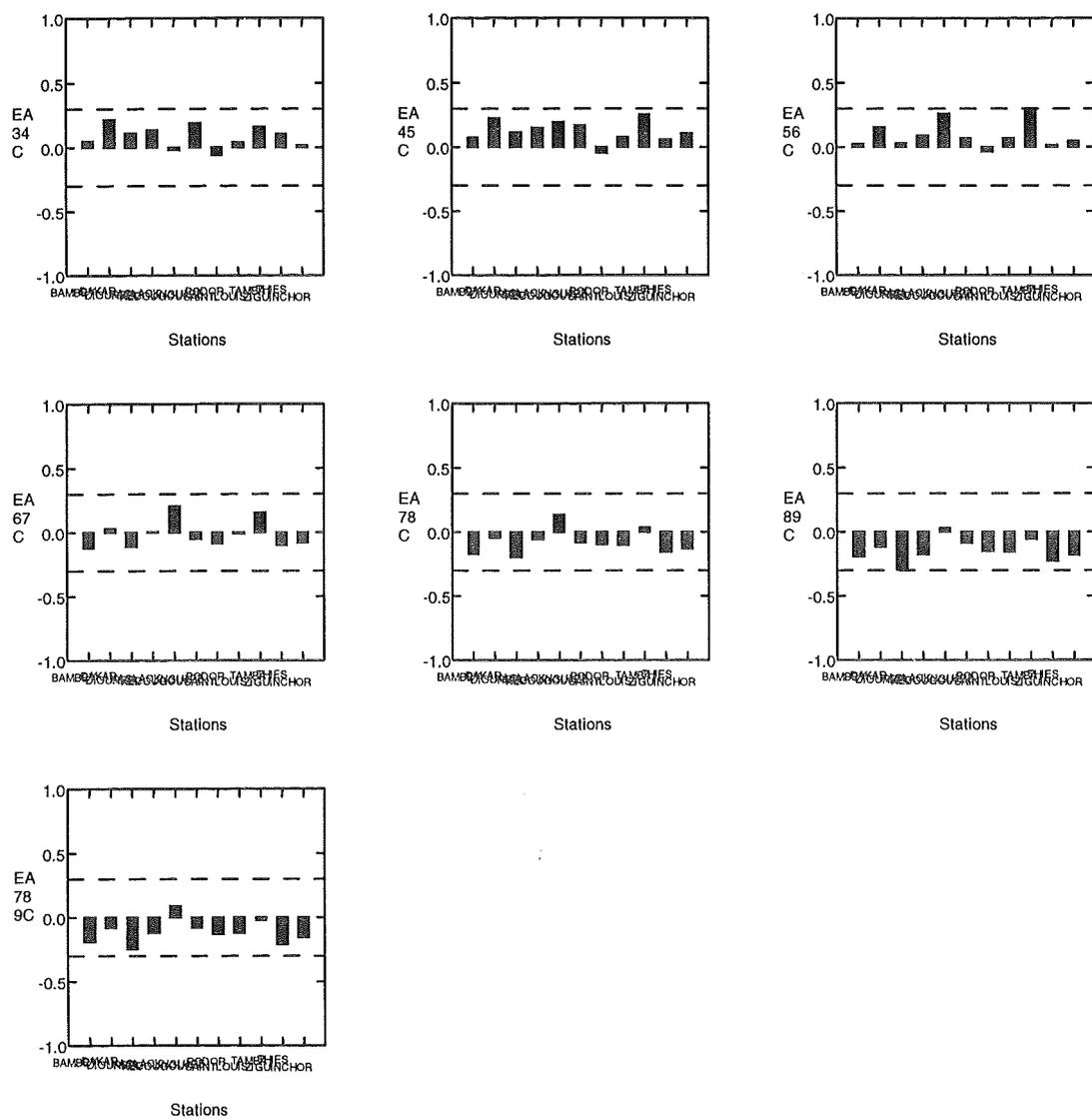


Fig. 4 : Corrélation entre les pluies saisonnières du Sénégal et la SST DE NW Atlantique

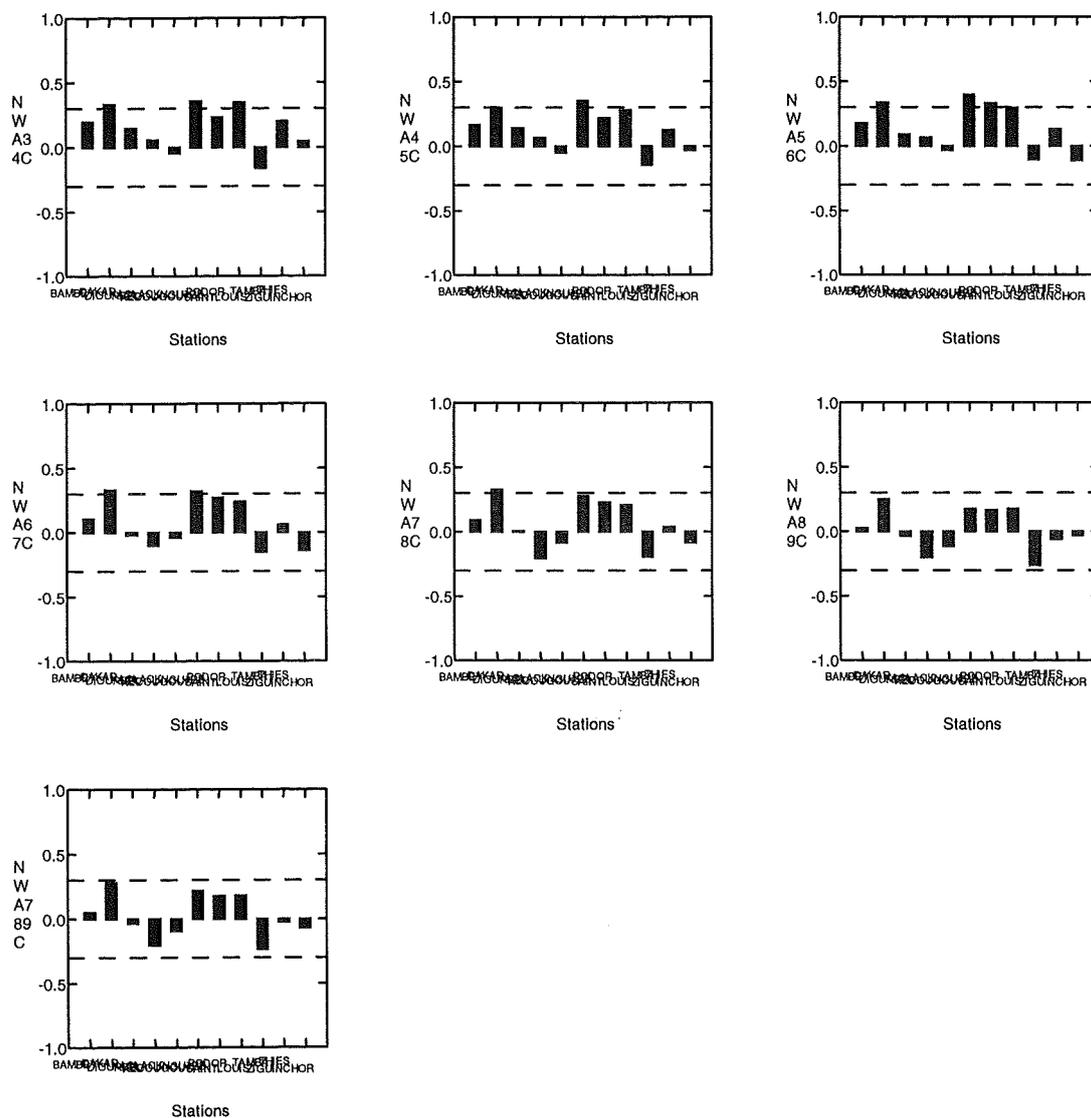
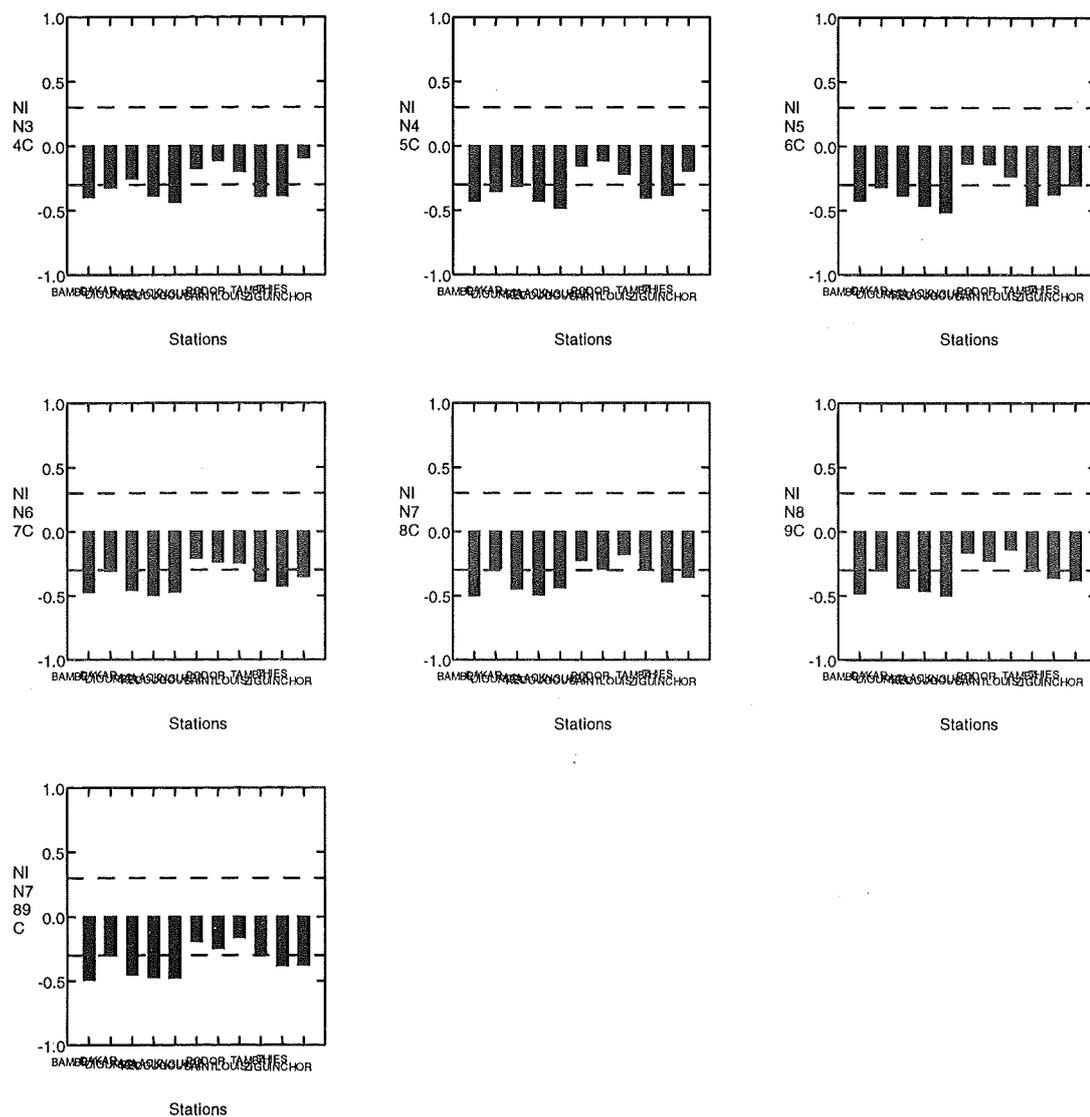
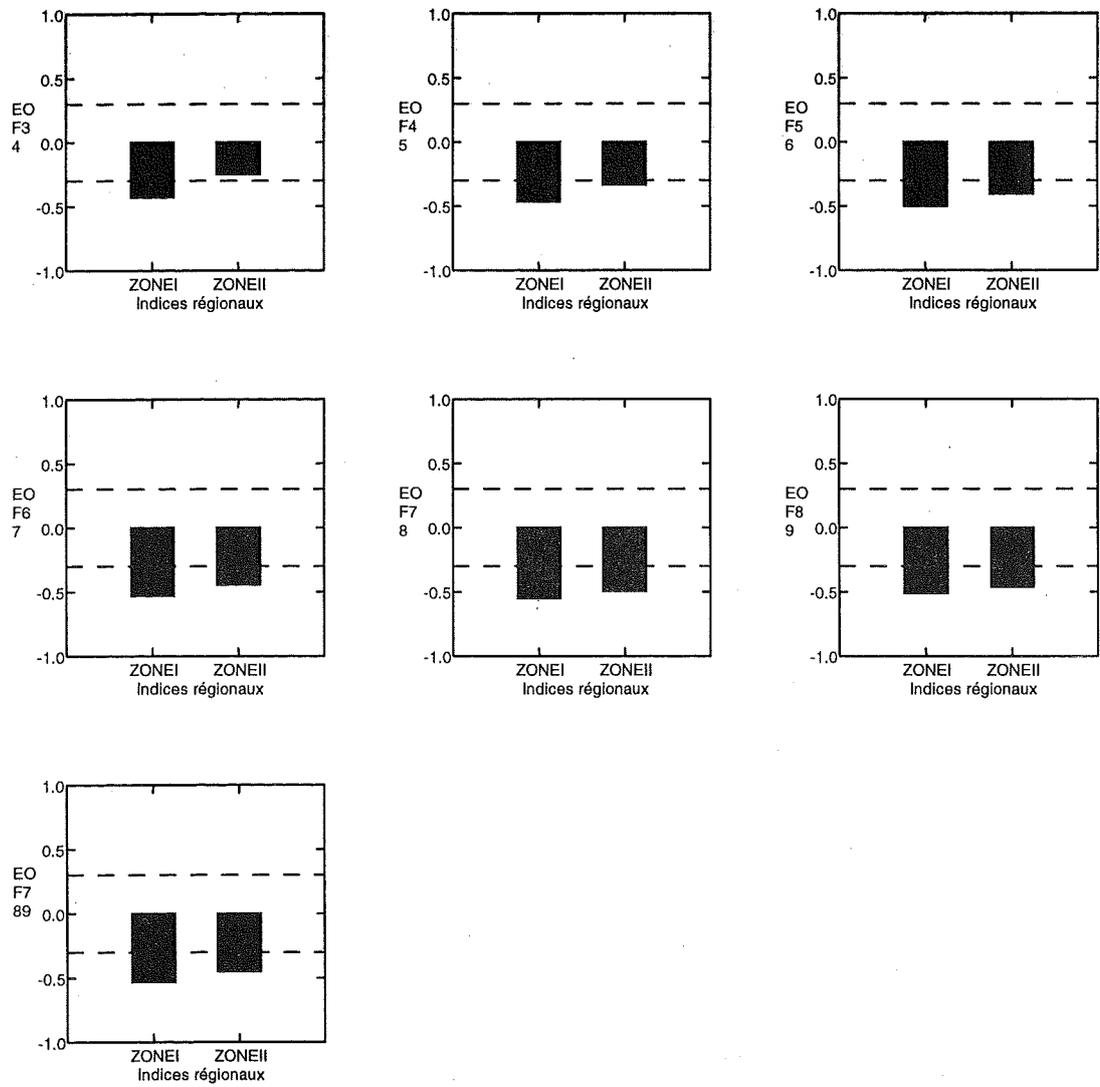


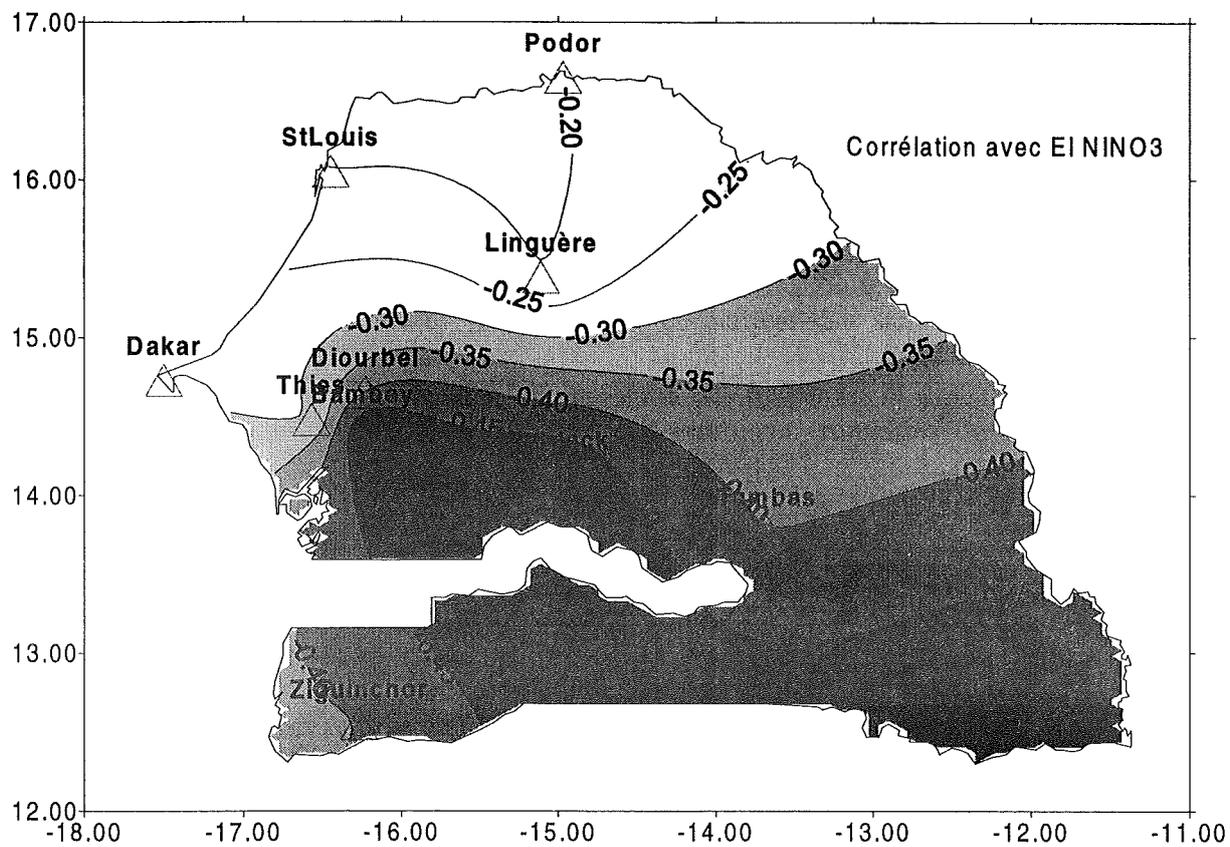
Fig.5 : Corrélation entre les pluies saisonnières du Sénégal et la SST Pacifique Equat.



**Fig. 6 :** Corrélation entre les indices régionaux des pluies saisonnières du Sénégal et les EOF<sub>3</sub>.



**Fig. 7 :** Impact de El NINO sur les pluies saisonnières du Sénégal (corrélation avec la SST Pacifique Equatorial).



### 3.4 MODELISATION

Les résultats de la régression ont permis de construire les modèles suivants pour les zones Nord et sud.

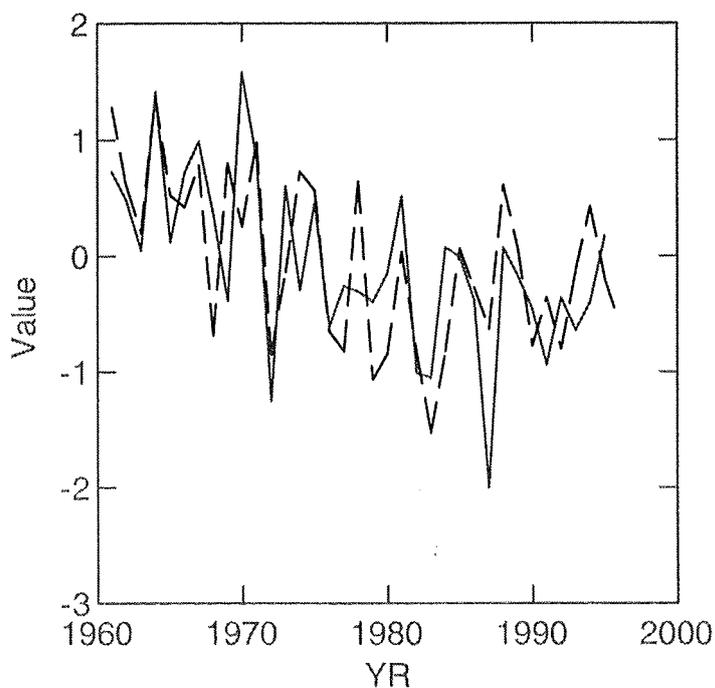
#### ZONE SUD

Le modèle de la zone sud est donnée par l'équation suivante :

$$\text{MODELE ZONE SUD} = 0.230 - 0.061 \cdot \text{NIN789T} - 0.146 \cdot \text{EOF45}$$

avec un coefficient de corrélation multiple  $R = 0.692$  et un Skill de 0.62

**Fig. 8 : ZONE SUD :** Courbe des indices pluviométriques observés (—) et simulés (-----) de 1961 à 1996



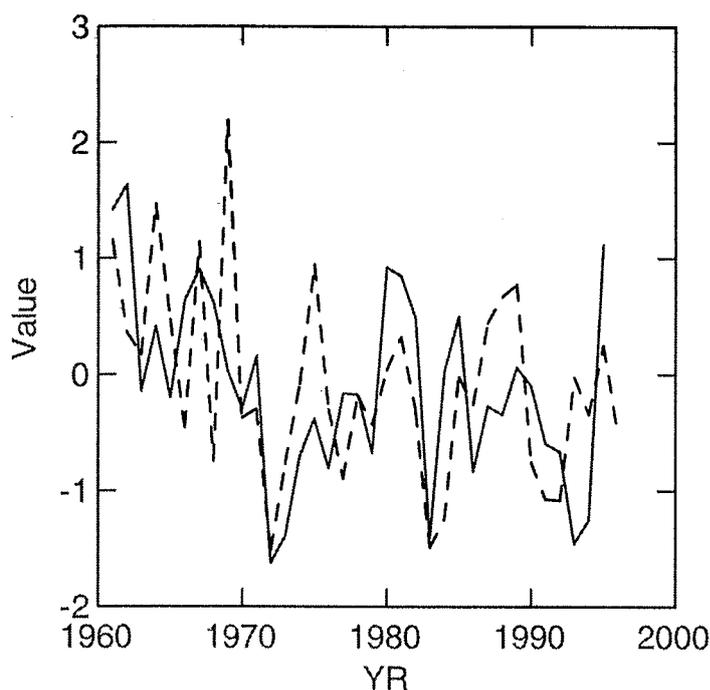
#### ZONE NORD

Le modèle de la zone Nord est donnée par l'équation suivante :

$$\text{MODELE ZONE NORD} = 0.017 + 0.121 \cdot \text{NWA34T} - 0.083 \cdot \text{NIN34T}$$

Avec un coefficient de corrélation multiple  $R = 0.569$  et un Skill de 0.47

**Fig. 9 : ZONE NORD:** Courbe des indices pluviométriques observés (—) et simulés (-----) de 1961 à 1996



### 3.5 EVALUATION DES MODELES PAR LA METHODE DE CROSS-VALIDATION

Le modèle de prévision a été construit avec les données de 1961-1996. Certains prédicteurs ont été retenus suivant le degré de corrélation faite entre les zones et les différents SST et EOFs. Les résultats de la régression pour le modèle de la zone Sud montrent que les prédicteurs retenus expliquent bien la variabilité des pluies dans la zone Sud. Le modèle a été évalué par la méthode de cross-validation. La simulation illustrée par la figure 7, montre une bonne performance du modèle (skill=0.62). L'évaluation du modèle de la zone Nord donne un skill de 0.47. L'analyse de la régression montre que le modèle de la zone Nord est moins performant que celui de la zone Sud.

Ensuite les modèles ont été construits sur la période 1961-1990, puis nous les avons testés sur la période 1991-1996. La corrélation obtenue entre la valeur prévue et celle observée ( $R=0.47$ ) pour le premier modèle (Sud) est très faible par rapport à l'évaluation ( $R=0.62$ ) de la cross-validation. Cette instabilité du modèle est due au caractère de la série des données observées. On remarque une persistance de la tendance à la baisse des pluies de 1961-1983 (période de construction du modèle) et une tendance à la hausse à partir de 1990. Cette rupture de la tendance pourrait expliquer l'instabilité du modèle (figure 2b). Par contre la simulation faite sur le deuxième modèle, montre que celui-ci est stable avec un degré de

corrélation ( $R=0.57$ ). Cela est dû probablement à la stabilité de la série. En fait depuis 1970, on note une forte variabilité inter-annuelle de l'indice des pluies, mais la tendance de la série reste constante (figure 2a).

### 3.6 EVALUATION DES MODELES PAR LA TABLE DE CONTINGENCE

L'évaluation du modèle de la Zone Sud (tableaux 1 et 3) montre que celui-ci n'est pas assez fiable pour prévoir la sécheresse (probabilité de détection de la sécheresse  $POD=30\%$ ), même s'il ne donne pas une fausse alerte ( $FAR=0$ ). La faiblesse du Hit Score ( $HSS=13\%$ ) confirme ces résultats. La table de contingence (tableau 1) montre que le modèle a tendance à prévoir une catégorie normale (17 cas sur 31). Cette situation liée à la persistance de la série dont la tendance reste proche de la normale, fait que le modèle ne prévoit pas bien les catégories sèches. Par contre, il pourrait bien prévoir les catégories normales avec une probabilité de 70%. Ce résultat confirme bien la simulation faite sur le modèle par la méthode de cross-validation. Celle-ci avait montré que le modèle était instable. Par contre les résultats de l'évaluation du modèle de la zone Nord (tableaux 2 et 3) montrent que celui-ci est meilleur pour prévoir les catégories sèches, avec un  $POD=55\%$ . Sur 10 années sèches, il peut en prévoir 6, avec une probabilité de fausse alerte de 15%.

**Tableau 1** : Table de contingence du modèle zone Sud

OBSERVE	PREVISION			TOTAL
	SEC	NORMAL	HUMIDE	
SEC	3	7	0	10
NORMAL	3	5	3	11
HUMIDE	0	5	5	10
TOTAL	6	17	8	31

**Tableau 2** : Table de contingence du modèle zone Nord

OBSERVE	PREVISION			TOTAL
	SEC	NORMAL	HUMIDE	
SEC	6	3	2	11
NORMAL	5	3	3	11
HUMIDE	2	3	6	11
TOTAL	13	9	11	33

**Tableau 3** : Evaluation des modèles

Modèle	Analyse de variance			Performance des Modèles				
	R	F-ratio	P %	Skill	P C	POD	FAR	HSS
Zone Sud	0.69	14.706	0.00	0.62	42	30	0	13
Zone Nord	0.57	7.677	0.00	0.47	45	60	15	18

**Légende :**

R = coefficient de corrélation multiple

F-ratio= rapport entre variance expliquée et variance résiduelle

P = seuil de signification de R ou risque d'erreur

Skill = corrélation entre valeurs observées et valeurs prévues

P C = probabilité de coïncidence

POD probabilité de détection

FAR = probabilité de fausse alerte

HSS = hit score (c'est la valeur ajoutée par le modèle par rapport à une prévision faite au hasard)

**IV./ CONCLUSION**

L'analyse des résultats démontre que la prévision saisonnière des pluies peut être recommandée en vue de garantir la sécurité alimentaire. Les produits de la prévision disponibles 2 à 3 mois avant le démarrage de la saison des pluies pourraient aider à prévenir des désastres liés au déficit alimentaire. Cette étude constitue alors un outil d'aide à la décision dans le cadre d'une alerte précoce. Selon les résultats de la prévision d'une zone donnée, on pourrait envisager le besoin d'une action rapide. La connaissance de la relation entre la SST et les pluies saisonnières permet alors de minimiser les accidents climatiques en permettant aux usagers et décideurs de planifier les activités agricoles pour la sécurité alimentaire. Il faut noter que la SST n'explique pas à elle seule la variabilité des pluies saisonnières. Les recherches doivent s'orienter vers d'autres prédictors. Aussi, le problème des séquences sèches intrasaisonnières est d'un intérêt capital pour la recherche.

**BIBLIOGRAPHIE**

**Folland, C., OWEN, J., Ward, M. N. and Colman, A., (1991).** Prediction of seasonal rainfall in the Sahel Region using empirical and dynamical methods ; Journal of forecasting, vol. 10, 21-56 (1991).

**Gueye, M. et Sivakumar, M.V.K (1992).** Analyse de la longueur de la saison culturale en fonction de la date de début des pluies au Sénégal : Compte rendu des travaux n°2 ICRISAT, 1992, Niamey, Niger.

**Ndiaye, O., (1996).** Modèle de prévision statistique des précipitations saisonnières sur le Sénégal. Mémoire de fin d'étude. IHFR Oran, Algérie.

**Ward, M. N., Folland, C., Maskell, K., Colman, A., Rowell, D. P. and Lane, K. B., (1993).** Experimental seasonal forecasting of tropical rainfall at the UK Meteorological Office. NATO ASI Series, Vol. 16 Prediction of Interannual Climate Variations, edited by J. Shukla. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993.

## Prévision Saisonnière des Précipitations au Tchad

**Samuel MBAINAYEL:** Direction des Ressources en Eau et de la Météorologie B.P. 429 Ndjaména, Tchad.

**Omar BADDOUR:**

-Chef Programme Prévisions Climatiques et Applications, ACMAD, BP. 13184, Niamey, Niger.

-Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc.

### Résumé

Dans le cadre de l'atelier organisé par l'ACMAD du 23 février au 30 avril 1998 sur la prévision saisonnière des précipitations en Afrique de l'Ouest, une étude a été faite pour le cas du TCHAD. L'objectif était de fournir un outil de prévision qui pourrait servir dans la prise de décision pour l'alerte précoce dans le cadre d'une planification pour la sécurité alimentaire. L'étude a porté sur 15 stations avec une série pluviométrique de 1951 à 1997. L'élément de pluie choisi pour la prévision est le cumul du mois de Juillet Août et Septembre qui représente plus de 80% de la pluviométrie annuelle. Deux méthodes ont été utilisées pour la régionalisation :

- les corrélations entre la pluviométrie saisonnière des stations et les températures de surface de la mer des régions NINO3 et
- l'analyse en composantes principales.

Cela a permis d'avoir une seule région qui englobe le Sahel et le Soudan. La modélisation a été obtenue à partir de l'indice régional de pluie (le prédictand), el NINO3, l'Atlantique Equatoriale et l'EOF3 (les prédicteurs). Les modèles obtenues permettent de faire une prévision à l'échéance d'un mois. Pour améliorer ces modèle de prévision des études doivent être poursuivies pour mieux les affiner et les mettre à la disposition des usagers.

### Abstract

During the workshop organised by ACMAD from 23 February to 30 April 1998 on seasonal prediction in West Africa, we made a study of seasonal rainfall prediction in Chad. The aim is to use trough seasonal prediction as a tool for decision making by users in early warning system and food security and also in other areas.

In our studies we have chosen 15 stations that cover the Sahel and Sudan region of the country. The data time series is monthly rainfall from 1951 to 1997.

The target period is July, August and September; the total rainfall for those three months is more than 80% of the annual total rainfall.

The principles are base on linear regression. SSTs are used as predictors, specifically regions NINO3 in the Pacific, the Equatorial Atlantic and the principal component of the variation of the global Oceans (EOF).

The correlation between each stations and NINO3 associated with principal component analysis leads to only one regional rainfall index that cover both the Sahel and Sudan, this index is used as the predictand.

The model obtain through the linear regression gave a lag of one month.

We already have something that we can use for season prediction. But more study has to be done to improve the model.

## I. INTRODUCTION

L'Atelier organisé par L'ACMAD du 23 février au 30 Avril a été un cadre de recherche sur la prévision saisonnière des pluies pour nos régions. Les aléas climatiques ont toujours été cause de nombreuses souffrances. Le Tchad, à l'instar des autres pays du Sahel a souffert énormément des effets de la sécheresse : Famine, exode rural , bétail décimé etc...

La prévision saisonnière des précipitations à une certaine échéance pourrait être un excellent outil de prise de décision dans le domaine de l'alerte précoce. Elle permet une bonne planification des ressources disponibles et contribue efficacement à l'alerte précoce. Des études ont été faites sur la relation entre la variabilité pluviométrique du Sahel et les températures de surface de la mer. Il y a donc une nécessité de faire des études au niveau national pour dégager les particularités ; c'est l'approche qui a été adoptée durant l'atelier. L'étude porte sur « la prévision saisonnière de la pluviométrie au Tchad basée sur la température de la surface de la mer ». C'est donc une recherche de liaison entre la variabilité pluviométrique et les températures de la mer.

## II. GENERALITE

### - POSITION GEOGRAPHIQUE

Le Tchad est situé entre 7 et 23 degrés de latitude Nord et entre 13 et 24 degrés de longitude Est. Bien que pays de l'Afrique Centrale selon le découpage colonial, il fait également parti des pays du Sahel. Il est découpé selon le climat en trois grandes zones : le Sahara, le Sahel et le Soudan. Cette caractéristique fait qu'il a un climat comparable à certains pays de l'Afrique de l'Ouest

### - CHOIX DES STATIONS

Les stations choisies couvrent les deux principales zones du pays allant du 7 au 15 degrés de latitude Nord. Quinze(15) stations au total ont été sélectionnées. Le critère de choix est basé surtout sur la disponibilité des données, la représentativité de la région et l'existence des stations de l'origine à nos jours (tableau 1, carte 1).

### - LES DONNEES

Les données utilisées ici proviennent de la base des données de la Direction des Ressources en Eau et de la météorologie du Tchad. Ce sont des données pluviométriques mensuelles dont la série va de 1951 à 1997. Cependant il faut signaler qu'il y a un des années manquantes (2 ans à 7 ans) pour presque toutes les stations, entre 1979 et 1987(tableau 2).

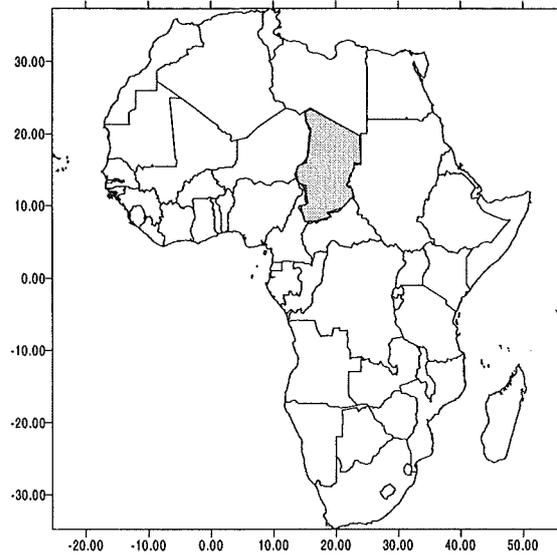
### - LA PERIODE D'ETUDE

La saison pluvieuse commence dans certains endroits vers fin Mai début Juin, cependant la période **Juillet Août Septembre** est la plus pluvieuse. Elle représente plus de 80% du cumul annuel (tableau 1). Les SST semblent mieux corrélés avec cette période. Ainsi un fichier saisonnier a été préparé contenant les 15 stations avec les totaux pluviométriques de Juillet Août et Septembre.

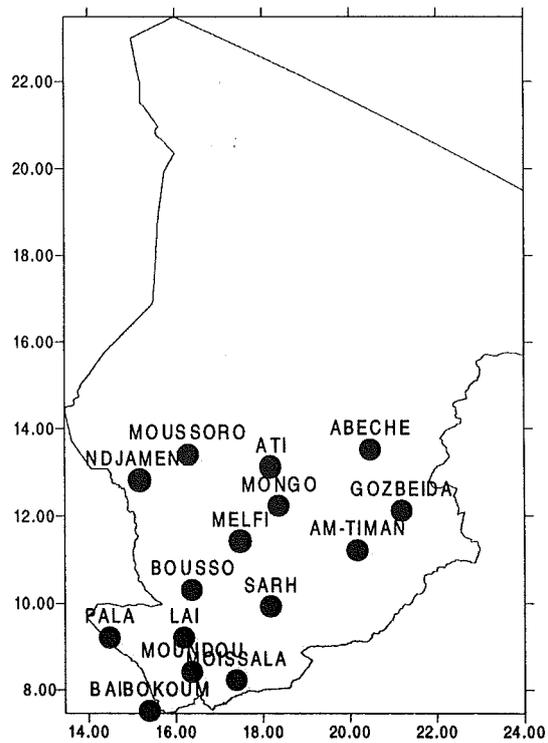
### - LES PREDICTEURS DANS LES OCEANS

Les prédictors utilisés dans l'étude sont l'Océan Pacifique surtout la région NINO3, l'Atlantique Equatoriale et la composante principale de l'Océan global appelée *Empirique Orthogonal Fonction* (EOF). Le choix nous a été facilité grâce aux études faites précédemment sur le Sahel , le Soudan et le Golf de Guinée .

Carte 1 : Afrique et position géographique du Tchad



Carte 2 : Tchad avec stations choisies



### III REGIONALISATION

Deux méthodes ont été utilisées pour procéder à la régionalisation. Nous avons d'abord utilisé la méthode de corrélation entre les stations et les températures de la mer, et la méthode par l'analyse des composantes principales.

#### - CORRELATION NINO3/AE

La corrélation entre les différentes stations et la région Nino3 varie entre  $-0.4$  et  $-0.3$  pour 11 stations sur 15. Les quatre autres stations qui ne corrélaient pas bien sont Baibokoum, Melfi, Moundou et Ndjamena. Par contre avec l'Equatorial Atlantique elle varie entre  $-0.3$  et  $-0.2$  pour la plupart des stations ; ce qui est très faible. En se basant sur la corrélation avec NINO3 nous n'avons qu'une seule région d'étude. Il ressort des analyses que toute la zone pluvieuse se comporte de la même manière vis à vis de El nino à quelque exception près. (voir graphes 1 et 2 et cartes 2)

#### - ANALYSE DES COMPOSANTES PRINCIPALES

D'après l'analyse des composantes principales sur les 15 stations représentatives de la zone pluvieuse du Tchad, 12 stations sont liées à la première composante par une corrélation allant de  $0.5$  à  $0.9$  ; 2 stations (Baibokoum et Moundou) sont liées à la deuxième composante principale et une station (Pala) à la troisième composante principale. C'est donc la première composante principale qui a été retenue pour la régionalisation. (Carte 3)

La combinaison de ces deux méthodes de régionalisation (corrélation avec NINO et Analyse des composantes principales) nous amène à retenir une seule zone d'étude qui comprend la zone soudanienne et sahélienne.

#### - L'INDICE DE PLUIE (INDP)

L'indice de pluie est obtenu à partir de la moyenne transformée des 12 stations appartenant à la première composante principale. Aussi avons nous reconstitué les données manquantes en faisant la moyenne des stations où les données existent. Ce qui nous a permis de reconstituer toute la série de 1951 à 1997 soit une série de 47 ans (tableau 3).

La Corrélation avec l'indice de pluie et les SST varie de  $-0.27$  à  $-0.47$  pour les régions NINO et de  $-0.42$  à  $-0.54$  pour la première composante principale de l'océan global EOF3 (graphe 3) Nous signalons que trois stations (Moundou, Pala et Baibokoum) n'ont pas fait parti de l'indice régional à cause de leur comportement différent d'après l'analyse des composantes principales et leurs faibles corrélations avec NINO3.

### IV MODELISATION

Le logiciel SYSTAT a permis de faire plusieurs calculs statistiques, tels que la standardisation, le calcul des corrélations, la régression etc..

#### REGRESSION – CONSTRUCTION DE MODELE

Nous avons fait plusieurs régressions multiples avec nos différents prédicteurs. De bonnes corrélations allant de  $0.6$  à  $0.7$  ont été obtenues. Cependant pour notre choix définitif nous avons tenu compte de la disponibilité des prédicteurs utilisés dans le modèle. Nous avons donc retenu l'Atlantique Equatorial (EA) d'Avril - Mai et la composante principale des

Océans (EOF3) de Mars - Avril et d'Avril – Mai, et le NINO3 de Juin – Juillet et de Juillet – Août. Il faut noter que les températures des régions NINO3 sont assez bien prévues à six mois d'échéance. Cela nous conduit à retenir trois modèles. Ce qui nous permet de faire une prévision d'au moins un mois d'échéance avec les données disponibles de l'Atlantique Equatorial et de l'EOF3.

$$\text{MODELE 1 INDP} = \text{CONSTANT} + \text{EA45T} + \text{NIN67T} + \text{EOF45} \\ = -0.08 - 0.06\text{EA45T} - 0.06\text{NIN67T} - 0.14\text{EOF45}$$

$$\text{MODELE2 INDP} = \text{CONSTANT} + \text{EA45T} + \text{NIN78T} + \text{EOF34} \\ = -0.06 - 0.06\text{EA45T} - 0.07\text{NIN78T} - 0.13\text{EOF34}$$

$$\text{MODELE3 INDP} = \text{CONSTANT} + \text{EA45T} + \text{EOF45} + \text{NIN78T} \\ = -0.10 - 0.05\text{EA45T} - 0.06\text{NIN78T} - 0.15\text{EOF45}$$

## EVALUATION DU MODELE

### - CROSS VALIDATION

La cross validation des trois modèles nous donne respectivement le skill de 0.61, 0.61 et 0.62 (voir graphes 4 à 6)

### - TABLES DE CONTINGENCE

Nous avons en ligne l'indice de pluie régional INDP et en colonne le prévu divisé par le coefficient de corrélation multiple  $R = 0.7$

#### Table de contingence 1

En ligne l'indice de pluie observé en colonne le prévu

	sèche	normale	humide	total
Sèche	9	5	1	15
Normale	5	5	5	15
Humide	2	2	11	15
Total	16	12	17	45

Khi deux	15.07
Pourcentage de coïncidence	60%
Probabilité de détection	60%
Fausse alerte	12%
Hite Score	40%

Remarque : le modèle 2 présente les mêmes résultats que le modèle 1

#### Table de contingence 2

En ligne l'indice de pluie observé en colonne le prévu

	sèche	normale	humide	total
Sèche	9	5	1	15
Normale	2	9	4	15
Humide	2	3	10	15
Total	13	17	15	45

Khi deux	19.23
Pourcentage de coïncidence	62%
Probabilité de détection	60%
Fausse alerte	15%
Hite Score	43%

## V. CONCLUSION

L'EOF et el NINO3 ont une corrélation acceptable avec l'indice régional de pluviométrie (INDP) bien qu'il n'expliquent pas à eux seuls tout le phénomène de pluie. Les modèles obtenus permettent de faire une prévision à l'échéance d'un mois sur la pluviométrie saisonnière dans la partie sahélienne et soudanienne du Tchad. L'évaluation de ces modèles a montré qu'ils sont d'une bonne performance et peuvent être utilisés comme outils de prévision dans la prise de décisions pour l'alerte précoce et la bonne planification des ressources

Nous pensons qu'il est nécessaire de travailler avec un grand nombre de stations pour pouvoir confirmer nos résultats bien que le manque de données reste un handicap sérieux à surmonter dans la mesure du possible.

L'ACMAD a joué un rôle important dans le déroulement de l'atelier qui a conduit à cette étude. Nous pensons que c'est une initiative qu'il faut encourager.

### Liste des tableaux

- 1 Diagnostique climatique
- 2 Données manquantes
- 3 Données manquantes reconstituées
- 4 Catégorie d'années

### Liste des graphes

- 1 Corrélation entre stations et région NINO 3
- 2 Corrélation entre stations et Atlantique Equatorial
- 3 Corrélation entre INDP et les SST
- 4 Cross validation
- 5 Simulation

TABLEAU 1 : DIAGNOSTIC CLIMATIQUE

STATIONS	LONG	LAT	ATE DEBU	ET	NB AN	TOTAL ANNUEL		NB AN	TOTAL SAISONNI	
						MOY	ECART TYPE		MOY	ECART TY
ABECHE	20 51	13 51	05-juil	21	28.0	438.5	121.6	28	374.6	113.5
AMTIMAN	20 17	11 2	25-mai	24	28.0	874.1	135.4	28	620.4	101.9
ATI	18 19	13 13	02-juil	20	28.0	397.6	147.7	27	360.5	125.8
BAIBOKOUM	15 41	7 44	26-avr	18	27.0	1335	67.3	27	830.7	53.3
BOUSSO	16 43	10 29	16-mai	24	27.0	907.4	170.9	28	655.5	157.0
GOZ-BEIDA	21 25	12 14	15-juin	18	26.0	613.2	121.3	26	480.9	111.6
LAI	16 18	9 24	16-mai	19	28.0	1059.9	185.9	28	741.3	160.4
MELFI	17 56	11 4	24-mai	21	27.0	831.6	211.4	27	615.3	132.0
MOISSALA	17 46	8 20	01-mai	22	27.0	787.7	148.7	28	616.7	148.4
MONGO	18 41	12 11	30-mai	22	25.0	1121.6	121.1	26	718.0	127.6
MOUNDOU	16 4	8 37	07-mai	20	28.0	1156.3	202.8	28	765.8	146.5
MOUSSORO	16 30	13 39	08-mai	23	28.0	336.8	115.7	28	290.6	104.9
NDJAMENA	15 2	12 8	09-juin	28	28.0	1022.7	117.7	28	661.1	105.5
PALA	14 55	9 22	06-mai	18	28.0	605.7	139.8	28	483.1	123.1
SARH	18 23	9 9	08-mai	18	28.0	1059.4	154.3	28	702.1	128.1

TABLEAU 2 : LES DONNEES MANQUANTES

ANNEE	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
ABECHE	*	*	*	*	*	*	397.70	350.50	136.00
AMTIMAN	*	*	*	463.40	233.00	452.90	*	409.50	*
ATI	*	*	*	*	*	38.20	*	*	*
BOUSSO	*	*	*	*	590.50	343.80	407.80	552.30	405.50
GOZBEIDA	*	*	*	*	*	*	*	346.80	*
LAI	566.30	599.50	*	654.80	627.80	*	502.50	582.60	*
MELFI	*	*	*	*	359.10	175.60	242.70	*	*
MONGO	*	*	*	*	*	244.70	.	400.60	265.90
MOISSALA	*	*	*	568.40	730.30	*	*	*	697.50
MOUNDOU	*	*	*	679.10	*	*	*	*	*
OUSSOR	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PALA	591.40	*	*	526.60	542.10	520.30	590.90	785.60	572.60
NDJAMENA	*	*	380.00	304.50	355.40	121.00	221.80	516.50	242.00
SARH	*	*	*	661.10	669.40	364.40	*	*	419.00
AIBOKOU	569.10	823.80	690.20	965.60	829.30	*	*	*	625.90

TABLEAU 3 : DONNEES RECONSTITUEES

Anné	INDP	Anné	INDP	Année	INDP	Année	INDP	Année	INDP
1951	-0,07	1961	0,63	1971	-0,42	1981	-0,4	1991	-1,1
1952	0,62	1962	0,63	1972	-0,91	1982	-0,9	1992	-0,3
1953	0,17	1963	-0,37	1973	-0,8	1983	-1	1993	-1,48
1954	0,83	1964	0,65	1974	-0,21	1984	-2,5	1994	0,3
1955	0,31	1965	-0,54	1975	0,5	1985	-1,2	1995	-0,6
1956	0,85	1966	-0,83	1976	-0,88	1986	-0,9	1996	-0,58
1957	-0,07	1967	0,14	1977	-0,42	1987	-1,8	1997	-1,1
1958	0,72	1968	-0,56	1978	-0,2	1988	1,19		
1959	0,87	1969	-0,56	1979	-0,9	1989	-0,85		
1960	-0,19	1970	0,27	1980	-0,9	1990	-1,39		

TABLEAU 4 : LES CATEGORIES D'ANNEES

Série de 28 ans

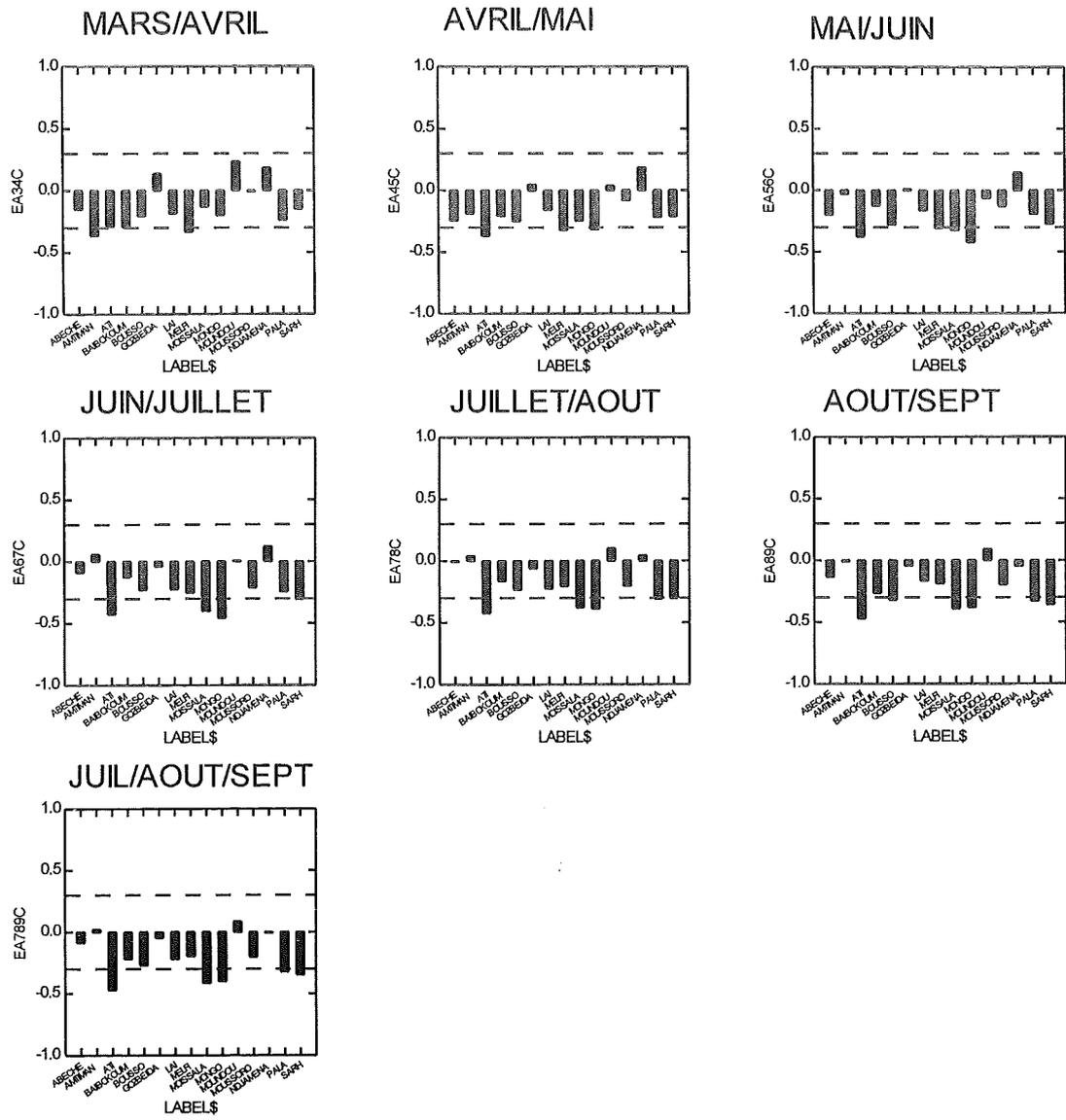
	Années	
sèches	normales	humides
1972	1963	1955
1976	1974	1975
1966	1978	1952
1973	1960	1961
1968	1957	1962
1969	1951	1964
1965	1967	1958
1977	1953	1954
1971	1970	1956
		1959

Série de 45 ans

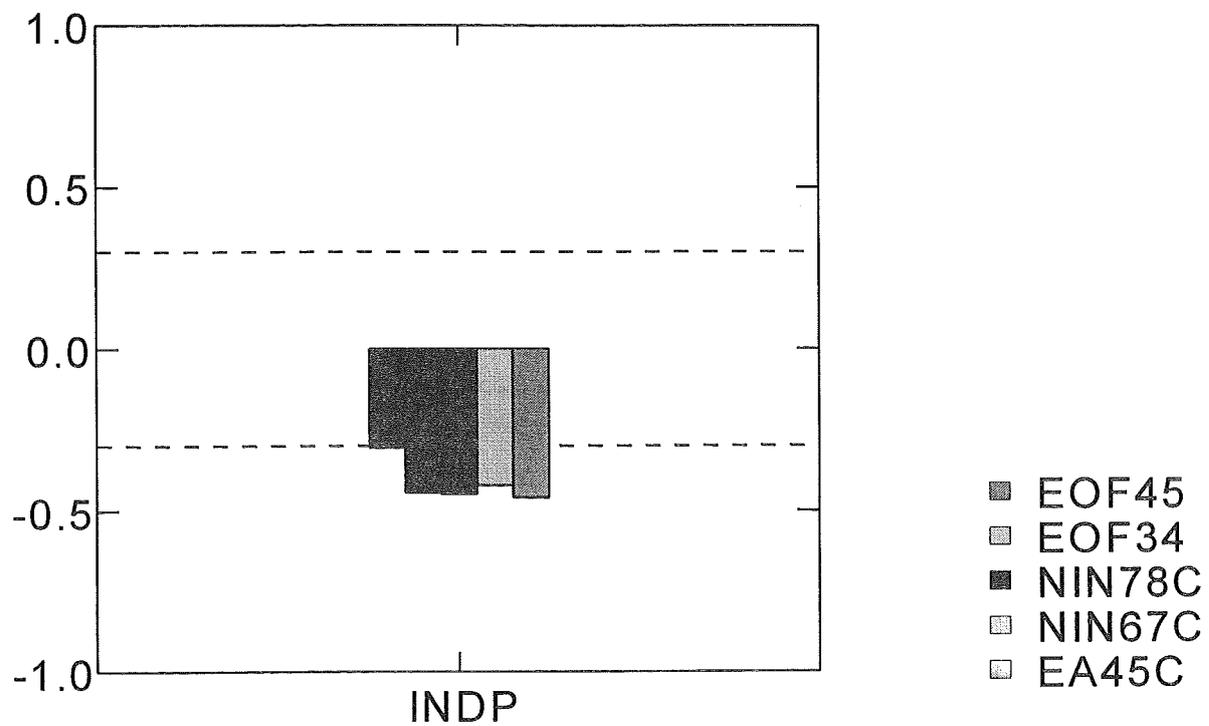
Années		
sèches	normales	humides
1984	1973	1967
1987	1995	1953
1993	1968	1970
1990	1969	1994
1985	1965	1955
1991	1977	1975
1983	1971	1952
1972	1981	1961
1986	1963	1962
1982	1992	1964
1980	1974	1958
1979	1978	1954
1976	1960	1956
1989	1957	1959
1966	1951	1988



Graph 2 : Corrélation entre stations et atlantique équatoriale

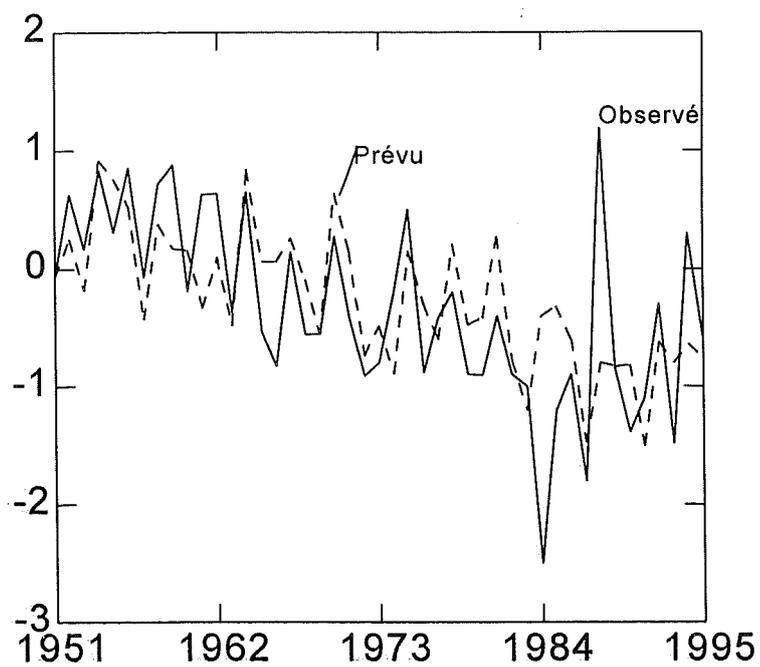


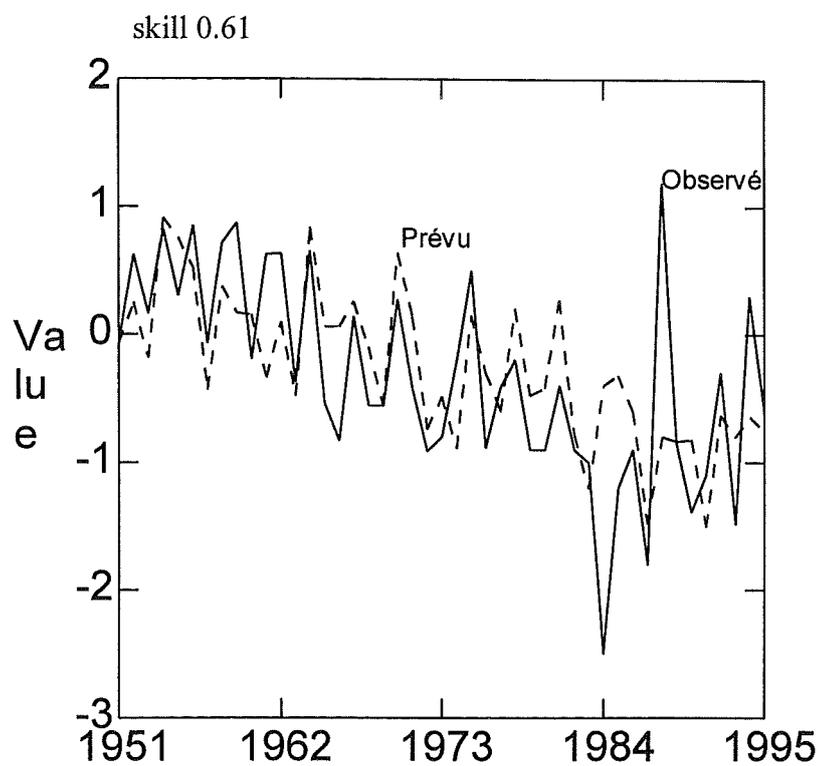
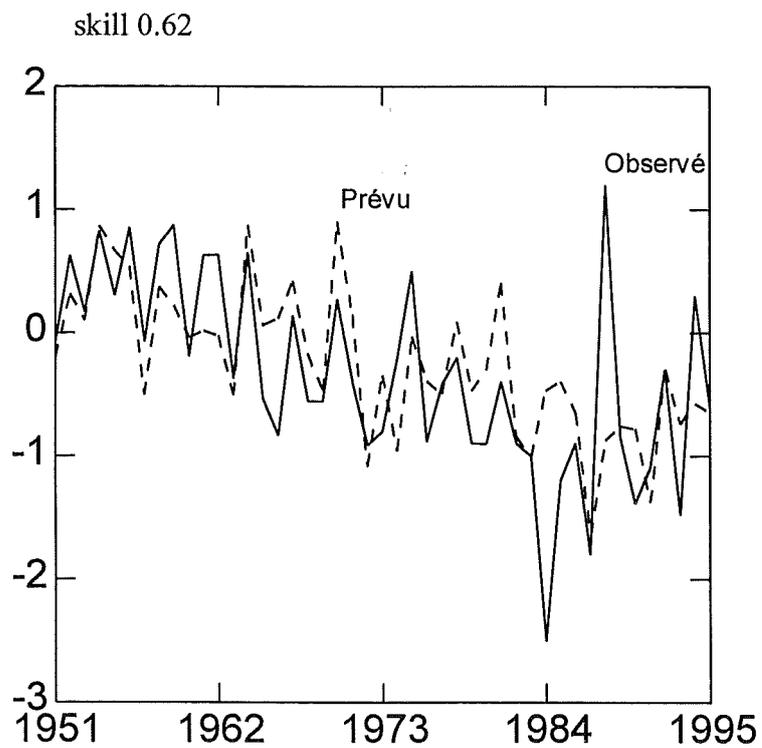
Graph 3 : Corrélation entre indice régionale de pluie et SST



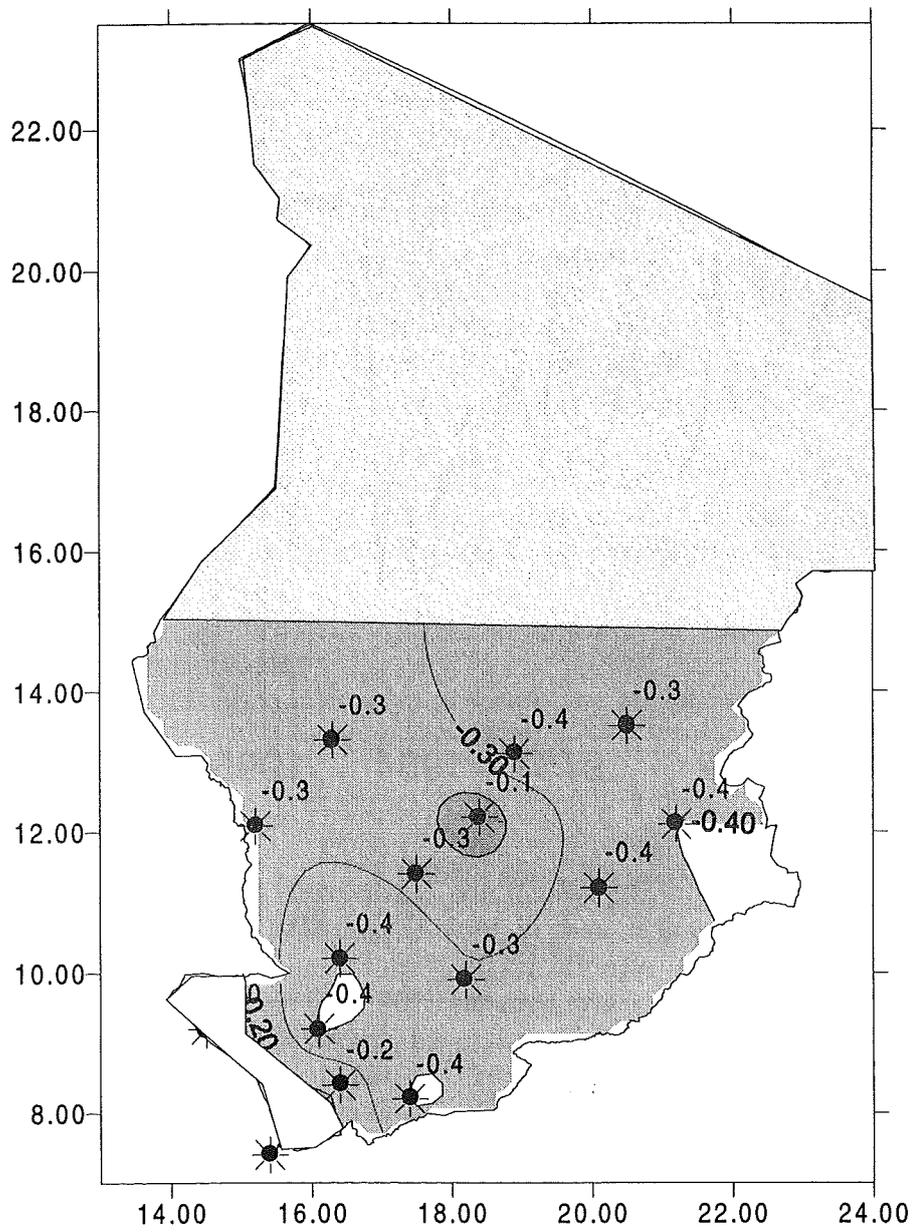
Graphe 4 : Cross validation modele 1

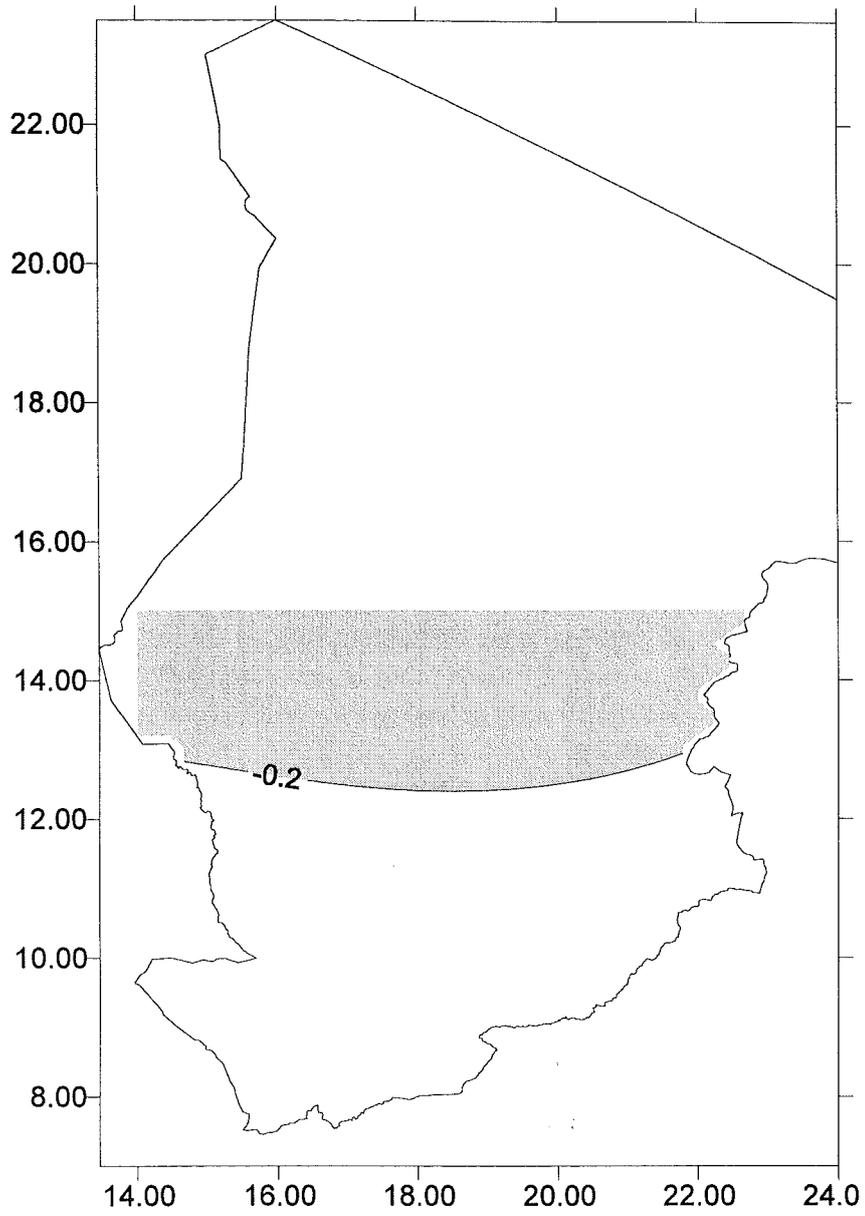
skill 0.61

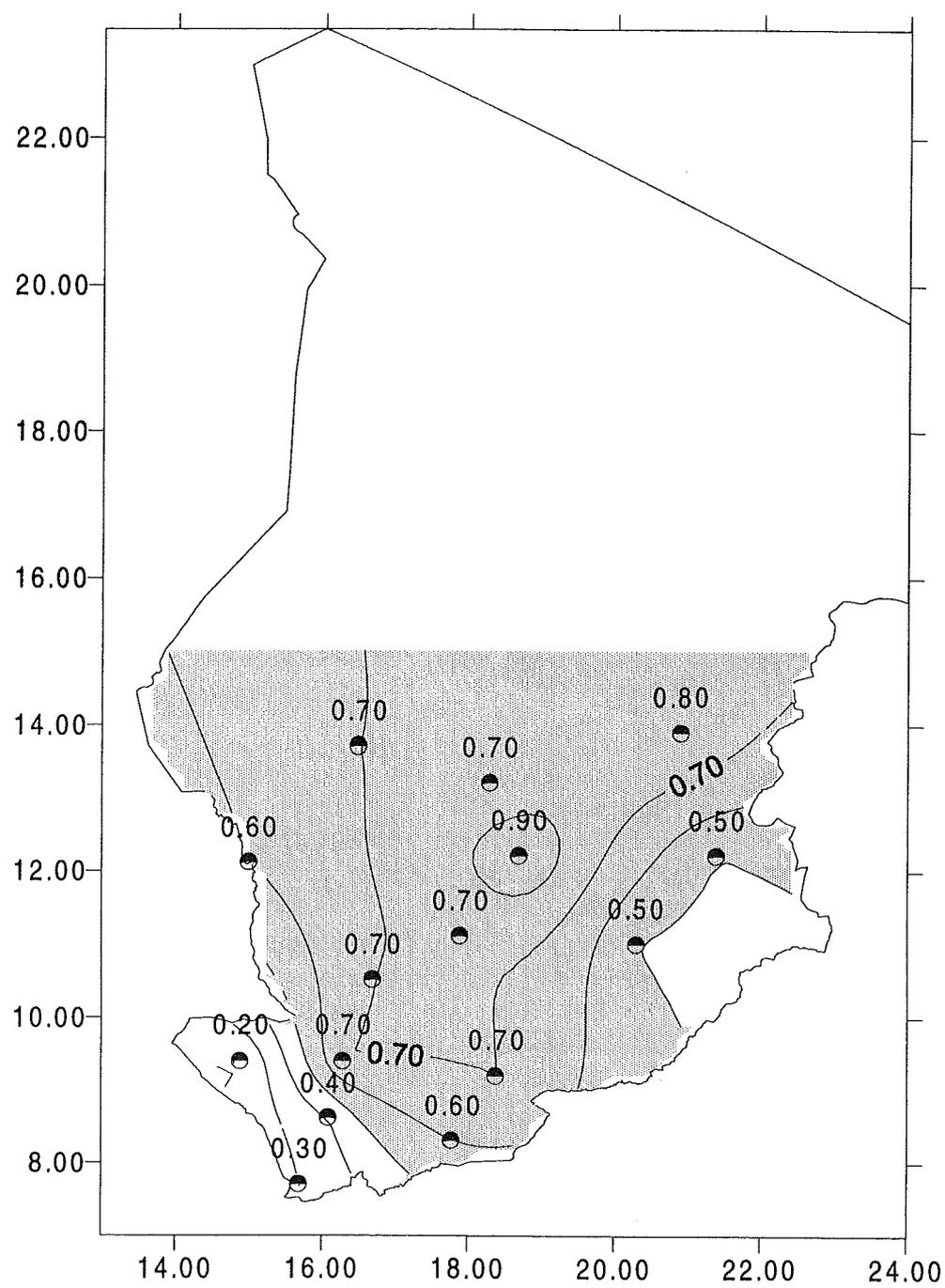


**Graph 5:** Cross validation modèle 2**Graph 6 :** Cross validation modèle 3

Carte 3 : iso corrélation nino789



**Carte 4 : iso corrélation atlantique équatoriale 789**

**Carte5** : Zonage par composante principale

## Prévision Saisonnière des Précipitations au Togo

**Kossi Dodzi GADAGBUI:** Direction de la Météorologie Nationale du Togo, B.P. 1505 Lomé (Togo)

**Omar BADDOUR:**

-Chef Programme Prévisions Climatiques et Applications, ACMAD, BP. 13184, Niamey, Niger.

-Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc.

### RESUME

Le Togo, limité au nord par le Burkina Faso, au sud par le Golfe de Guinée, à l'est par le Bénin et à l'ouest par le Ghana, jouit d'un régime pluviométrique monomodal au nord et bimodal au sud, de part et d'autre du 8<sup>ème</sup> parallèle nord. Il subit des influences climatiques dues à une variabilité des paramètres météorologiques de ces dernières décennies.

Nous avons participé à un séminaire atelier à Niamey (NIGER) du 23 février au 30 avril 1998 sur la prévision saisonnière des pluies en Afrique Occidentale. Pour les études, nous avons :

- utilisé les mois de juin, juillet, août, septembre des années 1951 à 1995 de quatre stations pour la pluviométrie saisonnière.
- établi des corrélations entre les indices pluviométriques de ces stations et ceux des températures de la surface des océans.
- calculé des indices régionaux des précipitations et établi des relations entre ceux-ci et ceux des températures.

Ensuite nous avons élaboré des modèles pour les deux régions que nous avons définies. Enfin nous avons procédé à l'évaluation des deux modèles par la cross-validation et la table de contingence. Il ressort des résultats des évaluations que les modèles obtenus sont encourageants. Les produits fournis par ces modèles sont appréciables et ont un vaste champ d'application.

### I. INTRODUCTION

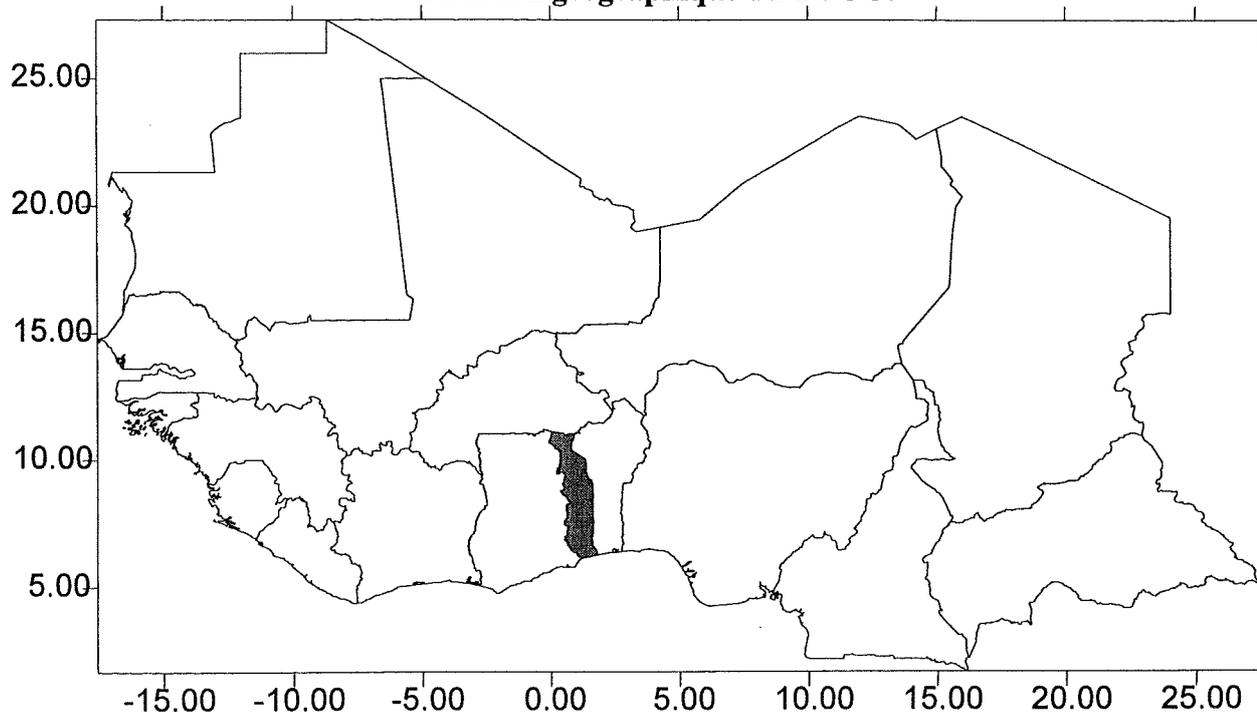
Le climat influence à des degrés différents tous les secteurs de l'économie. Toutes les activités de l'homme subissent l'influence du climat. Si le paysan a besoin de connaître le début de la saison des pluies, sa durée et sa répartition au cours de la saison, le commerçant veut savoir s'il pleuvra demain, l'entreprise des travaux publics désire connaître la quantité et l'intensité des pluies, le secteur d'hydroélectricité veut connaître la qualité et la hauteur d'eau tombée, le phytopathologiste, le médecin veulent savoir quand – est – ce que telle ou telle condition climatique sera réunie pour déclencher l'apparition de telle ou telle maladie, etc. Comme on le voit, la demande en matière de prévision saisonnière est un domaine très vaste et très diversifié.

Les catastrophes climatiques (sécheresse, inondation...) provoquent des dégâts matériels et humains très importants qui font débloquer des budgets énormes. La prévision climatique saisonnière des pluies constitue une solution d'approche pour déterminer l'occurrence de ces catastrophes et prendre des décisions qui s'imposent afin d'atténuer leurs effets. Si on pouvait éviter les coûts d'atténuation de l'impact de ces catastrophes, si elles surprenaient, ceci permettrait de constituer un fonds à investir dans des secteurs de développement.

Pour réaliser l'étude sur le Togo, nous nous sommes basés sur des méthodes statistiques (de corrélation et de régression) pour l'élaboration des modèles. Il s'agit de faire une prévision saisonnières des pluies en recherchant des variables appelées prédicteurs. Le logiciel 'Systat' nous a permis de sortir des résultats statistiques pour l'analyse, 'Surfer' pour la cartographie

## II DESCRIPTION GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE DU TOGO

Situation géographique du TOGO.



Le Togo, l'un des plus petits pays de l'Afrique de l'ouest, est limité au nord par le Burkina Faso, au sud par le golfe du Bénin, à l'est par le Bénin, et à l'ouest par le Ghana.

Il couvre une superficie de 56600 km<sup>2</sup> avec une population estimée en 1994 à près de 4000000 d'habitants. Le taux de croissance actuel est de 3,1 % par an. La population est très jeune, les moins de 15 ans représentent 47 % de la population totale. Le territoire est traversé du nord-est au sud-ouest par une chaîne de montagne et de plateaux dont le point culminant est le mont Agou (986m). Outre les plateaux d'Akposso et d'Akébou, le relief du Togo se compose des monts Adélé, le Fazao et le Malfakassa qui bordent les collines de Bassar, les plaines de l'Oti et de la Kara.

Le climat du Togo connaît un régime pluviométrique monomodal au dessus du 8<sup>ème</sup> parallèle et bimodal en dessous, le tout régit par la migration saisonnière du Front Intertropical (FIT). C'est ainsi qu'au nord, nous avons une saison des pluies qui commence en moyenne en Mai et prend fin en Octobre tandis qu'au sud nous avons deux saisons de pluies dont la grande débute mi-mars pour prendre fin au cours de la première moitié de juillet et la petite de la deuxième moitié du mois d'août au mois de novembre. Mais ces régimes connaissent depuis les années 1970 de graves déficits affectant ainsi 75% de la population active dont l'activité principale est l'agriculture. D'où la nécessité d'amorcer des recherches du genre de cet atelier régional pour des solutions d'approche.

Les mois de **Juin , Juillet , Août et Septembre** ont été retenus pour les études, et le total de pluie de ces mois a été utilisé comme précipitation saisonnière sur quatre stations à savoir Lomé , Atakpamé , Mango et Dapaong. La série utilisée est de 1951 à 1997.

### **III - ELABORATION DE MODELE POUR LA PREVISION SAISONNIERE DES PLUIES AU TOGO**

L'objectif de ce travail est de chercher à établir une liaison entre la pluie , l'inconnue (prédicteand) et d'autres variables (prédicteurs) dont elle dépend.

#### **A – PREDICTAND ET PREDICTEURS**

##### **1) Prédicteand**

Le prédicteand : C'est la variable dépendante à prévoir ; dans ce cas précis c'est la pluie.

##### **2) Prédicteurs**

Un prédicteur est une variable indépendante et explicative du prédicteand . Des recherches ont révélé que les anomalies de la température de la surface des océans ont des influences sur les précipitations . C'est pourquoi ces océans ont été choisis comme prédicteurs à savoir :

**EA** : indice décrivant l'anomalie de la température de la surface de l'Océan Atlantique Equatorial Sud

**NWA** : indice décrivant l'anomalie de la température de la surface de l'Océan Atlantique Nord.

**NINO3** : indice décrivant l'anomalie de la température de la surface de l'Océan Pacifique.

**EOF3** : indice décrivant la variabilité à long terme de la température de la surface de l'Océan global.

#### **B) CORRELATION ENTRE L'INDICE DES PRECIPITATIONS SAISONNIERES ET CELUI DE LA TEMPERATURE DE LA SURFACE DES OCEANS**

##### **1)- Corrélation entre l'indice des précipitations saisonnières des stations et la température de la surface des océans**

Dans cette opération nous établissons des relations entre la pluie et les températures de la surface des océans en terme d'indice ; c'est la standardisation. Cet indice est exprimé par la relation :

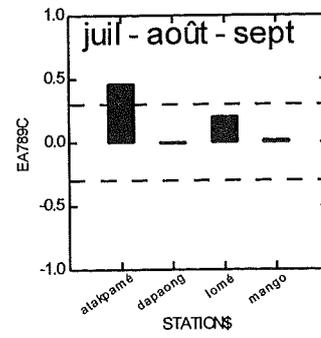
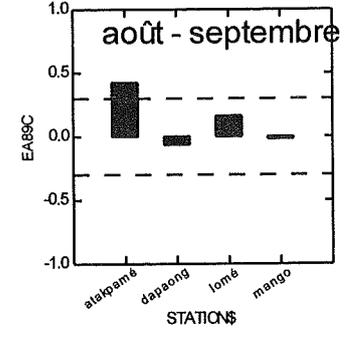
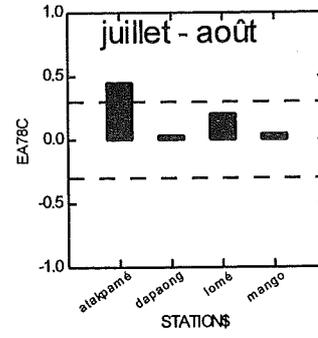
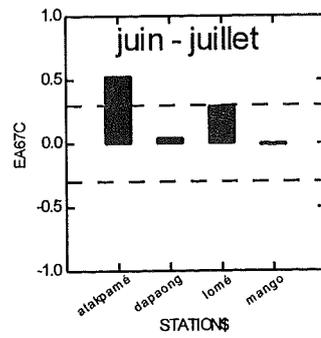
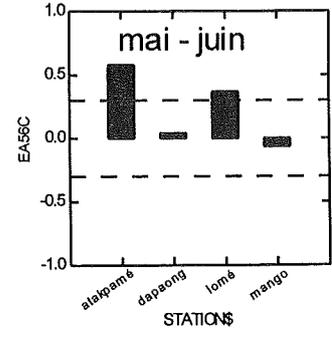
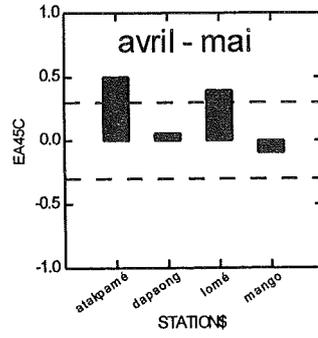
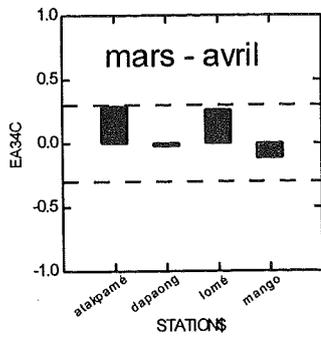
$$\text{INDR} = (\text{Ri} - \text{Rn}) / \text{ET}$$

où - INDR est l'indice de précipitation saisonnière ,

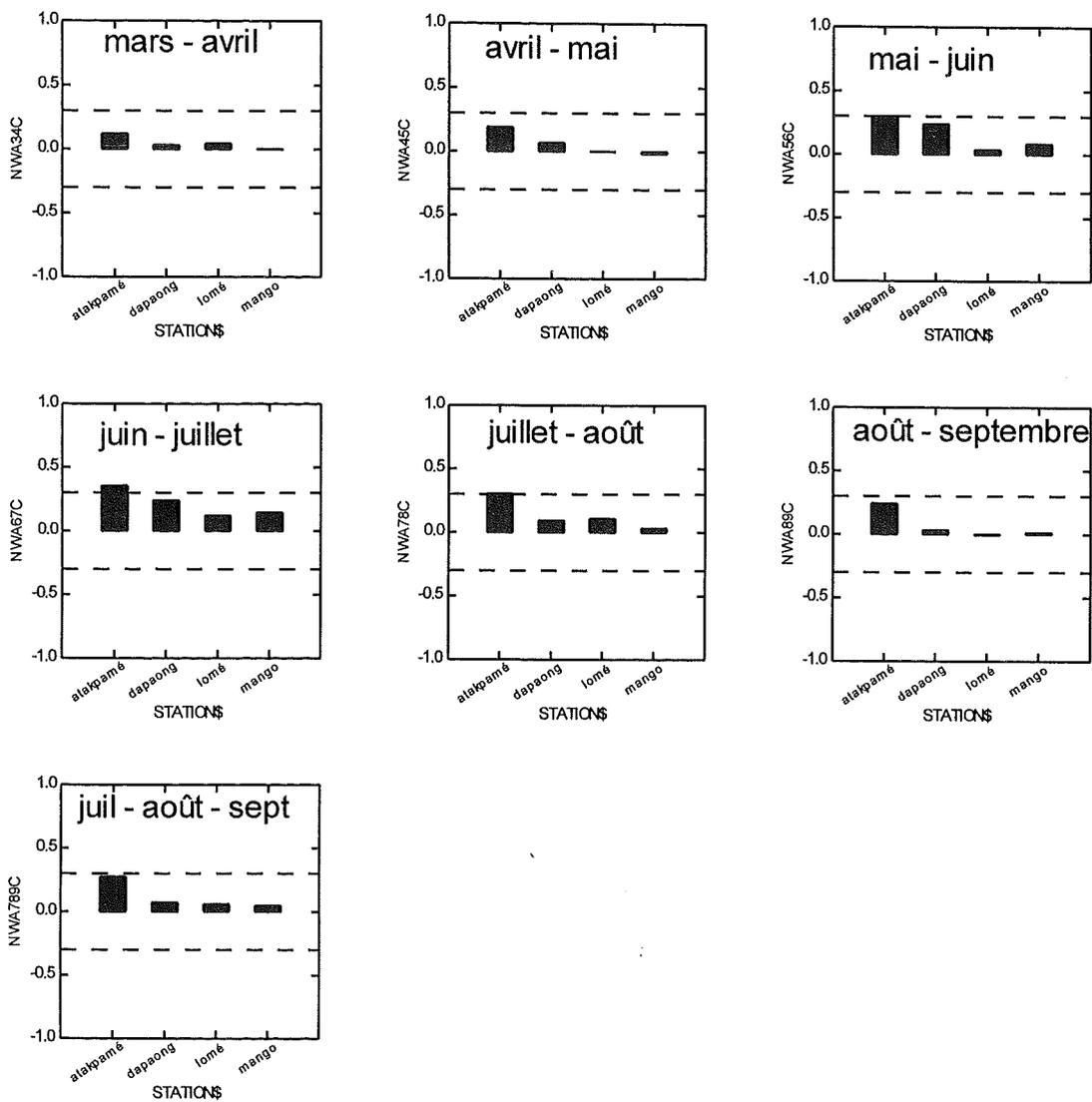
- Ri , la précipitation saisonnière,
- Rn, la normale de la précipitation (1961-1990)
- ET, l'écart type de la pluie.

Ensuite, les résultats des liaisons ci-dessous permettent de déterminer la classification des stations par zone en fonction des critères de liaison et de considération géographique. Il est aussi à noter que la liaison n'est significative que si la corrélation est supérieure à 0,3 en valeur absolue. Si elle est positive , donc la pluie et la température varient dans le même sens c' est à dire que plus la température de l'océan augmente , plus la quantité de la pluie sera importante . Si elle est négative , donc la pluie et la température de l'océan varient dans le sens contraire c'est à dire plus l'océan se refroidit plus la quantité de pluie est importante.

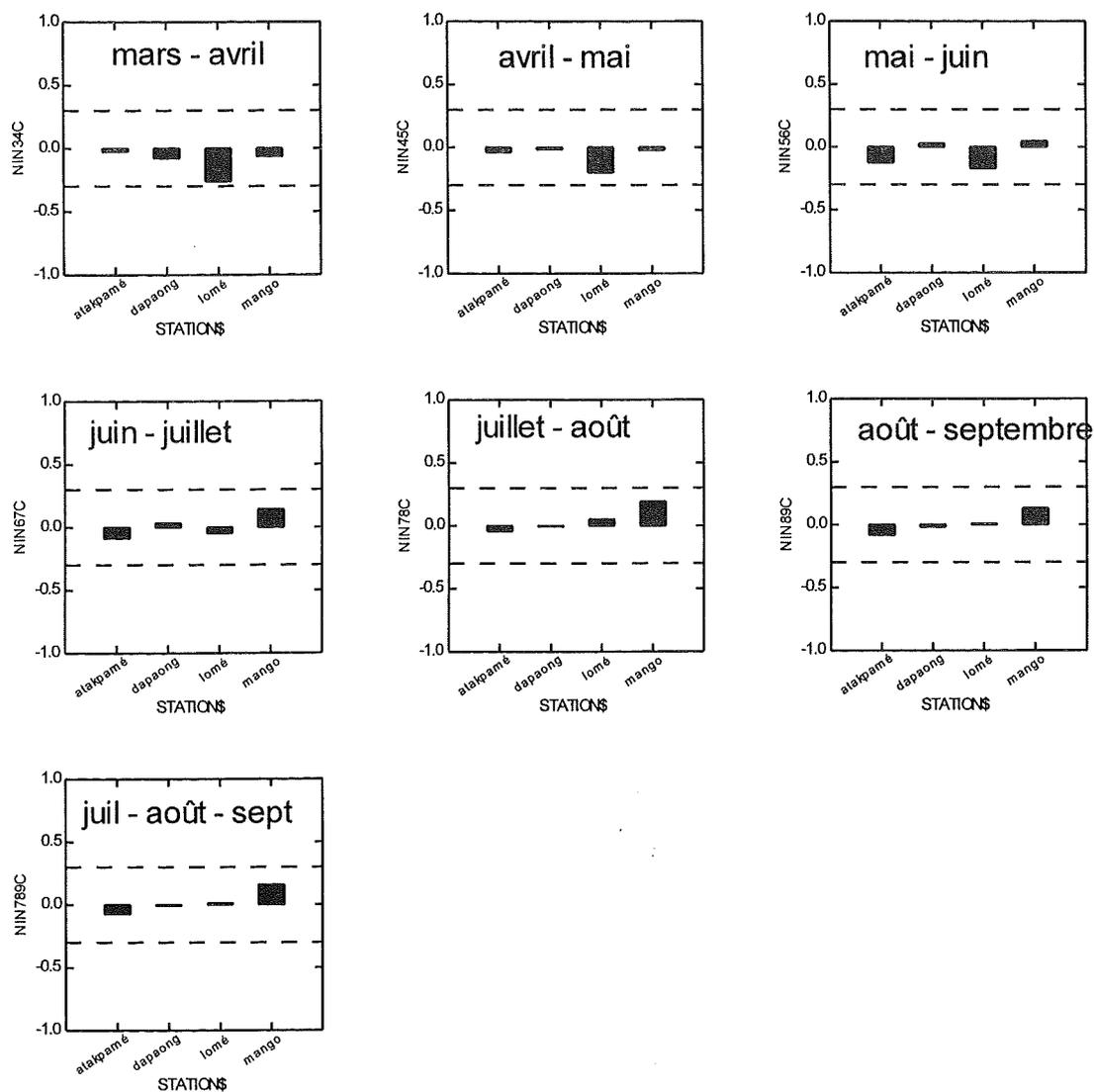
Corrélation JJAS (Stations du Togo) avec la température de la surface de l'Atlantique Equatorial Sud



Corrélation JJAS (Stations du Togo) avec la température de la surface de l' Océan Atlantique Nord Ouest

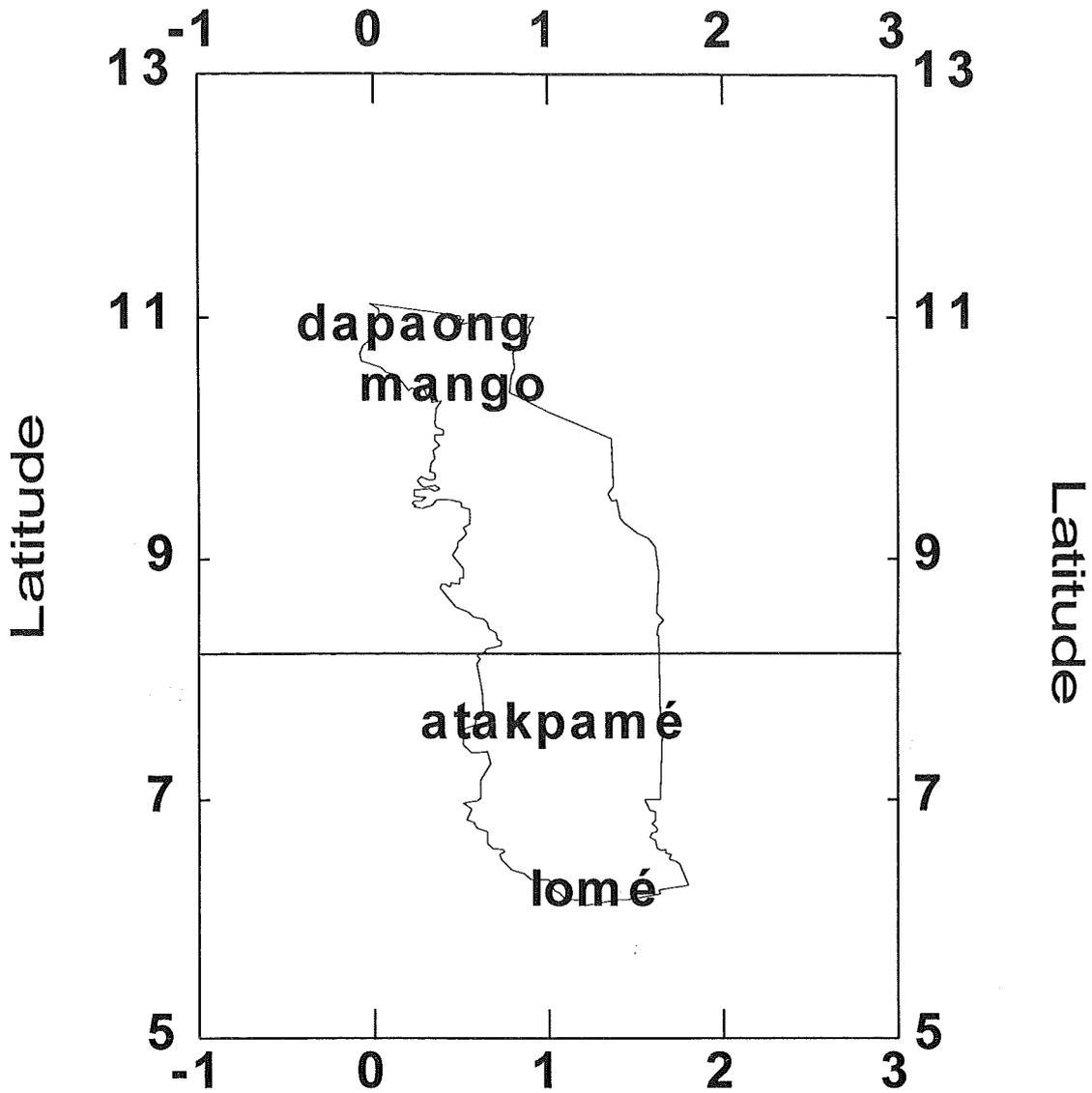


### Corrélation JJAS (Stations de Togo ) avec NINO3



Ces différentes corrélations avec la considération de proximité des stations nous ont permis de diviser le Togo en deux zones climatiques comme l'indique la carte climatique ci-après :

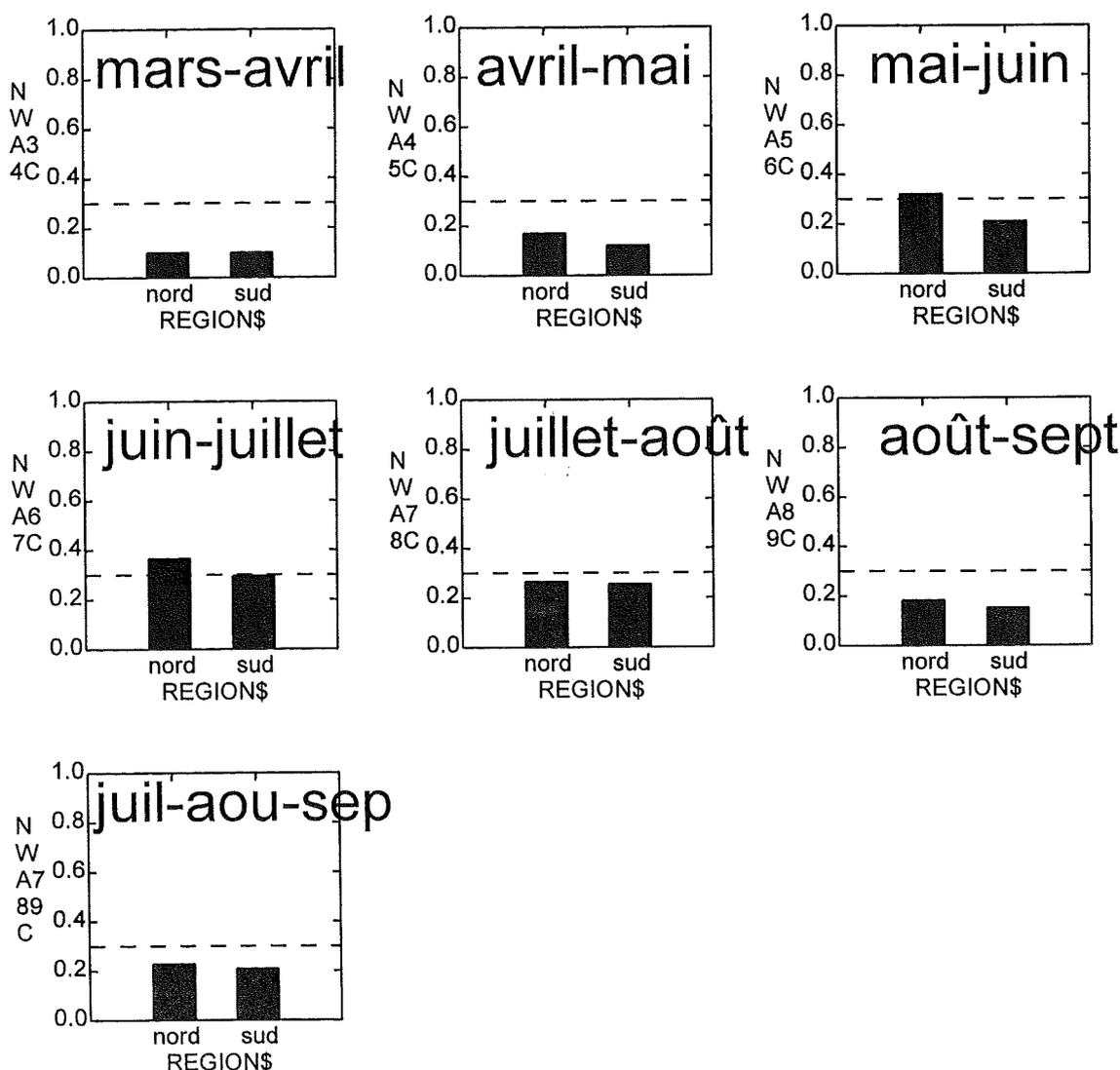
Carte Climatique du TOGO.



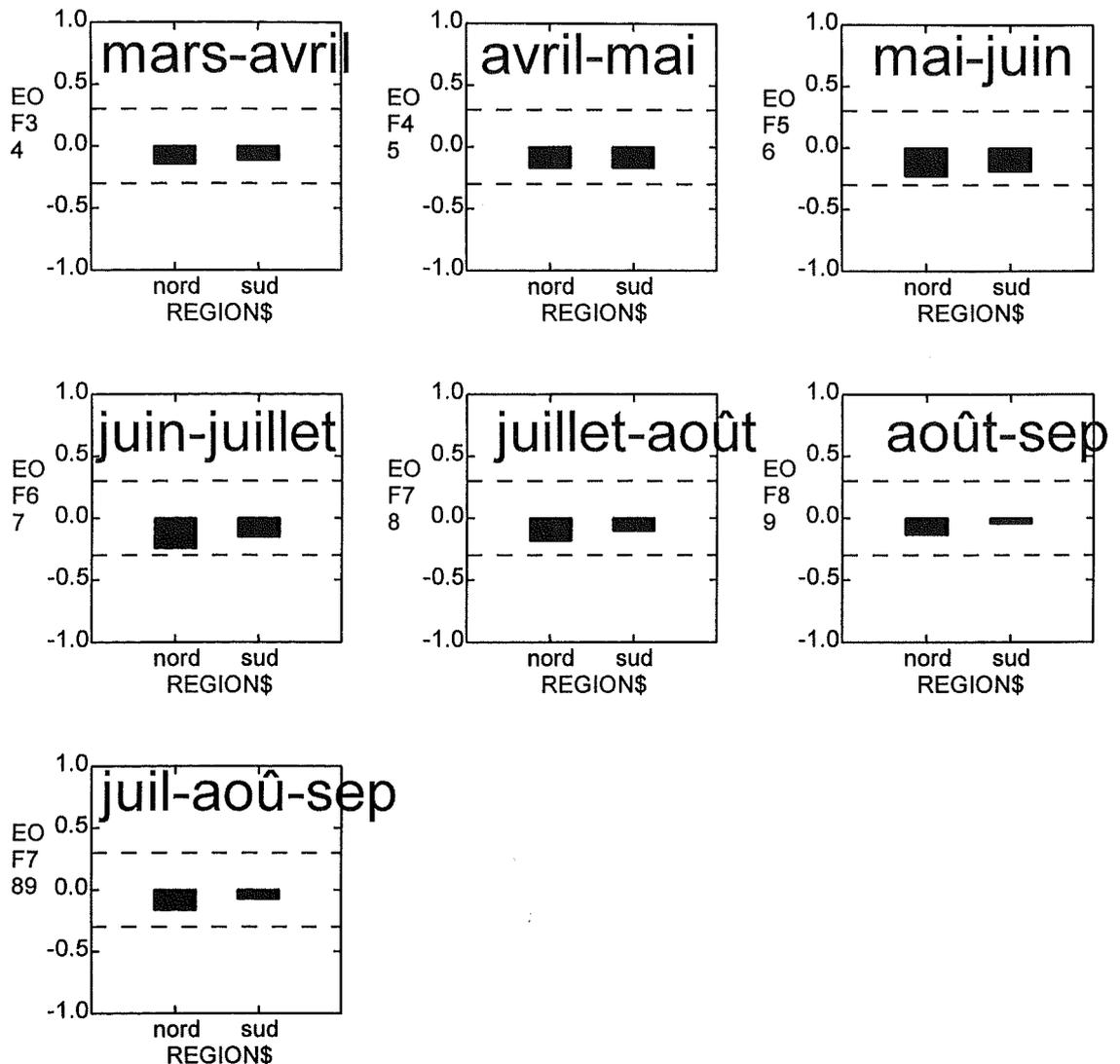
## 2)-Corrélation entre l'indice des précipitations des différentes régions du togo avec celui de la température de la surface des océans

L'indice régional de la précipitation est obtenu par la moyenne des indices des stations qui composent la région . Ensuite les différentes corrélation établies entre les deux indices (de précipitation et de température) permettent de choisir le meilleur prédicteur. Il est important de tenir compte de l'échéance de la prévision car il est nécessaire de faire la prévision avant le début de la saison pluvieuse.

Corrélation de l'indice des précipitations des régions du Togo avec la température de la surface de l'Atlantique Nord Ouest



Corrélation de l'indice des précipitations des régions du Togo avec l'indice de l'EOF<sub>3</sub>



### C) – MODELISATION

Les différentes combinaisons obtenues compte tenu des résultats des corrélations entre indices régionaux et différents prédicteurs nous ont permis d'adopter les modèles suivant les régions. Le coefficient de corrélation multiple R, le test F- ratio de la qualité de l'ajustement et le pourcentage d'erreur P obtenus par la regression linéaire multiple permettent d'adopter les meilleurs modèles.

## 1) - MODELE DE LA ZONE1(SUD) DU TOGO

**MODEL RIDX1 = CONSTANT+EA45T**

Comme nous le constatons, l'indice de la température des mois d'avril/mai de la surface de l'Atlantique Equatorial Sud explique mieux la pluviométrie de cette région du pays avec un coefficient de corrélation multiple  $R= 0,54$ , un test F – ratio de 17,48 et une probabilité de se tromper de 1 pour 1000

## 2)- MODELE DE LA ZONE 2 (Nord) du TOGO

Ce modèle est mieux expliqué par l'indice de la température de la surface de l'Atlantique Equatorial Sud et la variabilité à long terme de l'océan global des mois d'avril – mai . le coefficient de corrélation multiple  $R$  est de 0,48 , le F-ratio de 6,25 et la probabilité de se tromper de 1 pour 1000

## D) - EVALUATION DES MODELES

Nous avons évalué les modèles par la méthode dite de *cross-validation* et la méthode de la table de contingence conduisant à la détermination de KHI 2, du nombre de succès (taux ou pourcentage de coïncidence), de la probabilité de détection de sécheresse ou d'humidité (**POD**) , de la probabilité de fausse alerte et du calcul du **hit score**.

### 1) Quelques définitions

#### a). La cross-validation (Reconnaissance glissante)

Elle permet d'évaluer la performance du modèle en établissant une corrélation entre les résultats de prévision du modèle et ceux de l'observation. Si le SKILL (performance) est supérieur à 0,3 , alors le modèle est appréciable .

#### b) La table de contingence

Elle classe par ordre croissant les indices de précipitation et divise la série en trois(3) classes de période sèche , moyenne et humide. L'analyse du degré d'association entre prévu et observé permet d'avoir la table suivante:

	PS	PM	PH
OS	N11	N12	N13
OM	N21	N22	N23
OH	N31	N32	N33

OS = Observé Sec      OM = Observé Moyen      OH = Observé Humide

PS = Prévu Sec      PM = Prévu Moyen      PH = Prévu Humide

Cette table aide à calculer les occurrences suivantes :

- le pourcentage de coïncidence (taux de succès) :

$C = (N11+N22+N33) / \text{nombre d'années utilisées}$

- la probabilité de détection de sécheresse ou d'humidité

- et la fausse alerte du premier ou deuxième degré de sécheresse ou d'humidité

#### c) - Le Hit Score

Il permet de comparer la performance du modèle avec une prévision faite au hasard et est donné par la formule suivante :

$$HSS = 3/2C - 1/2$$

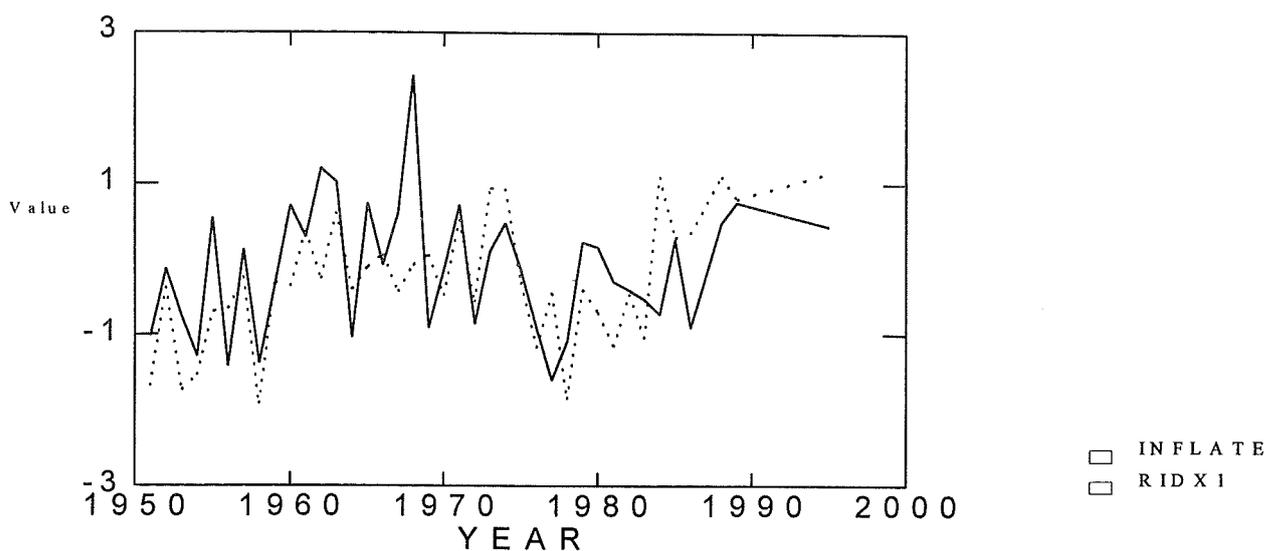
Si cette valeur est importante, le modèle est performant. Si elle est nulle le modèle est à rejeter

## 2) - EVALUATION PAR LA CROSS- VALIDATION

### a)- Pour le Sud TOGO

La performance(Skill) est égale à 0.50

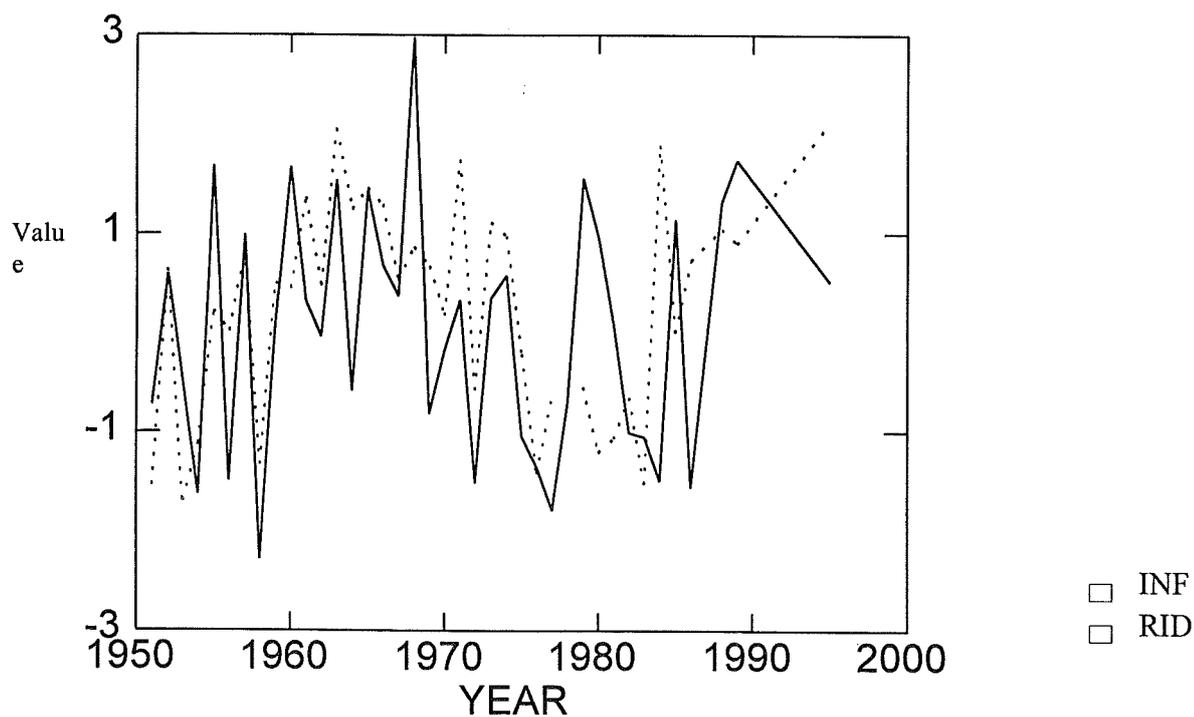
Courbes des valeurs estimées et observées au sud du togo



### b)- Pour le Nord TOGO

La performance (Skill) est de 0.43

Courbe des valeurs prévues et observées au nord du togo



### 3) - EVALUATION DE LA PERFORMANCE DU MODELE PAR LA TABLE DES CONTINGENCES

a) - Au Sud du TOGO

Modèle RDIX1=  $-0.23+0.10*EA45t$ .

**Tableau de contingence**

Années	PS	PN	PH	Total
OS	6	3	4	13
ON	3	5	5	13
OH	0	1	11	12
Total	9	9	20	38

**Légende :**

PS =Prévue Sèche    PN =Prévue Normale    PH =Prévue Humide  
 OS =Observée Sèche    ON =Observée Normale    OH =Observée Humide

Pourcentage de coïncidence ( C ) =58%

**Alerte Saison humide :**

- Probabilité de détection de l'humidité POD (h =92%)
- Probabilité de fausse alerte du premier degré :
- Prévu humide alors que observé sec =20%

**Alerte Saison sèche :**

- Probabilité de détection de la sécheresse POD (S =46%)
- Probabilité de fausse alerte du premier degré :
- Prévu sec alors que observé humide =0%

**Hit Score=37%**

b) - Au Nord du TOGO

Modèle RIDX2= $0.07+0.12*EA45t-0.14*EOF45$

**Table de contingence**

Observation	Prévision			Total
	Sèche	Moyenne	Humide	
Sèche	5	5	3	13
Moyenne	3	4	6	13
Humide	1	4	8	13
Total	9	13	17	39

**Alerte Saison sèche:**

- Probabilité de détection de la sécheresse =38%
- Probabilité de fausse alerte 1 degré :
- Prévu sec, alors que observé humide =11%

Hit score =16%

**Alerte Saison humide:**

- Probabilité de détection =62
- Probabilité de fausse alerte (1 degré) :
- Prévu humide alors qu'observé sec =18%

### **III CONCLUSION**

Il ressort des différents résultats obtenus que le modèle élaboré pour le Sud du Togo est très encourageant et prometteur, tandis que pour le Nord du Togo, le modèle mérite d'être amélioré en augmentant le nombre des stations et en recherchant d'autres prédicteurs.

Une cellule de prévision saisonnière des précipitations doit être créée au sein du service de la météorologie nationale pour poursuivre et renforcer les capacités de recherche en vue d'apporter un concours aux différents secteurs de développement qui sont intéressés par les produits climatologiques.

Nous remercions les autorités de l'ACMAD pour les outils de travail de qualité qu'elles ont mis à notre disposition mais aussi ce qui constitue une contribution appréciable au développement socio-économique de nos pays. Nous souhaitons l'organisation d'autres séminaires de ce genre pour nous aider à résoudre les problèmes de nos pays en matière de prévision.

## **Prévision Saisonnière des Pluies au NW du Maghreb en deux saisons différentes**

**Salah Sahabi Abed:** I.H.F.R, H.L.M B.P 7019, Oran, Algérie

**Omar BADDOUR:**

-Chef Programme Prévisions Climatiques et Applications, ACMAD, BP. 13184, Niamey, Niger.

-Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc.

### **I. Introduction :**

Les précipitations au nord de l'Afrique ont fait l'objet de plusieurs études. Ce travail est une contribution qui a pour objectif de compléter les travaux de recherches destinés à mieux comprendre le régime pluviométrique dans la région du Maghreb. Plusieurs centres météorologiques spécialisés dans la prévision climatique en général et dans la prévision saisonnière en particulier se sont intéressés à ce genre d'études durant la dernière décennie. En effet, il a été démontré que les anomalies de la température de la surface de la mer ont une grande influence sur la circulation saisonnière de l'atmosphère, et par conséquent possèdent un impact important dans la variation spatiale et temporelle des précipitations dans Le Maghreb. L'intérêt de cette présente étude réside dans le fait que la prévision saisonnière revêt d'une importance capitale pour le développement de notre région et que les activités économiques dans le Maghreb sont tributaires des conditions climatiques.

Dans ce présent rapport, une tentative de prévision de la vigueur de deux saisons de pluies et par deux méthodes différentes a été envisagée. La partie I a été consacrée à l'étude des précipitations de la saison Mars-Avril-Mai qui présente un intérêt agronomique important. Cette partie utilise les aspects probabilistes basés sur la méthode de contingence dans la recherche de l'impact d'ElNino3 sur les pluies dans différents endroits au Nord du Maghreb. Dans la partie II, des modèles de prévision statistique utilisant la méthode de la régression ont été conçus, pour la prédiction de la vigueur des pluies de la saison Décembre-Janvier-Février. Ainsi qu'une autre procédure d'évaluation est menée sur ces modèles basée essentiellement sur le taux de réussite de détection et de fausse alerte des années de sécheresses et des années humides dans le passé (période de l'étude).

Il est à noter que ce travail a été effectué à l'aide d'un logiciel statistique développé récemment par la maison STATSOL, et qui est le SYSTAT 7.0.

### **Partie I :**

Cette première partie concerne l'étude des précipitations de la saison Mars-Avril-Mai (MAM), dans 27 stations situées au nord-ouest de l'Afrique, 8 d'entre elles sont localisées au Maroc et 19 en Algérie. On tentera dans une première étape d'établir des relations entre les indices de pluies enregistrées dans ces stations et dans la période considérée avec l'indice El Nino3 au mois de janvier et février.

La connaissance d'une telle relation nous aidera par la suite à faire ressortir des régions sensibles à ce phénomène et le degré de son impact sur la variabilité de la pluviométrie dans ces régions.

Les coordonnées géographiques ainsi que la période de l'étude relatives à chaque station sont indiquées dans le tableau n° 1.

N° de la Station	Stations	Latitude (N)	Longitude	Altitude (m)	Période d'étude Correspondante
1	Alger	36.7	03.3E	24	1956-1995
2	Constantine	36.3	06.6E	694	1956-1995
3	Rabat	34.1	06.8W	75	1956-1995
4	Oran	35.6	00.6W	90	1956-1995
5	Annaba	36.8	07.8E	3	1956-1995
6	Tanger	35.7	05.9W	15	1956-1995
7	Casablanca	34.6	07.7W	57	1956-1995
8	Kenitra	34.3	06.6W	5	1956-1995
9	Agadir	30.4	09.6W	23	1956-1995
10	Merrakech	31.6	08.0W	464	1956-1995
11	Oujda	34.8	01.9W	465	1960-1995
12	Relizane	35.7	00.5E	81	1960-1995
13	Skikda	36.9	06.9E	1	1960-1995
14	Tlemcen	35.0	01.3W	592	1961-1995
15	Fès	34.0	05.0W	571	1961-1995
16	Tetouan	35.6	05.3W	5	1963-1995
17	Miliana	36.3	02.2E	715	1967-1995
18	Aintemouchent	35.5	01.2W	325	1967-1995
19	Biskra	34.8	05.6E	82	1967-1995
20	Mascara	35.6	00.3E	474	1968-1995
21	Msila	35.7	04.5W	441	1968-1995
22	Bejaïa	36.7	05.1E	2	1969-1995
23	Mostaganem	35.8	00.1E	210	1970-1995
24	Tebessa	35.3	08.1E	820	1972-1995
25	Djelfa	34.7	03.2E	1144	1972-1995
26	El bayadh	33.7	01.0E	1341	1973-1995
27	Chlef	36.2	01.3 E	143	1974-1995

**Tableau n°1 : Caractéristiques des stations utilisées dans l'étude**

### I-1-Données et méthode utilisées :

Les valeurs standardisées du total pluviométrique saisonnier Mars-Mai pour chaque station sont calculées et utilisées comme prédicands. Ces valeurs sont ensuite corrélées avec la moyenne de l'indice ELNino3 des mois de janvier et février prise comme prédicteur, sachant qu'à cette période ce phénomène se trouve dans sa puissance maximale de l'année.

La région d'ELNino3 est délimitée par 5°N et 5°S en latitude et entre 160°W et 90°W en longitude.

Pour déterminer le degré de signification du coefficient de corrélation, on testera l'hypothèse initiale  $H_0$  qui suppose que le coefficient n'est pas significatif à un seuil de 95%. On procède ensuite à la vérification de cette hypothèse. Ce test est donné par un coefficient (P) tel que Si  $P < 0.05$ , l'hypothèse  $H_0$  est acceptée et le coefficient de corrélation est statistiquement significatif. Les résultats figurent dans le tableau n°2.

Stations	Coef.de Corr	Test P à 95%
Alger	-0.1538	0.3434
Constantine	-0.1796	0.2673
Rabat	-0.4494	0.0036
Oran	-0.4338	0.0046
Annaba	0.0788	0.6291
Tanger	-0.4457	0.0040
Casablanca	-0.4521	0.0031
Kenitra	-0.4551	0.0032
Agadir	-0.3835	0.0146
Merrakech	-0.5002	0.0010
Oujda	-0.4282	0.0092
Relizane	-0.2939	0.0819
Skikda	+0.2165	0.2046
Tlemcen	-0.4026	0.0671
Fès	-0.5885	0.0002
Tetouan	-0.4861	0.0041
Miliana	-0.3793	0.0424
Aintemouchent	-0.3447	0.0671
Biskra	-0.0244	0.9002
Mascara	-0.3442	0.0728
Msila	-0.2516	0.1966
Bejaïa	-0.1231	0.5296
Mostaganem	-0.3967	0.0448
Tebessa	+0.2048	0.3370
Djelfa	-0.1472	0.4925
El bayadh	-0.2993	0.1654
Chlef	-0.3328	0.1302

**Tableau n° 2 :** Corrélation entre l'indice standardisé des totaux de pluie de la saison Mars-Mai et l'indice moyen des mois de Janvier-Février d'ELNino3 en chaque station, ainsi que le test de signification de ce coefficient de corrélation à un niveau de signification égale à 95%.

### I-2-Illustration graphique :

Le tracé des iso-corrélations sur la carte géographique a permis de mettre en évidence deux zones significatives ayant des corrélations opposées, Est et Ouest, indiquant l'effet plus ou moins important d'ELNino sur ces régions. Tandis que, la région centrale reste insensible à ce phénomène (Figure:1).

### I-3-Modélisation :

Pour chaque station, un modèle de prévision probabiliste basé sur la méthode de la table de contingence est déterminé. La méthode utilisée consiste à classer pour chaque station et dans l'ordre ascendant le fichier de l'indice pluviométrique ainsi que celui de l'indice ELNino3; subdiviser ensuite les deux fichiers en 3 catégories (terciles) : Sèche, normale et humide pour la pluie et froid, normal et chaud pour les valeurs de l'indice El Nino3 (Tableau n°3).

Stations	Années ELNino3 Froid sont inférieures à	Années ELNino3 chaud sont supérieures à	Années sèches sont inférieures à	Années humides sont supérieures à
Alger	-1.7914	4.7958	-0.4006	0.4137
Constantine	-1.7914	4.7958	-0.5468	0.2251
Rabat	-1.7914	4.7958	-0.5094	0.3880
Oran	-1.7914	4.7958	-0.5716	0.2534
Annaba	-1.7914	4.7958	-0.5719	0.3873
Tanger	-1.7914	4.7958	-0.6022	0.5369
Casablanca	-1.7914	4.7958	-0.3831	0.2315
Kenitra	-1.7914	4.7958	-0.4128	0.2355
Agadir	-1.7914	4.7958	-0.5393	0.1140
Merrakech	-1.7914	4.7958	-0.6304	0.1848
Oujda	-1.5750	4.7958	-0.4589	0.1968
Relizane	-1.5750	4.7958	-0.1083	0.5743
Skikda	-1.5750	4.7958	-0.5855	0.3466
Tlemcen	-1.5750	4.7958	-0.4221	0.2452
Fes	-0.5855	0.3466	-0.3554	0.3879
Tetouan	-1.9833	5.2917	-0.4617	0.3137
Miliana	-0.8333	5.2917	-0.4077	0.0800
Aintemouchent	-0.8333	5.2917	-0.3019	0.4645
Biskra	-0.8333	5.2917	-0.5408	0.1884
Mascara	-2.0375	5.6125	-0.2371	0.3870
Msila	-2.0375	5.6125	-0.5560	0.5504
Bejaïa	0.0875	5.6125	-0.3535	0.3778
Mostaganem	0.0875	5.2917	-0.2562	0.4007
Tebessa	0.0875	5.2917	-0.3684	0.5769
Djelfa	0.0875	5.2917	-0.0468	0.5496
El bayadh	0.0875	4.7958	-0.4221	0.2452
Chlef	0.0875	5.2917	-0.1944	0.4516

**Tableau n° 3 :** Limites des terciles inférieurs et supérieurs des indices des précipitations et d'ELNino3 caractérisant chaque type de catégorie.

### I-4-Probabilités de prévision :

Un pourcentage de prévision (table de contingence) correspondant aux nombres d'années et de chaque type de catégorie de prédicteur et de prédicteand est calculé. Sur la période entière et pour chaque station, la probabilité de la catégorie pluviométrique en fonction de la catégorie d'ELNino3 est déterminée.

Les résultats obtenus montrent que les plus fortes probabilités de prévision sont celles de la catégorie sèche de l'indice pluviométrique dans la plupart des stations situées au Maroc lorsque ELNino3 se trouve dans sa phase chaude . (Voir Tableau n°4).

Stations	Nombre d'années				Probabilité (en %) de			Probabilité (en %) de la		
	Précipitations				prévision pour une catégorie			catégorie de pluie sur toute la		
	Evénement El Nino3	Sèches	normales	humides	sèche	normale	humide	sèche	normale	Humide
Alger	Froid	5	5	3	38.46	38.46	23.08	32.5	37.5	30.0
	Normal	4	6	4	28.57	42.86	28.57			
	chaud	4	4	5	30.77	30.77	38.46			
Constantine	Froid	4	5	4	30.77	38.46	30.77	32.5	35	32.5
	Normal	4	6	4	28.57	42.86	28.57			
	Chaud	5	3	5	38.46	23.08	38.46			
Rabat	Froid	2	6	5	15.38	46.15	38.46	32.5	37.5	30.0
	Normal	4	4	6	28.57	28.57	42.86			
	Chaud	7	5	1	58.85	38.46	7.69			
Oran	Froid	2	5	6	15.38	38.46	46.15	35.0	35.0	30.0
	Normal	7	3	4	50.0	21.43	28.57			
	chaud	5	6	2	38.46	46.15	15.38			
Annaba	Froid	3	9	1	23.08	69.23	7.69	32.5	37.5	30.0
	Normal	5	5	4	35.71	35.71	28.57			
	Chaud	5	1	7	38.46	7.69	58.85			
Tanger	Froid	3	5	5	23.08	38.46	38.46	35.0	35.0	30
	Normal	4	5	5	28.57	35.71	35.71			
	Chaud	7	4	2	58.85	30.77	15.38			
Casablanca	Froid	4	4	5	30.77	30.77	38.46	32.5	35.0	32.5
	Normal	3	5	6	21.43	35.71	42.86			
	Chaud	6	5	2	46.15	38.46	15.38			
Kenitra	Froid	5	4	7	31.25	25.00	43.75	35.0	35.0	30.0
	Normal	3	6	2	27.27	54.56	18.18			
	Chaud	6	4	3	46.15	30.77	23.08			
Agadir	Froid	3	6	4	23.07	46.15	30.77	35.0	35.0	30.0
	Normal	3	5	6	21.43	35.71	42.86			
	Chaud	8	3	2	61.54	23.08	15.38			
Merrakech	Froid	2	6	5	15.38	46.15	38.46	32.5	35.0	32.5
	Normal	3	6	5	21.43	42.86	35.71			
	Chaud	8	2	3	61.54	15.38	23.08			
Oujda	Froid	1	5	7	07.69	38.46	58.85	33.33	33.33	33.33
	Normal	5	4	2	45.45	36.36	18.18			
	Chaud	6	3	3	50.00	25.00	25.0			
Relizane	Froid	1	7	5	07.69	53.85	38.46	33.33	33.33	33.33
	Normal	5	2	4	45.45	18.18	36.36			
	Chaud	6	3	3	50.00	25.0	25.0			
Skikda	Froid	5	4	4	38.46	30.77	30.77	25.00	41.67	33.33
	Normal	2	6	3	18.18	54.50	27.27			
	Chaud	2	5	5	16.67	41.67	41.66			
Tlemcen	Froid	2	3	8	15.38	23.08	61.54	37.14	28.57	34.29
	Normal	5	4	1	50.00	40.00	10.00			
	Chaud	6	3	3	50.00	25.00	25.00			
Fes	Froid	3	4	7	21.43	28.57	50.00	34.29	34.28	31.43
	Normal	2	0	0	100.00	00.00	00.00			
	Chaud	7	8	4	36.84	42.11	21.05			
Tetouan	Froid	2	6	4	16.67	50.00	33.33	36.36	30.30	33.34
	Normal	4	2	5	36.36	18.18	45.45			
	Chaud	6	2	2	60.00	20.00	20.00			
Miliana	Froid	3	4	4	27.28	36.36	36.36	34.48	37.93	27.59
	Normal	3	3	3	33.33	33.33	33.33			
	Chaud	4	4	1	44.44	44.44	11.11			

**Tableau n° 4** : Résultats des calculs de probabilités de la prévision de la catégorie de la pluie en fonction de celle d'ElNino3.

STATIONS	Nombre d'années				Probabilité (en %) de prévision pour une catégorie d'ElNino3 donnée			Probabilité (en %) de la catégorie de pluie sur toute la période		
	Précipitations				sèche	normale	humide	sèche	normale	Humide
	Evénement El Nino3	sèches	normales	humides						
Aintemouchent	Froid	1	5	5	09.09	45.45	45.45	37.14	28.57	34.29
	Normal	3	4	2	33.33	44.44	22.22			
	Chaud	7	1	1	77.78	11.11	11.11			
Biskra	Froid	4	4	3	36.36	36.36	27.27	37.93	31.03	31.03
	Normal	3	3	3	33.33	33.33	33.33			
	Chaud	4	2	3	44.44	22.22	33.33			
Mascara	Froid	1	6	2	11.11	66.67	22.22	32.14	39.29	28.57
	Normal	3	4	4	27.27	36.37	36.37			
	Chaud	5	1	2	62.50	12.50	25.00			
Msila	Froid	3	4	2	33.33	44.44	22.22	32.14	35.71	32.14
	Normal	3	3	5	27.27	27.27	45.45			
	chaud	3	3	2	37.50	37.50	25.00			
Bejaïa	Froid	3	4	3	30.00	40.00	30.00	37.04	33.33	29.63
	Normal	2	3	3	25.00	37.50	37.50			
	Chaud	5	2	2	55.60	22.20	22.20			
Mostaganem	Froid	2	5	3	20.00	50.00	30.00	38.46	30.77	30.77
	Normal	3	2	3	37.50	25.00	37.50			
	Chaud	5	1	2	62.50	12.50	25.00			
Tebessa	Froid	2	5	6	15.38	38.46	46.15	35.0	35.0	30.0
	Normal	7	3	4	50.0	21.43	28.57			
	chaud	5	6	2	38.46	46.15	15.38			
Djelfa	Froid	2	3	4	22.22	33.33	44.44	37.50	33.33	29.17
	Normal	3	2	3	37.50	25.00	37.50			
	Chaud	4	3	0	57.14	42.86	00.00			
El bayadh	Froid	3	1	4	37.50	12.50	50.00	34.78	30.43	34.78
	Normal	2	1	3	33.33	16.67	50.00			
	Chaud	3	5	1	33.33	55.56	11.11			
Chlef	Froid	1	5	2	12.50	62.50	25.00	31.82	36.36	31.82
	Normal	2	3	3	25.00	37.50	37.50			
	Chaud	4	0	2	66.67	00.00	33.33			

**Tableau n°4 ( Suite ) : Résultats des calculs de probabilités de la prévision de la catégorie de la pluie en fonction de celle d'ElNino3.**

### I-5-Réduction proportionnelle de l'erreur - Mesure de l'association entre

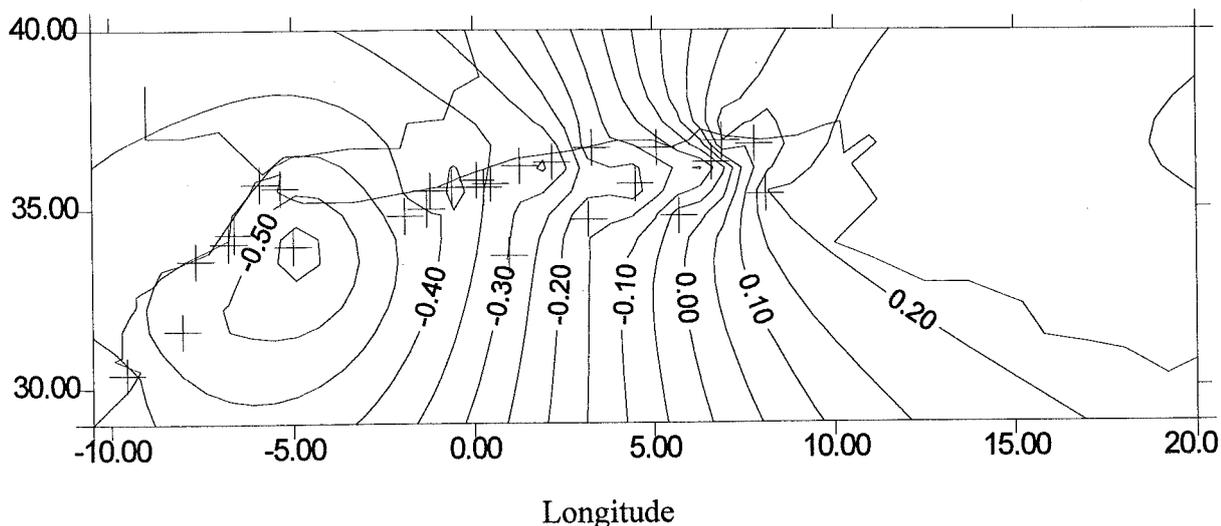
#### Prédicand et prédicteur : Goodman - Krusal's Lambda :

Lambda de Goodman – Krusal est une mesure de l'existence et de la force d'une association entre une catégorie d'une variable indépendante pour prévoir un mode de catégorie de la variable dépendante. Lambda mesure le taux de réduction de l'erreur si le prédicteur est pris en compte pour la prédiction du prédicand.

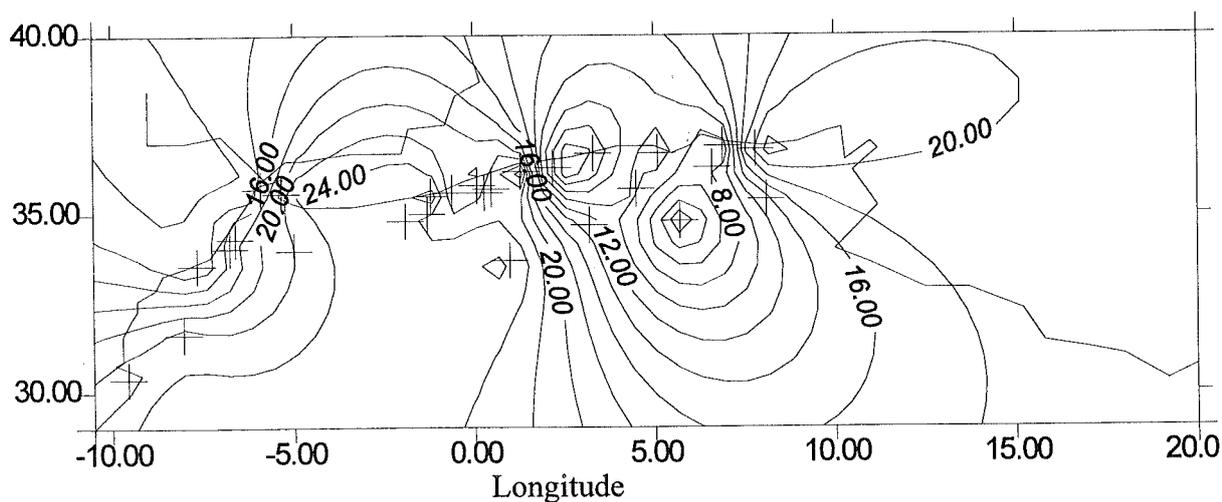
Lambda varie entre 0 et 1. Lambda prend la valeur 1, quand pour chaque catégorie de variable indépendante, une seule contient tous les cas. Dans ce cas, La connaissance de la valeur de la variable indépendante permettra de prévoir la valeur dépendante à un taux de réduction d'erreur équivalent à 100%.

Quand les deux variables sont statistiquement indépendants, Lambda prend la valeur 0. Malheureusement, l'inverse n'est pas vrai. Si Lambda est égale à 0, cela ne signifie pas obligatoirement que les deux variables sont indépendants. Zéro, indique que l'information supplémentaire dans la variable indépendante n'aidait plutôt pas à prévoir le mode de la variable dépendante. Pour notre cas, nous procédons au calcul des valeurs de Lambda afin de

déterminer, l'importance du lien pouvant exister entre ElNino3 et les indices de pluie en chaque station. L'étalement de ces valeurs sur la carte géographique a permis de déceler deux zones Est et Ouest significatives (dipôle latitudinal) au moment où El Nino3 dans la région centrale ne se semble pas être un facteur informatif prépondérant pouvant aider à expliquer la variation de la pluie (figure:2)



**Figure 1:** Carte d'iso-corrélations entre l'indice des précipitations de la saison Mars-Mai et la moyenne de l'indice El Nino3 des mois de janvier et février en chaque station et dans la période considérée.



**Figure 2:** Carte d'Iso-Goodman-Krusal's lambdas(x100) entre l'indice des précipitations de la saison Mars-Mai et L'indice moyen d'EINino3 des mois de janvier et février en chaque station et dans la période considérée.

## Partie II :

Cette partie concerne l'étude des précipitations dans la région Nord de l'Algérie. Trois sous régions Est, Nord et Ouest sont mises en évidence. Chaque sous-région comprend 3 stations. La saison choisie est celle de Décembre-Février. L'étude consiste à établir des relations entre les indices pluviométriques dans ces régions et les indices des anomalies de la température de la surface de l'océan, comme : Indice NWAtlantique (voir son expression), **ELNino3** (Pacifique), l'indice d'Atlantique équatoriale et la troisième composante principale des anomalies de la température de la surface de la mer globale (**EOF3**) calculée sur des points de grille de 10° x 10° (Folland et al.1991). Cette composante met en évidence la variabilité inter-hémisphérique et à long terme des anomalies de la température de la surface de la mer. L'indice NWAtlantique est défini comme étant la moyenne spatiale standardisée des anomalies de la température de la surface de l'océan Atlantique sur la région 20°N - 40°N et 30°W -10°W.

### II-1-Données utilisées :

L'indice régional standardisé des totaux des mois de décembre- janvier –février est calculé pour chaque région et est ensuite corrélé avec les différents indices indiqués précédemment. Dans le tableau n° 5, figurent les stations utilisées ainsi que la période de l'étude relatives à chaque région.

Région	Stations	Latitude (N)	Longitude	Période
EST	Annaba	36.8	7.8 E	1960-1995
	Constantine	36.3	6.6 E	
	Skikda	36.9	6.9 E	
CENTRE	Alger	36.7	3.3 E	1969-1995
	Bejaïa	36.7	5.1 E	
	Miliana	36.3	2.2 E	
WEST	Oran	35.6	0.6W	1967-1995
	Tlemcen	35.0	1.3W	
	AinTemouchent	35.5	1.2W	

**Tableau 5 :** Stations et périodes utilisées dans l'étude par région

### II-2-Modélisation :

#### II-2-1-Région Est :

##### II-2-1-1-Le prédictand :

L'indice pluviométrique standardisé régional (INDEX 1) est défini comme prédicteur pour la région Est. Cet indice régional des totaux de pluie des mois de décembre à février sera ensuite utilisé pour les opérations de corrélations.

Détermination de l'index régional :

$$\text{INDEX 1} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{35} \sum_{j=1}^3 \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma_j}$$

### II-2-1-2-Les prédicteurs :

Les corrélations de INDEX1 avec les anomalies de la SST globale à différentes saisons suggèrent quelques indices significatifs avec un lag de 2 mois, notamment le NWAatlantique et la composante EOF3 (sans rotation) du mois de septembre.

Mois	Prédicteurs	Nom du prédicteur
Juillet	NWAatlantique 20N-40N/10W-30W	NWATJUILL
Septembre	UEOF3(9)	UEOF3(9)

### II-2-1-3-Formulation du modèle :

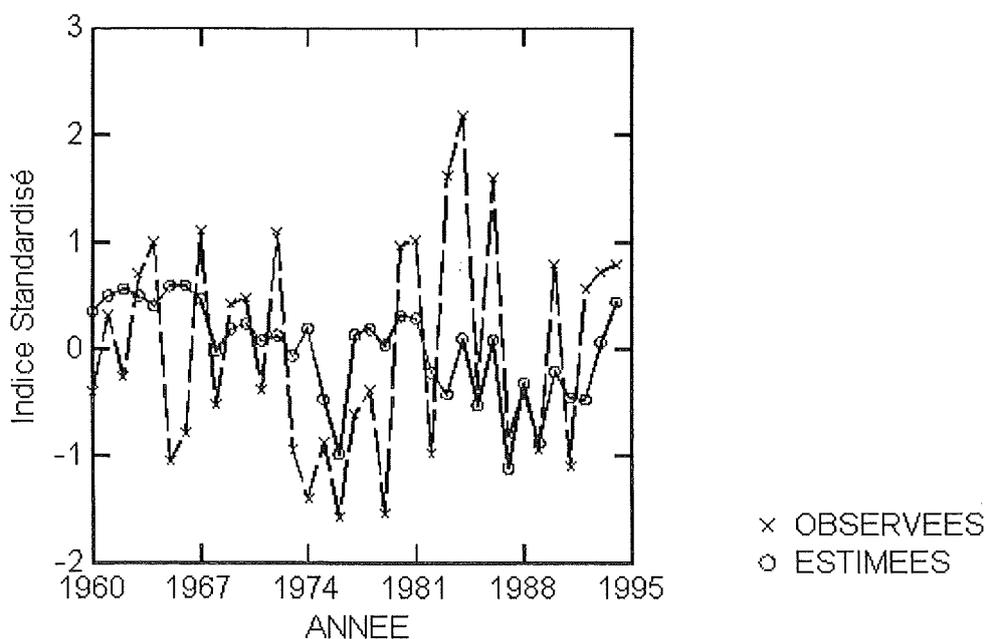
Le modèle de prévision est conçu par la méthode de la droite de régression. Le coefficient de régression multiple est de **0.4504**. Ce modèle se présente sous la forme :

$$\text{INDEX1} = 0.2587 - 0.1978 * \text{UEOF3}(9) - 0.0545 * \text{NWATJUILL}$$

### II-2-1-4-Validation du Modèle :

Ce modèle est évalué par la méthode de reconnaissance glissante (Cross Validation). La corrélation entre les valeurs estimées par cette méthode et les valeurs observées est **r=0.3205**.

**Figure n° 3:** Courbes de variation temporelle des séries de valeurs observées (INDEX1) et de valeurs estimées par la méthode de reconnaissance glissante.



### II-2-1-5-Evaluation du modèle :

La procédure d'évaluation du modèle est effectuée à l'aide de la table de contingence. Cette méthode permet de connaître la performance du modèle dans la détection des années de sécheresses (et/ou les années humides) dans le passé. Pour réduire la variance, Les valeurs

estimées par la méthode de reconnaissance glissante seront multipliées par 1/R (tel que R est le coefficient de régression du modèle obtenu par l'estimation). La nouvelle série obtenue et celle des valeurs observées seront classées en trois catégories : Sèche, Normale et Humide. Le pourcentage de détection des années sèches (ou des années humides) est noté par **POD**, le pourcentage de fausse alerte sera noté par **FAR**.

Valeurs Observées	Valeurs Estimées			Catégorie Sèche		Catégorie Humide	
	Sèche	Normale	Humide	POD (%)	FAR (%)	POD (%)	FAR (%)
Sèche	6	5	2	46	10	45	20
Normale	3	5	3				
Humide	1	5	5				

## II-2-2-Région Centre :

### II-2-2-1-Le prédictand :

L'indice régional des totaux de pluies déterminé pour la région Ouest des mois de décembre à février entre 1969 et 1995 utilisé comme prédictand de cette zone, se présente sous la forme de :

$$\text{INDEX2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{26} \sum_{j=1}^3 \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma_j}$$

### II-2-2-2-Prédicteurs :

Les meilleurs prédicteurs détectés pour cette zone sont la moyenne de l'indice NWAtlantique des mois de juin et juillet avec UEOF3 au mois d'avril. Le Lag déterminé est donc de 4 mois.

Mois	Prédicteurs	Nom du prédicteur
Juin-Juillet	NWAtlantique 20N-40N/10W-30W	NWATJUL
Avril	UEOF3(4)	UEOF3(4)

### II-2-2-3-Construction du modèle :

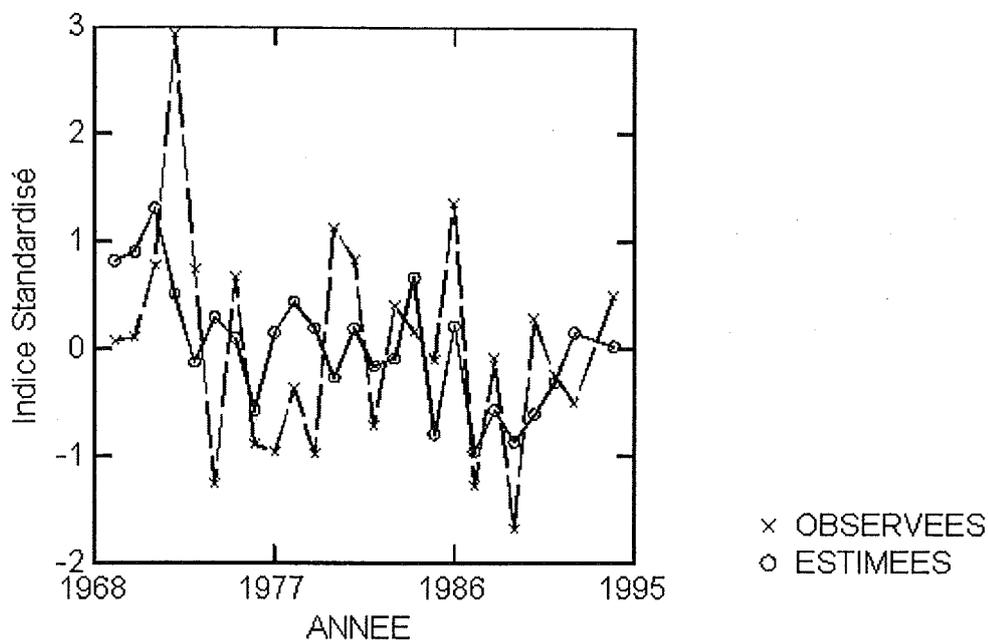
Le même principe que pour la zone Est est poursuivi pour élaborer le modèle de prévision. Le coefficient de régression multiple ainsi calculé est équivalent à 0.5578.

La droite de régression ainsi obtenue est :

$$\text{INDEX2} = 0.5655 - 0.0789 * \text{NWATJUL} - 0.2262 * \text{UEOF3(4)}$$

### II-2-2-4-Evaluation du modèle :

Le coefficient de corrélation entre les valeurs enregistrées et celles estimées par la méthode de reconnaissance glissante est  $r=0.3809$  qui se trouve significatif à 95%.



**Figure n° 4:** Courbes de variation temporelle des séries de valeurs observées (INDEX2) et de valeurs estimées par la méthode de reconnaissance glissante.

#### II-2-2-5-Vérification du modèle par la table de contingence :

Valeurs Observées	Valeurs Estimées			Catégorie Sèche		Catégorie Humide	
	Sèche	Normale	Humide	POD (%)	FAR (%)	POD (%)	FAR (%)
Sèche	3	6	1	30	13	44.4	13
Normale	4	0	3				
Humide	1	4	4				

#### II-2-3-Région Ouest :

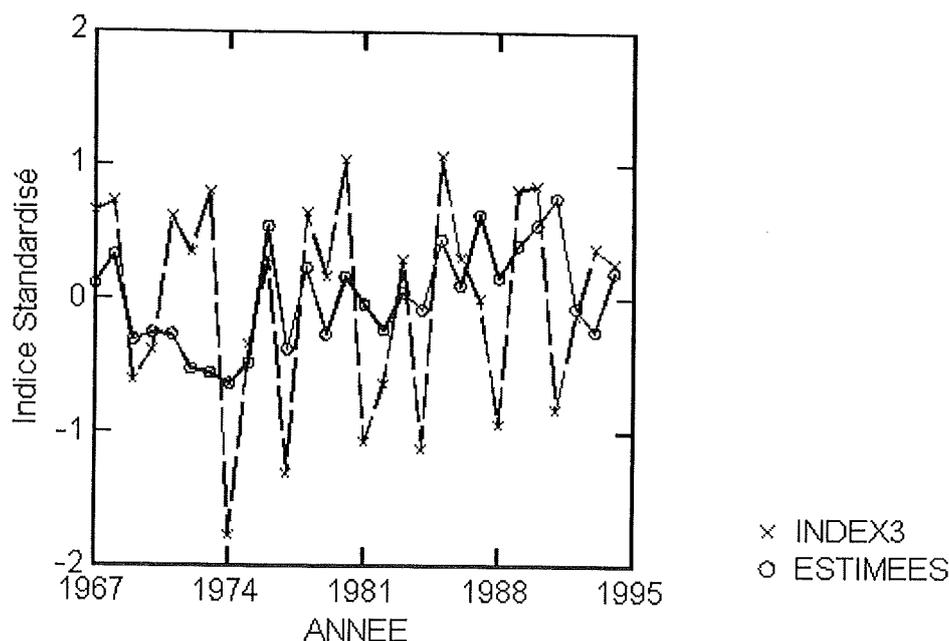
##### II-2-3-1-Prédicand et prédicteurs :

Le prédicand de cette région est donné par la formule :

$$\text{INDEX3} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{28} \sum_{j=1}^3 \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma_j}$$

Cet indice est ensuite corrélé avec les différents indices de la SST. En effet, seul l'indice NWAtlantique moyen aux mois de septembre et octobre paraît comme le plus significatif.

Mois	Prédicteurs	Nom du prédicteur
Septembre- Octobre	NWAtlantique 20N-40N/10W-30W	NWATSEPOCT



**Figure n°5:** Courbes de variation temporelle des séries de valeurs observées (INDEX3) et de valeurs estimées par la méthode de reconnaissance glissante.

#### II-2-3-2-Formule du Modèle :

La droite de régression simple se présente sous la forme :

$$\text{INDEX3} = -0.0049 + 0.1089 * \text{NWATSEPOCT}$$

Le coefficient de régression ainsi calculé est  $R=0.4950$ .

#### II-2-3-3-Validation du modèle :

Toujours par la méthode de la reconnaissance glissante, on procède à l'évaluation du modèle ainsi construit. Le coefficient de corrélation obtenue entre les séries de l'indice observé et celui estimé par cette méthode est de l'ordre de **0.3452**.

#### II-2-3-4-Vérification du modèle par la table de contingence :

Valeurs Observées	Valeurs Estimées			Catégorie Sèche		Catégorie Humide	
	Sèche	Normale	Humide	POD (%)	FAR (%)	POD (%)	FAR (%)
Sèche	6	3	1	60	27	60	10
Normale	2	3	3				
Humide	3	1	6				

Le tableau montre que le modèle présente un seuil de détection important des années de sécheresses et des années pluvieuses.

### III- Conclusion et Recommandations :

Cette étude a montré qu'il existe plusieurs possibilités de prédiction de la vigueur des précipitations saisonnières au Nord Ouest du Maghreb. Cependant, il s'avère que ElNino3 dans sa phase active (Janvier-Février) présente un impact important sur la pluviométrie de la saison Mars-Avril-Mai, notamment au Maroc et à un degré moindre à l'Est de l'Algérie. La détermination des probabilités du caractère des pluies en fonction des différentes catégories d'ElNino3 a montré que les stations à l'Ouest de la zone possèdent les plus fortes valeurs ( $\geq 50\%$ ). Ces résultats sont ainsi confirmés par les corrélations entre les indices de précipitations et d'ElNino3 ( $r \leq -0.4$ ).

La détermination de l'importance de ce phénomène et sa contribution dans la réduction de l'erreur dans le cas où il est pris en compte dans la prédiction de la variable dépendante (pluie), par le calcul de Lambda de Goodman-Krusal, a mis en évidence deux zones Est et Ouest (dipôle), tandis que la région centrale semble être moins sensible.

Dans la partie II, il a été montré que les indices régionaux des précipitations de la saison hivernale (décembre-janvier-février) sont bien corrélés aux anomalies de l'indice Nord-Ouest Atlantique et à quelques mois en avance. Après leurs élaborations par les équations de régression, les modèles de prévision des pluies sur les trois régions Est, Centre et Ouest de l'Algérie montrent qu'en moyenne la détection de la vigueur de la saison peut se faire avec un seuil de 40%.

Le meilleur score a été enregistré dans la région Ouest (60%).

Donc, il est estimé que les résultats auxquels nous sommes parvenus sont satisfaisants et encourageants. Ce type d'effort pourrait servir comme source pour le développement économique et à la gestion rationnelle des ressources hydriques et agronomiques de la région, comme il présente un intérêt fondamental dans la prise de la décision pour le secteur socio-économique.

En outre, l'initiative prise par l'ACMAD et qui concerne le regroupement à la fois des climatologues et les décideurs dans ce genre d'atelier, est une nouvelle démarche qui a montré son efficacité et mérite d'être encouragée, comme elle permettra sans doute le développement rapide d'une synergie régionale, voire continentale.

En ce qui concerne le logiciel SYSTAT, cet outil paraît très performant, il présente un avantage considérable comparativement aux autres logiciels de statistique et il est doté d'une multitude de méthodes statistiques ; par ailleurs, il s'avère que plusieurs chercheurs en se sont servis pour leurs travaux de recherches (ex: Dr Neil Ward). En fin, Il est recommandé à ce que ce genre d'étude et d'approche soient développés et généralisés pour tout le Nord de l'Afrique.

## Bibliographie:

- Experimental seasonal forecasting of tropical rainfall at the UK meteorological office, NATO ASI Series, Vol.16, prediction of interannual climatic variations, M.Neil Ward, C.K.Folland, K.Maskell, A.W.Colman, D.P.Rowel and K.B.Lane, 1993.
- Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, Daniel S. Wilks, The Atmospheric Sciences Academic Press, Inc, 1995.
- Desktop Data Analysis with SYSTAT, Leland Wilkinson, Grant Blank, Christian Gruber, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 1996.
- Transparents de Dr: M.Neil Ward, cours sur la prévision saisonnière, à l'occasion de l'atelier régional sur la prévision saisonnière en Afrique de l'Ouest organisé par l'AC.M.A.D, Février-Avril, 1998, Niamey, Niger.
- Rainfall Seasonal Prediction of the NW of Africa, Sahabi Salah, A.C.M.A.D, August, 1997
- Données des indices des anomalies de la SST, A.C.M.A.D
- Données des précipitations, Institut hydrométéorologique de formation et de recherches, Oran, Algérie.

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Mr Omar Baddour, le chef de l'unité climatique à ACMAD, pour sa disponibilité permanente et ses conseils qui m'ont permis de réaliser ce travail. Je remercie aussi Mr M.S.Boulahya, le Directeur général de l'ACMAD, qui a mis à ma disposition tous les moyens nécessaires et indispensables pour la réalisation de ce rapport, prouvant à travers ce genre d'activité ses encouragements aux chercheurs africains pour assurer le développement de leurs pays, une des missions du centre ACMAD.

Mes remerciements vont également à mon directeur (Directeur général de l'IHFR) qui m'a donné encore une fois l'occasion pour développer mes connaissances au sein de ce centre, en participant à l'atelier sur la prévision saisonnière des pluies en Afrique de l'Ouest, et en acceptant mon détachement comme personne ressource à l'ACMAD.

**Forecasting JAS Seasonal Rainfall Amount and the Suitability of the JAS Season for Specific Crops in the Guinea Coast region of West Africa, using Equatorial Atlantic Sea Surface Temperature Anomalies**

Okey Aligbe (Nigeria Meteorological Services, Lagos, Nigeria)

Yaya Berte (SODEXAM, Côte D'Ivoire Meteorological Service, Abidjan, Côte D'Ivoire)

M. Neil Ward (CIMMS, University of Oklahoma, USA)

## 1.0. INTRODUCTION

Since the beginning of this century, scientists have been engaged in studies related to the influence of Sea Surface Temperature (SST) on global climate variability. Much of the research has been centred on the tropical Pacific, where discoveries on the patterns of both Sea Surface Temperature and Pressure have led to the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon.

While the impacts associated with ENSO events are believed to girdle the globe in the tropics, some schools of thought believe, too, that local oceanic characteristics have more influence over the climate of some regions than ENSO. It is in line with this opinion that the relationship between equatorial Atlantic SST and seasonal rainfall amount on one hand, and with expected crop performance, on the other hand, is being examined in the Guinea Coast region bounded by Latitude 10 N southward to the coast and Longitude 7.5 W to 7.5 E. The relationship of this region to Equatorial Atlantic SST has been demonstrated in Ward et al. (1990), Janicot (1992) and Rowell et al. (1995). These studies provide SST-atmosphere diagnostic results and modelling results that give confidence in the existence of a real physical relationship between Equatorial Atlantic SST and July-September (JAS) rainfall in the region. This underpins and justifies the more detailed statistical examination undertaken here for smaller space scales, month-by-month resolution of the relationships and ultimately, to the output from a crop model, which will incorporate indications of whether the likelihood of dry spells (that damage crops) are also predictable.

Using the statistics/graphics SYSTAT package, statistical relationships between pre-rainfall season SST anomalies and monthly/seasonal rainfall totals were examined while applying the model  $Y = A_0 + A_i(X)$ . The best compromise between forecast lead-time and loss of skill was found with May SSTA upon which the forecasts in this project are focused. Note that near-zero correlation was found between February SSTA and JAS Guinea Coast rainfall.

This is a report of both science and an indication of the practical tools that were used to undertake the work at ACMAD (more details are available in a report held at ACMAD) . In addition to SYSTAT, the file conversion capabilities of Microsoft EXCEL proved very useful. The crop modelling facilities of INSTAT were also availed in the routine leading to the forecast of crop performance. The case study reported here with Côte D'Ivoire rainfall data serves as a useful guide for further work on other areas along the Guinea Coast region.

Section 2 describes the calculation of rainfall indices, while section 3 describes the calculation of SST indices. Section 4 describes the calculation of key diagnostic and prognostic relationships between Equatorial Atlantic SST and monthly and seasonal rainfall indices for Côte D'Ivoire, Nigeria and the Gulf of Guinea as a whole. Different lead-times of the SST on the rainfall were investigated. In section 5, the actual regression results are tabulated. Section 6 introduces the idea of using discriminant analysis to forecast the probability that the July-September rainfall total will be above a certain threshold.. Section 7 applies the regression procedure to 13 synoptic stations in Côte D'Ivoire. It was hoped that the chosen rainfall

threshold for discriminant analysis could be a requirement for the success of a particular crop. However, for crops, the distribution of rainfall through the season is also important, including such features as dry spell lengths. It is therefore necessary to use a crop model to assess the suitability of each year to a particular crop. Section 8 applies the Frere-Popov crop model to the Côte D'Ivoire stations with a long record, assuming maize or millet is planted on July 1st each year. This is in some senses a theoretical example, since the JAS season in much of Côte D'Ivoire represents a relative break in rains as the ITCZ moves to the north of the region, and the season is not currently used for agriculture. The main aim is therefore to provide an example of methodology. However, the results suggest that it may be possible to use the JAS season for agriculture in a number of years when the rains remain good through JAS, and this has the potential to benefit crop scheduling. Thus, applications may be possible, but would need to be developed in close collaboration with agencies who understand the existing farming systems. The crop index is predicted in regression relations with Equatorial Atlantic SST with good success. To complement the regression prediction, a crop-index value of 80 (out of 100) is assumed to indicate a successful season and discriminant analysis is used to forecast the probability that the season will be suitable for a given crop. It is recognised that agricultural research is still underway to more firmly relate the output from a crop model to the performance in the field.

## 2.0. RAINFALL INDICES

For the calculation of rainfall indices, the entire globe has been subdivided into grid boxes of dimension 2.5 latitude and 3.75 longitude (Hulme 1994). All calculations for any nation or region are based on the grid boxes falling within its frontiers. Area-average percentage of normal indices were calculated using the grid-boxes that covered (i) the region bounded by 7.5W to 7.5E, South of 10N (referred to as Guinea Coast region), (ii) Côte D'Ivoire, (iii) Nigeria.

## 3.0. SST INDICES

As with rainfall, indices were also generated for SST. Calculations are based on the global SST data set from the UK Met Office (Bottomley et al., 1990). Data were formed into 10 lat x 10 long grid boxes. Area-average indices were calculated by averaging SST anomalies.

## 4.0. CORRELATION MAPS

The correlations between monthly and seasonal precipitation index with Equatorial Atlantic SST index were examined as follows:

July precip v Apr SST	Aug Precip v Apr SST	Sep Precip v Apr SST	JAS Precip v Apr SST
May SST	May SST	May SST	May SST
Jun SST	Jun SST	Jun SST	Jun SST
Jul SST	Jul SST	Jul SST	JAS SST
	Aug SST	Aug SST	

Global SST correlation maps were printed for each of the above combinations, and results inspected in detail (the maps are available from the authors). On the whole, the most useful correlation for forecasting was obtained with May SST. In May, the strongest correlations are south of the Guinea coastline, at 0-10S. During the rainfall season the strongest correlations expand northward, and the best index is from the coastline, southward to 10S.

Conversely, the correlations between Equatorial Atlantic SST and monthly/ seasonal precipitation indices were examined as follows:

July SST v Apr Precip	Aug SST v Apr Precip	Sep SST v Apr Precip	JAS SST v Apr Precip
May Precip	May Precip	May Precip	May Precip
Jun Precip	Jun Precip	Jun Precip	Jun Precip
Jul Precip	Jul Precip	Jul Precip	JAS Precip

Rainfall correlation maps over tropical North Africa were printed and examined for each of the above combinations.

### 5.0. REGRESSION ANALYSIS

Based on the correlation results, it was decided to simply form a single SST predictor using SST in the Equatorial Atlantic. *For the Guinea Coast and Côte D'Ivoire, 3 SST grid-boxes stretching over Latitude 0 to 10 S and Longitude 20 W to 10 E were used; while for Nigeria, the 2 eastern grid-boxes covering Latitude 0 to 10 S and Lon 10 W to 10 E were used, which is physically reasonable since Nigeria is further east than Côte D'Ivoire.*

In the Tables:

Column 1 indicates the month/season of the precipitation index

Column 2 indicates the month/season of the SST index

Column 3 indicates the correlation between the SST index and the precipitation index

In the regression prediction model  $\text{Precip index} = a_0 + a_1 * (\text{SST index})$ :

Column 4 indicates the constant coefficient  $a_0$

Column 5 indicated the regression slope coefficient  $a_1$

Column 6 indicated the standard error of the prediction (%)

#### REGRESSION RESULTS FOR GUINEA COAST

Precip Index	SST Index	Multiple R	Constant	Eqs	Std Error
Jul	Jul	0.649	96.768	3.748	29.786
Jul	Jun	0.638	94.319	3.763	30.013
Jul	May	0.538	98.067	3.686	32.894
Aug	Jul	0.58	103.795	4.148	39.465
Aug	Jun	0.517	101	3.761	41.169
Aug	May	0.52	103.637	4.444	41.672
JAS	Jul	0.664	98.826	2.57	19.636
JAS	Jun	0.651	97.1	2.569	19.825
JAS	May	0.609	99.26	2.82	20.944

#### REGRESSION RESULTS FOR CÔTE D'IVOIRE

Precip Index	SST Index	Multiple R	Constant	Eqs	Std Error
Jul	Jul	0.395	86.574	3.311	52.254
Jul	Jun	0.458	83.82	3.911	50.209
Jul	May	0.41	87.494	4.097	52.032
Aug	Jul	0.506	105.385	4.58	53.386
Aug	Jun	0.415	103.42	3.853	56.083
Aug	May	0.493	105.642	5.366	54.143
JAS	Jul	0.521	93.425	2.599	29.136
JAS	Jun	0.56	91.808	2.869	28.122
JAS	May	0.543	94.17	3.265	28.856

#### REGRESSION RESULTS FOR NIGERIA

Precip Index	SST Index	Multiple R	Constant	Eqs	Std Error
Jul	Jul	0.243	90.537	0.912	28.001
Jul	Jun	0.276	89.333	0.88	27.742
Jul	May	0.419	89.81	1.79	26.41
Aug	Jul	0.499	101.386	3.548	47.301
Aug	Jun	0.407	98.367	2.454	49.864
Aug	May	0.319	101.568	3.162	50.729

JAS	Jul	0.438	95.452	1.396	21.992
JAS	Jun	0.363	94.237	0.982	22.796
JAS	May	0.444	95.385	1.598	21.937

## 6.0. FORECAST PROBABILITY OF RAINFALL CATEGORIES.

The forecast probability of monthly or seasonal rainfall reaching certain thresholds can be obtained by applying discriminant analysis. This was successfully implemented, though no results are reported here.

## 7.0. USING NATIONAL RAINFALL DATA (*A case study with Côte D'Ivoire*)

It will be recalled that the data used so far are the Area Average Global SST data sets from the UK Met Office and grid-box rainfall data sets from the Climatic Research Unit, Norwich. The observed rainfall data from any country or region can also be used. A case study was implemented with daily rainfall data from thirteen stations in Côte D'Ivoire, coded in ORSTOM format. Stations with missing records were dropped in the crop analysis results reported in section 8. For section 7, the mean percentage of normal across the 13 stations was calculated for each month Jul, Aug and Sept, and for the season July-September, for the years 1955-90.

### 7.1. Correlation and Regression analysis

Correlation maps were produced to show the relationship between rainfall and SST and the results are available from the authors. The model ( $Y = A_0 + A_i(X)$ ) was once again applied using the Equatorial Atlantic SST index as predictor. The regression analysis produced the following results which show even higher correlations than the results obtained from using the data from Norwich:-

#### REGRESSION RESULTS FOR CÔTE D'IVOIRE INDEX BASED ON STATIONS

Precip Index	SST Index	Multiple R	Constant	Eqs	Std Error
Jul	May	0.501	92.521	4.628	44.434
Jul	Jun	0.622	88.474	5.208	40.199
Jul	Jul	0.544	92.279	5.096	43.069
Aug	May	0.532	98.255	5.508	48.744
Aug	Jun	0.526	95.625	4.94	48.943
Aug	Jul	0.678	96.888	7.115	42.316
JAS	May	0.681	96.481	4.313	25.789
JAS	Jun	0.747	93.689	4.29	23.398
JAS	Jul	0.735	96.286	4.72	23.866

#### REGRESSION RESULTS FOR CÔTE D'IVOIRE USING CLIMATIC RESEARCH UNIT DATA

Precip Index	SST Index	Multiple R	Constant	Eqs	Std Error
Jul	May	0.41	87.494	4.097	52.032
Jul	Jun	0.458	83.82	3.911	50.209
Jul	Jul	0.395	86.574	3.311	52.254
Aug	May	0.493	105.642	5.366	54.143
Aug	Jun	0.415	103.42	3.853	56.083
Aug	Jul	0.506	105.385	4.58	53.386
JAS	May	0.543	94.17	3.265	28.856
JAS	Jun	0.56	91.808	2.869	28.122
JAS	Jul	0.521	93.425	2.599	29.136

## 8.0. Crop Modelling

The SYSTAT program was linked to INSTAT to accomplish crop index prediction. The simple Frere and Popov (1979) crop model is used, as discussed in detail in FAO report 73 (1985). The suite of computer programs function as follows:-

The first part is handled by a macro which creates a data set of 10\_day (dekadal) rainfall totals for each station. The second segment creates an INSTAT program to do the analysis using FAO crop coefficient data. A value of 40mm per 10 days is assumed for Potential Evapotranspiration in the results reported here, and we assume that we plant the crop on July 1st each year. The output from the crop model is a crop index value for each station for each year. The crop index value ranges from 100 (no water stress suffered) to 0. Values greater than about 80 are typically felt to indicate an adequate season, though this is still an area of research. The crop index values were read back into the SYSTAT program and processed in the same way as the rainfall indices were, i.e. they were subjected to regression analysis and discriminant analysis using the same SST predictor as before.

## 8.1. Regression Analysis

The relationships between May SST anomalies on one hand, and July to September rainfall, and the crop coefficient of 100-day Maize and 100-days Millet on the other, were examined using the model  $Y = A_0 + A_i(X)$ . The results are as follows:-

### Correlation with May SSTA in the Gulf of Guinea

Station Number	Station Co-ordinates	Station Name	JASrainfall total	Maize (100 day) index	Millet (100 day) index
65578	5.15 N; 3.56 W	Abidjan	0.40	0.63	0.67
65585	5.18 N; 3.18 W	Adiake	0.55	0.78	0.76
65560	6.53 N; 6.27 W	Daloa	0.38	0.56	0.57
65562	6.39 N; 4.42 W	Dimbokro	0.52	0.66	0.67
65557	6.08 N; 5.57 W	Gaguo	0.64	0.52	0.56
65548	7.24 N; 7.31 W	Man	0.33	0.57	0.57
65528	9.30 N; 7.34 W	Odiene	0.02	0.01	0.08
65599	4.57 N; 6.05 W	Sassandr	0.55	0.71	0.69
65592	4.25 N; 7.22 W	Tabou	0.47	0.29	0.18

Note that the correlations are on average higher with the crop index than with the seasonal rainfall total. An assumption of linear relationship is not so bad (see the plot of crop index for Adiake versus May SSTA in Fig. 1). The correlations with crop index are of a strength (all  $>0.5$ ) that indicates useful applications can be developed, with the exception of Odiene and Tabou, which are on the northern and western edges of the geographical region that is associated with the Equatorial Atlantic SST, so the weaker correlations were to be expected for these two stations.

Increasing potential evapotranspiration to 50mm per decade made no difference of any substance to the correlation skill scores. A set of crop coefficients for tomatoes was also successfully applied (not shown).

## 8.2. Forecast probability of crop index

To illustrate the type of product that is possible, we made a forecast of the probability that each station in Côte D'Ivoire will have a maize crop index  $>80$  in 1997, given the SST in the Equatorial Atlantic in February (Fig. 2). The values in Fig. 2 are mainly climatological probabilities that the index is  $>80$ , since February SST does not alter the likelihood of the July-September seasonal characteristics (i.e. the correlation between February SST and July-September rainfall is near zero). Using May SST, the probabilities will be significantly altered from their climatological values, if there is a strong SST anomaly in the Equatorial Atlantic. The map is intended to illustrate the type of product that may be produced in the future. It has the potential to be integrated into Geographical Information Systems (GIS) to support decision making. The product can either be generated using empirical relations, as done here, or using the output from regional high resolution numerical models coupled to crop models, or through a combination of the two.

## Acknowledgements

The authors are grateful to Dr Roger Stern for guidance with the application of the crop model in INSTAT, to Mr Kouassi Koffi Antoine for useful agrometeorological advice, to Mr Seka for assistance with accessing the daily rainfall data for Côte D'Ivoire and to M Boulahya for encouragement.

## REFERENCES

- Bottomley, M., Folland, C.K., Hsiung, J., Newell, R.E., and Parker D.E., 1990: Global ocean surface temperature atlas (GOSTA). Joint Meteorological Office/Massachusetts Institute of Technology Project. Project supported by US Dept. of Energy, US National Science Foundation and US Office of Naval Research. Publication funded by UK Depts. of Energy and Environment. pp20 and 313 Plates. HMSO, London. **Error! Bookmark not defined.**
- Frere, M. and G. Popov, 1979: Agrometeorological crop monitoring and forecasting. FAO Plant Production and Protection Paper no. 17. pp64.
- Hulme, M., 1994: Validation of large-scale precipitation fields in General Circulation Models. pp 387-406. In Global precipitation and climate change. Eds Desbois, M. and F. Desalmand. NATO ASI Series, Springer-Verlag, Berlin, 466pp.
- Janicot, S., 1992: Spatiotemporal variability of West African rainfall. Part II: Associated surface and air mass characteristics. *J. Climate*, 5, 499-511.
- Rowell, D.P., Folland, C.K., Maskell, K., and Ward, M.N., 1995: Variability of summer rainfall over tropical North Africa (1906-92): Observations and modelling. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 121, 669-704.
- Ward, M.N., Owen, J.A., Folland, C.K., and Farmer, G., 1990: The relationship between sea surface temperature anomalies and summer rainfall in Africa 4-20°N. Long Range Forecasting and Climate Memorandum No. 32. Available from the National Meteorological Library, Meteorological Office, Bracknell, Berkshire, UK.

## List of Figures

**Figure 1.** Forecasting the suitability of a season for a particular crop. Here, a crop model is used to assess the suitability of each year 1955-90 for growing 100-day maize planted on 1st July in each year at Adiake, Côte D'Ivoire. The suitability (measured by the crop index output from the model) is plotted against the May sea-surface temperature anomaly (SSTA) in the region 20°W-10°E, Equator-10°S. Clearly there is potential to forecast the crop index from the May SSTA. Note that if the outlier with very cold SST (1958) is removed, the correlation does not fall dramatically (0.71 without 1958, compared to 0.78 with 1958).

**Figure 2.** Forecasting the probability of success of a particular crop in Côte D'Ivoire. The maize crop index is calculated for each year as described in the caption to Figure 1. Assuming a crop index of  $>80$  indicates a satisfactory season, discriminant analysis is used to forecast the probability that the crop index will be  $>80$ , given the SSTA in the region 20°W-10°E, Equator-10°S. To demonstrate the system, an experimental forecast is here shown for a

selection of stations in Côte D'Ivoire using February 1997 SST. The probabilities are multiplied by 100 (i.e.  $57 = 0.57$  probability of success). Contours are drawn every 20 (graphics is here to illustrate the idea and could clearly be improved, for example, the 0 and 100 contours are not needed, while coastal and topography background should be added).

**DEVELOPING A CAPACITY FOR FORECASTING SEASONAL RAINFALL  
and  
USE OF LONG-LEAD CLIMATE FORECASTS FOR ENHANCED AND  
SUSTAINABLE  
AGRICULTURAL PRODUCTION IN KENYA**

**SIMON THEURI GATHARA** , Kenya Meteorological Department, DMC; P.O. Box 30259 Kenya Nairobi.

**Omar BADDOUR:**

-Chef Programme Prévisions Climatiques et Applications, ACMAD, BP. 13184, Niamey, Niger.

-Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc.

## **1.0 INTRODUCTION.**

### **1.1 Background.**

The inspiration to do this Pilot Application Project (PAP) is based on the realisation that there exists today, models which can predict the variability of the Sea Surface Temperatures (SSTs) 6 months even up to one year in advance, and the fact that this can be a very useful tool for predicting seasonal rainfall (Livezey, 1990). The ability to forecast seasonal rainfall early, means that the forecasts can have benefits if used in decision making for economic planning (Glantz 1977). Some socio-economic sectors where such benefits may be realised include agriculture, transport and communication, wildlife and tourism and energy. The benefits include minimising the usually severe socio-economic impacts of climate variability. However, the longest lead-time currently perceived possible is about 6 months, for example forecasts of July to September rainfall issued prior to January-February would on average contain almost no skill (Ward et al 1991).

Like many other developing countries in the tropics, Kenya depends on agriculture for national food requirements and even export. Since weather and climate are important factors in crop production, accurate seasonal rainfall forecasting is therefore crucial in Kenya for the proper planning of the national agricultural production.

Further motivation to carry out this study is drawn on the African Centre of Meteorological Applications for Development (ACMAD) Demonstration Project's main objective of promoting the use of timely and reliable climate information and prediction services for socio-economic development in Africa. This will help to reduce the negative impacts of climate variability on human activities. ACMAD also aims at improving the human meteorological and climatological capabilities of the African Continent through research on the physical causes of climate including change and variability in order to be able to make forecasts of 1 month, 1 season, 1 year etc (Guidelines, 1996).

Under literature review in Section 2, a brief description is given of the climate of Kenya, the impacts of climate variability and the ENSO phenomenon. Section 3 follows with Data and the Methodology used while Results and Discussion are done in Section 4. Section 5 and 6 are the Conclusions and Recommendations respectively.

## 1.2 Objectives of the PAP study.

Part I of the project aims at exploring statistical relationships between the Global Sea Surface Temperatures (GSSTs), the El Niño and Southern Oscillation (ENSO) phenomenon and climate (Rainfall) variability over Kenya. Once statistical relationships are established they will then be used to develop simple regression models for predicting seasonal rainfall over Kenya, with an ultimate goal of developing a National Seasonal Rainfall Forecast Model (NSFM) i.e. a Kenya Meteorological Department (KMD) model. When the model becomes practically operational, the products derived from it will be used along with those already existing in KMD in conjunction with the additional information that is already being obtained from the Global Climate Prediction Centres (GCPS). That means there will be an integration of information derived from various models including the NSFM which will help to produce more accurate seasonal to inter annual type of climate predictions tailored for practical use by decision makers in the various sectors of the Kenyan economy.

At this juncture it is important to mention that the PAP is aimed at being practical with regard to the routine production of climate prediction products for use in decision making for Kenya. In establishing the prediction models, earlier research work and results will be taken into account. Further, in order to achieve this objective of being practical, and as a way of ACMAD transferring technology to Kenya, the author has been exposed fully to the expert knowledge currently available at ACMAD on matters of Climate prediction. In addition, ACMAD has donated a Personal Computer, SYSTAT for Windows 7.0 and other software to ensure that the project takes off well.

A secondary objective of the PAP is to demonstrate the benefits which can be derived socio-economically by making use of long lead climate forecasts accompanied by related agrometeorological information and to establish a mechanism of ensuring products and services are used by the decision makers in Kenya. This objective will be achieved by Part II of PAP.

## 2.0 LITERATURE REVIEW

### 2.1 The climate of Kenya.

Kenya is located in the eastern part of the continent and is bounded by latitudes 5°N to 5°S and longitudes 34°E to 42°E (Figure 1). The movement of the Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ) determines the seasonal characteristics of rainfall which is the dominant climatic factor in Kenya (Mutai et al 1997). The climate is highly variable in time and space and the season to season variation of rainfall is large with extremes causing droughts and floods. Ogallo (1980) attributed the high spatial and temporal variation of rainfall in Kenya to the complex topographical factors, the existence of many inland large lakes, and mesoscale circulation of thermal origin which modify the wind patterns over Kenya. Table 1 and also Figures 2, 3 and 4 show the mean seasonal rainfall over Kenya for March-April-May (MAM), July-August-September (JAS) and October- November-December (OND) seasons. The seasonal means computation is based on 1961 - 1990 climatological reference period. For the OND season, the seasonal minimum, maximum, mean and the standard deviation of Rainfall have also been computed and are shown in Table 2. Figure 5 shows the time series of the seasonal (MAM, JAS, OND) rainfall totals over Butere Health Centre in Western Kenya which in general terms, is representative of the rest of Kenya. In addition to droughts and floods, climate variability is also manifested through the occurrence of cyclone activities,

lightning, hailstorms, strong winds and weather or climate related outbreaks of pests as well as plant and animal diseases.

**Table 1: Seasonal means, and Annual mean totals for the study stations;  
Computations based on 1961 - 1990**

PAP NO	SEASONAL MEAN			ANNUAL MEAN	% ANNUAL MEAN		
	MAM	JAS	OND		MAM	JAS	OND
Moyale	418.37	274.05	249.89	942.31	44.40	29.08	26.52
Eldoret	328.24	376.80	144.90	849.94	38.62	44.33	17.05
Marsabit	689.75	570.81	302.07	1562.63	44.14	36.53	19.33
Butere	620.73	386.86	288.92	1296.51	47.88	29.84	22.28
Lamu	519.25	285.27	275.74	1080.26	48.07	26.41	25.53
Kwale	704.16	428.32	324.95	1457.42	48.32	29.34	22.30
North Ho.	546.45	239.97	47.96	834.37	65.49	28.76	5.75
Nakuru	378.10	318.99	186.12	883.25	42.81	36.12	21.08
Nyeri *	105.47	36.51	326.32	468.31	22.52	7.80	69.68
Archers	388.98	55.42	178.84	623.24	62.41	8.89	28.69
Garissa	155.86	3.90	177.80	337.57	46.17	1.12	52.67
Narok	425.73	36.03	184.77	646.52	65.84	5.57	28.58
Nanyuki	485.49	211.83	219.15	916.48	52.97	23.11	23.91
Dagoretti	420.9	222.20	322.50	965.59	43.59	23.01	33.40
Nyandarua	82.22	8.96	192.80	283.98	28.95	3.16	67.89
Sotik	339.45	283.42	391.69	1014.56	33.46	27.93	38.61
Kajiado	420.12	108.74	156.82	685.66	61.27	15.86	22.87
Voi	158.29	10.48	278.19	446.97	35.41	2.34	62.24
El Wak	153.91	18.31	124.62	296.84	51.85	6.17	41.98
Mombasa Moi Airport	345.16	63.41	284.80	693.37	49.78	9.14	41.07
Maralal	258.29	155.83	123.81	537.93	48.01	28.97	23.02
Katamani*	523.97	72.85	292.31	889.14	58.93	8.19	32.88
Makindu	282.10	360.35	332.84	975.30	28.92	36.95	34.12
Samburu *	518.48	286.82	234.85	1040.16	49.85	27.57	22.58
Kakamega	232.75	19.9	394.80	647.46	35.95	3.07	60.98
Thika	208.49	27.59	315.33	551.41	37.81	5.00	57.19
Mtwapa	165.82	12.76	269.66	448.24	36.99	2.847	60.16
Kericho	445.33	207.34	359.55	1012.21	44.00	20.48	35.52
Kilgoris	95.49	204.27	392.95	792.71	24.66	25.77	49.57
Kisii	292.05	47.96	467.84	807.86	36.15	5.93	57.91
Kisumu	213.44	6.02	336.78	556.24	38.37	1.08	60.55
Eldama Ravine	236.87	99.07	262.81	598.75	39.56	16.55	43.89
Lodwar	428.88	44.78	55.14	528.79	81.10	8.47	10.43
Mandera	155.86	3.90	102.91	262.67	59.34	1.48	39.18

\* Suspect the seasonal means computed here for the given station may be too low or high.

**Table 2: The Minimum, Maximum, Mean and standard deviation values of Rainfall for OND season: 1961-1990.**

PAP NO.	STATION NAME	MIN	MAX	MEAN	STD	
ST1	Butere Health C.	118.5	719.8	288.9	127.9	
ST2	Eldoret Inst.	20.5	412.7	144.9	93.34	
ST3	Kakamega Met	209.3	1056.7	394.8	168.7	
ST4	Kericho Jamji	182.7	858.2	359.6	153.7	
ST5	Kilgoris	152.6	762.5	393.0	136.9	
ST6	Kisii DC's Off	187.2	1326.3	467.8	234.6	
ST7	Kisumu Met Stn	127.4	828.1	336.8	146.9	
ST8	Eldama-Ravine	59.6	1136.8	262.8	220.4	
ST9	Lodwar Met	0.2	393.8	55.1	87.0	
ST10	Moyale Met	43.4	586.7	249.9	128.3	
ST11	Mandera Met	15.0	316.3	102.9	75.1	
ST12	Marsabit Met	58.2	972.3	302.1	196.2	
ST13	Lamu DO Off	58.5	681.5	275.7	148.3	
ST14	Kwale Agri Dep	72.0	712.4	324.9	161.8	
ST15	North Horr	0	307.4	47.9	76.1	
ST16	Nakuru	88.3	394.6	186.2	77.7	
ST17	Nyeri Met	129.8	943.2	326.3	143.9	
ST18	Archers Post, Isiolo	35.3	607.7	178.8	142.4	
ST19	Garissa met station	22.7	529.8	177.8	120.4	
ST20	Narok met station	70.0	686.4	184.8	126.7	
ST21	Nanyuki Met station	100.5	579.0	219.2	96.2	
ST22	Dagorreti met station	100.7	1166.5	322.5	199.7	
ST23	Nyandarua Agricultural Station	42.1	842.3	192.8	156.1	
ST24	Sotik Divisional Agric. Office	152.6	762.5	391.7	134.2	
ST25	Kajiado D.O.	14.9	709.4	156.8	129.8	
ST26	Voi Met station	78.1	484.7	278.2	116.4	
ST27	El-Wak	12.0	394.7	124.6	96.1	
ST28	Mombasa Moi Airport	65.2	609.4	284.8	142.2	
ST29	Maralal D.C.	38.9	500.4	123.8	101.7	
ST30	Katamani Experimental Station	93.8	784.4	292.3	153.1	
ST31	Makindu Met Station	104.7	829.4	332.9	187.9	
ST32	Samburu	133.8	634.8	234.9	90.9	
ST33	Thika Horticultural	105.8	886.6	315.3	152.4	
ST34	Mtwapa Agromet	58.4	698.4	269.7	173.8	

## 2.2 The impacts of Climate variability.

The whole world over, extreme climate anomalies for example in the seasonal rainfall variability, causes far reaching physical, environmental and socio-economic disasters, examples of which include: loss of life and property, migration of humans and animals, severe food and water shortages, destruction of infrastructure, energy deficits and outbreak of diseases and pests (Glantz 1984, Mutai et al 1997).

However, these impacts vary from month to month and from one geographical location to another (Glantz 1984). By changing the space-time characteristics of rainfall, any climate variability in Kenya has a direct impact on water, food security, bio-diversity and other natural resources.

The relationship between climate variability and sustainable agricultural production is complex and therefore needs to be addressed from new and different perspectives. Climate change and environmental hazards such as drought and floods have serious implications for sustainable development particularly agricultural especially in the semi-arid areas (Ibrahim 1998). Of all the natural disasters affecting Kenya, drought imposes the greatest toll in human suffering and economic loss (Indeje 1994). The knowledge of rainfall distribution in time and space is therefore essential for economic planning. In order to enhance good planning by the Government of Kenya (GOK), private sectors and the general public involved in weather related socio-economic activities, there is therefore, an urgent need for all the stake holders to recognise the importance of the input of the weather and climate information component for better results. The difficulty of drought prediction in addition to some environmental problems imposes a high degree of challenge to socio-economic development especially in the semi-arid areas of Africa. The problem of recurrent drought has been aggravated by the increasing population and the growing number of rural poor people who face malnutrition. Efforts have been made by governments as well as local and international communities to overcome these problems through the expansion of the natural resource base. However, these solutions have exerted more pressure on land and water resource utilisation, which has resulted in more environmental and socio-economic problems (Ibrahim, 1998).

Therefore, drought, desertification, land degradation, soil erosion, water shortage, lowering of water tables, food shortage and increasing rate of rural-urban migration are growing among the common problems of semi-arid areas of Africa.

In a predominantly rural economy, as is the case in much of tropical Africa, realising potential economic benefits from seasonal rainfall forecasts depends to a large extent on whether the forecast can be translated into improved and earlier agricultural production forecasts (Hulme, M. et al 1992).

Accordingly, a new approach for drought/flood prediction is needed. An approach that increases the efficiency of the Early Warning Systems, in recognition of the complicated and interdisciplinary nature of drought (Wilhite 1992). The new approach should integrate social, official and technological efforts of the early warning systems that can respond more effectively to weather changes and monitoring of the progress of the rainy season.

### **2.3 The El Niño and Southern Oscillation (ENSO) phenomenon.**

There exists large scale shifts in the atmospheric mass between the eastern and western Pacific which is usually expressed in terms of the Southern Oscillation Index (SOI). SOI is equal to the pressure anomaly at Tahiti (eastern Pacific) minus the pressure anomaly at Darwin (Australia). There are associated changes in the ocean SSTAs in the central Pacific which maintain the displaced convective activities. This coupled ocean-atmosphere phenomena is referred to as El Niño Southern Oscillation (ENSO). ENSO is known to be a fundamental and periodic part of the ocean-atmosphere system, with seasonal periodicity of about 8 years (Rasmusson and Carpenter 1983). The term La Nina is also used to refer to any occurrences of colder than normal SSTs over the same location. Figure 7 (African desk CPC/NOAA) presents a good illustration of the very warm Pacific SSTs during the last El Niño episode (December 1997) and the now cooling SSTs (June 1998) over the same region of the Pacific.

Climatic disruption centre of action with the largest natural climate change in human time - scales is located in the tropical Pacific. Nevertheless, this climatic disruption is widespread and influences weather patterns over half the globe (Palmer and Anderson 1994). Several studies have attempted to relate ENSO and rainfall variability in many parts of the world. Ropelewski and Halpert (1987), Halpert and Ropelewski (1992) have shown a number of regions in the world in which Rainfall and temperatures are well correlated with the SOI.

Extreme rainfall anomalies in East Africa have been associated to ENSO. Ropelewski and Halpert (1987) in their study of the relationships between the global rainfall and SOI found that although the statistical association between the rainfall over East Africa and the SOI was weak, there was a high probability of abnormally wet conditions in the region during EL Niño years. Ogallo (1989) found that there were strong teleconnections between seasonal rainfall over some parts of East Africa and SOI, especially during the northern summer and autumn seasons. The most significant relationship of this teleconnection is observed along the Kenyan Coast during the northern autumn or the October to December (OND) rainfall season in Kenya.

While the impacts associated with ENSO events are believed to girdle the globe in the tropics, there are some schools of thought that believe, too, that local oceanic characteristics have more influence over the climate of some regions than ENSO. It is in this line, with this view that the relationship between the Indian ocean SSTAs and Kenya seasonal rainfall amount on one hand, and with crop performance, on the other hand, is being examined in this study.

### **2.4 Influence of the 1997-98 EL Niño on Kenya's Climate and the associated impacts.**

During the 1997-98 El Niño, the part of the Indian ocean next to Kenya and Somali coast also warmed up by approximately 2°C (KMD web site, March 1998) causing tremendous evaporation and formation of rain clouds. The winds flowing into Kenya also had a longer than normal oceanic track over the Indian ocean thereby carrying much more moisture than usual. This resulted in the floods which occurred over many parts of Kenya. Flooding occurred over many parts of the country, especially in the North Eastern and Coastal areas of the country. As a result there were direct and immediate impacts on humans such as the outbreak of Cholera, Malaria and Rift Valley fever diseases causing actual evacuation of people from the flooded areas. Food security was also threatened by the great reduction and in

some areas stoppage of agricultural production. Other impacts included heavy destruction of infrastructure for example the Mombasa road, railway lines, bridges, buildings and many others. The effects of the warm oceans continued up to May/June 1998 when cold SSTs started showing up marking the end of El Niño and a likely beginning of La Niña.

### 3.0 DATA AND METHODOLOGY

#### 3.1 Rainfall data.

Monthly rainfall data for 34 meteorological, agrometeorological and rainfall stations across Kenya, each covering at least 30 years was used (Table 4). Before embarking on the actual statistical analysis, the data was organised into the correct format before it was exported to SYSTAT. In SYSTAT further preparation involving quality control checks was executed. After the data preparation, initial exploratory studies such as the computation of the annual cycle for individual stations, inter-station correlation, calculation of seasonal and annual totals as well as means. Once satisfactory initial investigations were completed, seasonal rainfall indices were computed for all the stations. The indices were then correlated with Nino3, North West Atlantic (NWA), and Equatorial Atlantic SSTs.

##### 3.1.1 Missing Rainfall data.

The station with missing data was correlated with the nearby stations. Then regression was done between the station with missing data and the nearby station with the highest correlation. From the regression an equation (equation 1) was obtained which was then used to compute the missing values.

For example:

$$ST3 = 116.36 + 0.82 * ST7$$

$$ST17 = 179.47 + 0.73 * ST23$$

where ST3 and ST17 represent study stations Kakamega and Nyeri respectively.

#### 3.2 SSTs and other data used.

Equatorial Pacific Niño3, Atlantic and Indian Ocean SSTs, the Empirical Orthogonal Function (EOF3), and the Southern Oscillation Index (SOI) data for the period 1925 -1995, were also used. Apart from SOI which was obtained from the Climate Data Centre (CDC), Washington all the other data was obtained from the United Kingdom Meteorological Office (UKMO) (Table 3). EOF3 is the unrotated principal component derived from the global SST (Mutai, C.C. et al 1998) which mainly exhibits the cross-Hemispheric long term variability of Global SST. This has been shown (Mutai, C.C. et al 1998) to be correlated with OND Kenya Rainfall.

**Table3: Type, domain, source, period and format of other data used.**

TYPE	DOMAIN	SOURCE	PERIOD	FORMAT
NINO3	10°S-10°N; 150°W-90°W	UKMO	1925- 1995	Monthly
EQA	0°S-10°S; 20°W-10°E	UKMO	1925- 1995	Monthly
NWA	20°N-40°N; 30°W-10°W	UKMO	1925- 1995	Monthly

INDIAN OCEAN	30°S-30°N; 45°E-95°E	UKMO	1925- 1995	Seasonal averages
SOI	-	CDC	1925- 1995	Monthly
EOF	global	CDC	1925- 1995	Monthly

### 3.3 Methodology.

#### 3.3.1 Definition of zone.

Using 73 stations, Barring (1988) analysed daily rainfall in Kenya for the period 1971 - 1985 and divided the country into four principal zones (the coast, the Highlands, the Lake Victoria area and the dry Northern and Eastern areas). In this study however, the country is divided into only two zones namely; RIDX1 and RIDX2 based on analysis of the October-November-December (OND) seasonal rainfall using the procedure outlined here below.

A zone is defined as a region consisting of stations which are homogeneous with respect to rainfall characteristics such as the variability. Two methods are then used to determine the zones. The first one involves simply performing simple Pearson correlation of the stations' rainfall with SSTs and then grouping the stations according to similarities in the correlation values obtained. The second method applies the Rotated Principal Component Analysis. In the end two zones were defined. Table 5 shows the stations falling under each of the zones while Figure 8 gives the pictorial representation.

**Table 4: List Stations for which data was used. The period covered and the local stations numbers are also shown**

PAP NO.	STATION NAME	LAT	LON	PERIOD	STATION NO.
ST1	Butere Health C.	0.22	34.50	1942-1993	8934040
ST2	Eldoret Inst.	0.57	35.30	1961-1993	8935133
ST3	Kakamega Met	0.28	34.78	1957-1993	8934096
ST4	Kericho Jamji	-0.48	35.18	1933-1993	9035001
ST5	Kilgoris	-1.00	34.88	1946-1993	-
ST6	Kisii DC's Off	-0.68	34.77	1926-1993	9034001
ST7	Kisumu Met Stn	-0.10	34.75	1938-1993	9034025
ST8	Eldama-Ravine	0.05	35.43	1943-1993	8935007
ST9	Lodwar Met	3.12	35.62	1928-1993	8635000
ST10	Moyale Met	3.53	39.05	1935-1993	8639000
ST11	Mandera Met	3.93	41.87	1957-1993	8641000
ST12	Marsabit Met	2.30	37.90	1936-1993	8737000
ST13	Lamu DO Off	-2.38	40.43	1931-1993	9240003
ST14	Kwale Agri Dep	-4.18	39.47 <sup>3</sup>	1929-1993	9439001
ST15	North Horr	3.32	37.07	1957-1993	8637000
ST16	Nakuru	-0.27	36.10	1935-1993	9036261

ST17	Nyeri Met	-0.50	36.97	1926-1993	9036288
ST18	Archers Post, Isiolo	0.62	37.67	1957-1993	8937035
ST19	Garissa met station	-0.47	39.63	1957-1993	9039000
ST20	Narok met station	-1.13	35.83	1938-1993	9135001
ST21	Nanyuki Met station	0.05	37.03	1957-1993	8937022
ST22	Dagorreti met station	-1.30	36.75	1957-1993	9136164
ST23	Nyandarua Agric Stn	-0.58	36.63	1957-1993	9036135
ST24	Sotik Div Agr. Off	-1.10	34.88	1957-1993	9134011
ST25	Kajiado D.O.	-1.83	36.80	1931-1993	9136039
ST26	Voi Met station	-3.40	38.57	1926-1993	9338001
ST27	El-Wak	2.78	40.95	1957-1993	8740000
ST28	Mombasa Moi Airport	-4.03	39.62	1957-1993	9439021
ST29	Maralal D.C.	1.10	36.7	1957-1993	8836000
ST30	Katumani Exp. Stn	-1.58	37.23	1957-1993	9137089
ST31	Makindu Met Station	-1.28	37.83	1926-1993	9237000
ST32	Samburu	-3.78	39.27	1957-1993	9339006
ST33	Thika Horticultural	-1.07	37.1	1957-1993	9137048
ST34	Mtwapa Agromet	-3.93	39.73	1957-1993	9339036

**Table 5: A list of according to the two zones defined through use of the Rotated Principal Component Anaysis (RPCA).**

NO.	REGION I	REGION II
1	Butere Health Centre	Moyale Meteorological Station
2	Nakuru Meteorological Station	Mandera Meteorological Station
3	Nyeri Meteorological Station	Marsabit Meteorological Station
4	Archers Post, Isiolo	Lamu D.O. Office
5	Narok Meteorological Station	Kwale Agricultural Dept.
6	Nanyuki Meteorological Station	North Horr
7	Dagoretti Meteorological Station	Garissa Meteorological Station
8	Nyandarua Agri	Voi Meteorological Station
9	Sotik Div. Agr Of	El-Wak
10	Kajiado D.O.	Mombasa Moi Airport
11	Kericho Jamji	Makindu Meteorological Station
12	Kilgoris	Samburu
13	Kisii D.C.	Mtwapa Agrometeorological Station
14	Kisumu Meteorological Station	

15	Eldama-Ravine	
16	Lodwar Meteorological Station	
17	Maralal DC	
18	Katumani Experimental Res.	
19	Kakamega Meteorological Station	
20	Thika Horticultural Research	

### 3.3.1 Regional (Area) Indices.

Following the establishment of two zones in 3.3.1, regional indices were then computed through the procedure below.

Area indices were computed from the individual station indices and to compute the individual station index, the following equation was used:

$$IDX_n = \frac{RR - RR_{\text{mean}}}{\sigma}$$

where:

$IDX_n$  = index for station n

$RR$  = OND season rainfall total for a given year

$RR_{\text{mean}}$  = Station's long term mean rainfall computed for the 1961 - 1990 data set

$\sigma$  = Standard deviation

The two regions' indices were then calculated as follows:

$$RIDX_j = \frac{IDX_1 + IDX_2 + \dots + IDX_k}{k}$$

where:

$RIDX_j$  is the index being calculated for region j; j = 1 or 2

$IDX_1 \dots \dots \dots IDX_k$  are the indices for individual stations

k is the number of stations in the region

### 3.3.3 Correlation.

The Regional indices ( $RIDX_1$  AND  $RIDX_2$ ) computed above which represent all the stations were then correlated with the GSSTs, Niño3, North West Atlantic (NWA), and Equatorial Atlantic SSTs. The results obtained from the correlation are clearly shown in Figures 9-20 while those of correlation with the Indian ocean SSTs can be seen in Table 6. The construction of the prediction models for the OND season (Tables ) is on the basis of the good values obtained for the correlation with the Indian ocean SSTS (Table 6). More discussion is presented under Results and Discussion.

### 3.3.4 Assessment of El Niño teleconnection.

The teleconnection between Pacific SSTs index of Niño3 August-September (NIN89T) and OND rainfall for the two Zones was assessed using conditional probabilities and contingency tables (see tables below). Categorical variables COLD; MODERATE; WARM and DRY; AVERAGE; WET were defined for Niño3 and OND rainfall indices respectively. These categories are bounded by the terciles of each index. Cross-tabulation was then performed for the defined categorical variables of Niño3 and OND indices and the results obtained are shown in tables 6 and 7.

**Table 6:** Contingency tables showing correspondence between OND rainfall for Zone 1 (RIDX1) and Niño3 August-September.

#### Frequencies:

##### **RIDX1 (rows) by NIN89T (columns)**

	COLD	MOD	WARM	Total
DRY	6	4	3	13
AVG	4	4	4	12
WET	3	4	5	12
Total	13	12	12	37

#### **Row percents:**

##### **RIDX1 (rows) by NIN89T (columns)**

	COLD	MOD	WARM	Total	N
DRY	46	31	23	100	13
AVG	33	33	33	100	12
WET	25	33	42	100	12
Total	35	32	32	100	
N	13	12	12		37

#### Column percents:

##### **RIDX1 (rows) by NIN89T (columns)**

	COLD	MOD	WARM	Total	N
DRY	46	33	25	35	13
AVG	31	33	33	32	12
WET	23	33	42	32	12
Total	100	100	100	100	
N	13	12	12		37

From the rows percent table, results obtained for Zone 1 indicate that out of 13 dry years, 6 (46%) of them coincided with cold episodes of Niño3 while 23% coincided with warm and

out of 12 wet years, 5 (42%) of the years coincided with the warm phase of Niño3 and 25% with cold. Similarly, from the column percents table, out of 13 cold episodes 6 (46%) coincided with dry years while during out of 12 warm phases, 5 (42%) coincided with wet years.

**Table 7:** Contingency tables showing correspondence between OND rainfall for Zone 2 (RIDX2) and Niño3 August-September.

Frequencies:

**RIDX2 (rows) by NIN89T (columns)**

	COLD	MOD	WARM	Total
	+-----+			
DRY	5	4	4	13
AVE	5	4	3	12
WET	3	4	5	12
	+-----+			
Total	13	12	12	37

Row percents:

**RIDX2 (rows) by NIN89T (columns)**

	COLD	MOD	WARM	Total	N
	+-----+				
DRY	38.46	30.77	30.77	100.00	13
AVE	41.67	33.33	25.00	100.00	12
WET	25.00	33.33	41.67	100.00	12
	+-----+				
Total	35.14	32.43	32.43	100.00	
N	13	12	12		37

Column percents:

**RIDX2 (rows) by NIN89T (columns)**

	COLD	MOD	WARM	Total	N
	+-----+				
DRY	38.46	33.33	33.33	35.14	13
AVE	38.46	33.33	25.00	32.43	12
WET	23.08	33.33	41.67	32.43	12
	+-----+				
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	
N	13	12	12		37

From the rows percent table, the results obtained for Zone 2 indicate that out of 13 dry years, 5 (38%) of them coincided with cold episodes of Niño3 while 4 (31%) coincided with warm and out of 12 wet years, 5 (42%) of the years coincided with the warm phase of Niño3 and 3 (25%) with cold. Similarly, from the column percents table, out of 13 cold episodes 5 (38 %) coincided with dry years while during out of 12 warm phases, 5 (42%) coincided with wet years.

## **Discussion**

From the results obtained for the two zones, it is evident that there is teleconnection between Kenya OND rainfall and Niño3 SSTs. However, the results also show that it is not possible to explain all the OND rainfall variation using the Niño3 SSTs only. For example for Zone 1, during cold episodes, although the tendency was for the zone to experience dry conditions (46%), at the same time there is also 23% experiencing wet conditions and vice versa for the warm phases.

Further investigations carried out indicate that it is possible to explain some of the variation by using the Indian ocean SSTs. Looking at the frequency table for Zone 1, out of 13 dry years, the 3 which coincided with warm phase of Niño3 and again out of 12 wet years, the 3 which coincided with cold phase can be explained by the INDO\_ASO. Results of tabulating YEAR; NIN89; INDO\_ASO and RIDX1 showed that during the 3 wet years 1961, 1967, and 1962 (RIDX1 = 3.28, 0.37, 0.05), and the Indian ocean oscillation (INDO\_ASO) was 1.23, 0.19 and 0.01 respectively i.e. positive values.

### **3.3.5 Construction of Forecast Models.**

Several regression analyses amounting to correlating predictors from all the oceans with the indices of the two zones were carried out. An oscillation which is henceforth referred to as the Indian Ocean Oscillation (INDO) was detected and is hereby defined as:  $INDO = N31 - S15$ ; where N31 and S15 are names given to grid boxes Latitude  $0^{\circ} - 10^{\circ}N$ ; Longitude  $45^{\circ}E - 55^{\circ}E$  and Latitude  $0^{\circ} - 10^{\circ}S$ ;  $85^{\circ}E - 95^{\circ}E$  respectively in the Indian ocean (Figure 21). The year to year variation of S15 and N31 (Figure 21) can be used to deduce some information on rainfall conditions in Kenya. For example the years 1961 and 1972 which were very wet years coincide with positive values of N31, while 1971 and 1975 which were dry years coincide with negative values of N31.

Significant values of 0.70 and 0.74 were obtained when INDO\_JAS was correlated with RIDX1 and RIDX2 respectively (Figure 22). A memory check was also done using auto correlation. The results are given here below which indicate persistence of good positive correlation from INDO\_MJJ to INDO\_ASO. This means that the INDO index can be used for predicting rainfall starting from MJJ.

	INDO_MJJ
INDO_MJJ	1.00
INDO_JJA	0.88
INDO_JAS	0.64
INDO_ASO	0.46

All the predictors were combined into one worksheet from where the various regressions were performed. However, it worth mentioning here that the inclusion of many predictors in the regression models introduces artificial skill. Weak predictors were therefore removed leaving only the best ones. In this way, the best predictors arrived at were the INDO, EOF and SOI. And finally, only the INDO and EOF3 were used to build the seasonal rainfall prediction models.

Table8: Region I OND season prediction regression models.

MODEL	POD%			FAR%		
	DRY	AVG	WET	TYPE 1		TYPE 2
				DRY	WET	
MODEL RIDX1=CONSTANT+INDO_ASO+EOF3(6)						
MODEL RIDX1 =CONSTANT+INDO_ASO+EOF3(7)	50	36	73	50	33	8 0
MODEL RIDX1 =CONSTANT+INDO_ASO+EOF3(8)						
MODEL RIDX1 =CONSTANT+INDO_ASO+EOF3(9)						
MODEL RIDX1 = CONSTANT+INDO_JAS+EOF3(6)						
MODEL RIDX1 = CONSTANT+INDO_JAS+EOF3(7)	50	29	64	50	41	0 8
MODEL RIDX1 = CONSTANT+INDO_JAS+EOF3(8)						
MODEL RIDX1 = CONSTANT+INDO_JAS+EOF3(9)						
MODEL RIDX1 = CONSTANT+INDO_JJA+EOF3(6)						
MODEL RIDX1 = CONSTANT+INDO_JJA+EOF3(7)						
MODEL RIDX1 = CONSTANT+INDO_JJA+EOF3(8)						
MODEL RIDX1 = CONSTANT+INDO_JJA+EOF3(9)						
MODEL RIDX1 = CONSTANT+INDO_MJJ+EOF3(6)						
MODEL RIDX1 = CONSTANT+INDO_MJJ+EOF3(7)						
MODEL RIDX1 = CONSTANT+INDO_MJJ+EOF3(8)						
MODEL RIDX1 = CONSTANT+INDO_MJJ+EOF3(9)						

Table 9: Region II OND season prediction regression models

MODEL	POD%			FAR%			
	DRY	AVG	WET	TYPE 1		TYPE 2	
				DRY	WET	DRY	WET
MODEL RIDX2=CONSTANT+INDO_ASO+EOF3(6)							
MODEL RIDX2 =CONSTANT+INDO_ASO+EOF3(7)	75	62	92	25	15	0	0
MODEL RIDX2 =CONSTANT+INDO_ASO+EOF3(8)							
MODEL RIDX2 =CONSTANT+INDO_ASO+EOF3(9)							
MODEL RIDX2 = CONSTANT+INDO_JAS+EOF3(6)							
MODEL RIDX2 = CONSTANT+INDO_JAS+EOF3(7)	58	50	82	42	25	0	8
MODEL RIDX2 = CONSTANT+INDO_JAS+EOF3(8)							
MODEL RIDX2 = CONSTANT+INDO_JAS+EOF3(9)							
MODEL RIDX2 = CONSTANT+INDO_JJA+EOF3(6)							
MODEL RIDX2 = CONSTANT+INDO_JJA+EOF3(7)							
MODEL RIDX2 = CONSTANT+INDO_JJA+EOF3(8)							
MODEL RIDX2 = CONSTANT+INDO_JJA+EOF3(9)							
MODEL RIDX2 = CONSTANT+INDO_MJJ+EOF3(6)							
MODEL RIDX2 = CONSTANT+INDO_MJJ+EOF3(7)							
MODEL RIDX2 = CONSTANT+INDO_MJJ+EOF3(8)							
MODEL RIDX2 = CONSTANT+INDO_MJJ+EOF3(9)							

Tables 8 and 9 show the various regression models constructed for predicting OND rainfall over the two zones (RIDX1, RIDX2) in Kenya. In comparison, the models for forecasting rainfall in zone 2 indicate a better skill than those for zone 1 (Tables 11 and 12).

#### 4.0 RESULTS AND DISCUSSION

##### 4.1 Correlation between Seasonal Rainfall and Niño3 (10°S-10°N; 150°-90°W) SSTs: NIN34T, NIN45C, NIN56C, NIN67C, NIN78C, NIN89C and NIN456C

###### March - April - May (MAM) season:

All stations except a few show negative correlation with the above series of Niño3 SSTs. The best correlation obtained is with Niño3 AMJ whereby only Stations ST28, ST34 and ST17 showed slight positive correlation (Figures 9 and 10).

###### July - August - September (JAS) season:

Like in MAM, significant ( $>-0.3$ ) negative correlation is observed for most stations. However, a greater number of stations than in MAM observed positive correlation. Out of these significant correlation is obtained only over ST11, ST27 and ST34 (Figures 11 and 12).

###### October - November - December (OND) season :

The correlation between Niño3 SSTs for all the months is positive except in March and April when the majority of stations depict negative correlation. Moving closer to the OND season, the positive correlation value improves and even the number of stations with significant positive correlation increases (Figures 13 and 14).

##### **Discussion:**

The correlation values obtained in all the three seasons, show that during El Niño years, there is a tendency for rainfall to be enhanced during the OND season while it gets suppressed in both MAM and JAS seasons. However, for JAS there are indications of enhancement in a few stations.

##### 4.2 Correlation between Seasonal Rainfall and Equatorial Atlantic (0°-10°S; 20°W-10°E) SSTs: EA34T, EA45T, EA56T, EA67T, EA78T, EA89T and EA789T

###### MAM season:

Positive but weak correlation is displayed by almost all graphs except for EA34C and EA45C which have a mixture of both positive and negative (**Figure 15**).

###### JAS season:

On the whole, a mixture of positive and negative correlation is manifested. However, EA89C and EA789C bar plots have more stations correlating negatively but still weakly (Figure 16).

#### OND season:

A mixture of positive and negative weak correlation is observed (Figure 17).

#### Discussion:

In all the three seasons, the correlation is generally mixed and very weak. The results do not show any good prospects of constructing models for predicting seasonal rainfall in Kenya based on the Equatorial Atlantic SSTs.

#### 4.3 Correlation between Seasonal Rainfall and North West Atlantic (20°-40°N; 30°-10°W) SSTs: NWA34T, NWA45T, NWA56T, NWA67T, NWA78T, NWA89T and NWA789T

#### MAM season:

Except NWA34C and NWA45C which depict mixed correlation, all the other months have positive though very weak correlation. On the plots of NWA56C and NWA67C an increase positively of the correlation is noticed whereby there more stations with a significant correlation value (Figure 18).

#### JAS season:

On the whole, a mixture of weak positive and negative correlation is manifested. However, NWA34C and NWA45C bar plots have more stations with significant correlation in both positive and negative characteristics (Figure 19).

#### OND season :

Like in MAM and JAS seasons, a mixture of positive and negative weak correlation is observed. However, in NWA34C, NWA45C, and NWA56C plots, all stations except one or two have significant positive correlation (Figure 20).

#### Discussion.

In all the three seasons, the correlation is generally mixed and very weak. Nevertheless, significantly positive correlation with all stations except one or two is clearly seen in the NWA34C, NWA45C, and NWA56C plots (Figure 20). This is an indication that the North West Atlantic ocean is highly prospective with respect to formulating a prediction model. For predicting the OND rainfall season such a model would have 4-7 months lead time.

#### 4.4 Correlation between Seasonal Rainfall and Equatorial Indian ocean (30°S - 30°N; 45°E- 95°E) SSTs: IOJFM, IOFMA, IOMAM, IOAMJ, IOMJJ, IOJJA, IOJAS and IOASO

Average SSTs were extracted from Indian ocean in domains of  $10^{\circ} \times 10^{\circ}$  from the ocean region bounded by latitude  $30^{\circ}\text{S}$  to  $30^{\circ}\text{N}$  and longitude  $45^{\circ}\text{E}$  to  $95^{\circ}\text{E}$ . These were then correlated with Seasonal rainfall totals over Kenya. Some of the correlation results can be seen in Table 10 where the shaded areas represent the highest correlation obtained for a given station.

In the search for the predictors from the global SSTs, the best correlation observed was with the Indian ocean. As high as  $\pm 0.6$  values were obtained at some stations (Table 10). In view of this and considering the immediate objective of preparing an experimental forecast for the next OND, regression models were built based on the Indian ocean SSTs since the OND season correlation with Nino3 was not all that strong.

**Table 10:** Correlation values of MAM Indian Ocean SSTs versus JAS Rainfall

ST7: KISUMU MET STATION

-0.1	-0.1	-0.2	0	0.2
-0.2	0		-0.2	
0.1				
0.3				
-0.1	0.2		-0.1	-0.1
0.2	0.1	0	-0.1	0

ST11: MANDERA MET STATION

0	0.1	0.2		0.2
0.5				
0.2				
0.2			0.2	0.2
		0.1	0	0
0.2	0.2	0.1	0	-0.1

ST13: LAMU D.O. OFFICE

-0.3	-0.1	-0.1	0.1	0.2
-0.1	0	0.1	0	0
-0.1	0	0	-0.2	-0.1
-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2
	0.2	0	0	0
0.1			0.1	0

ST14: KWALE AGRICULTURAL DEPARTMENT

0.5	0	0.1	0.1	0.1
0	0.1	0.1	-0.1	-0.1
0	0.1	0	0	-0.1
0	0	0.1	0.1	0
		0.2	0.1	0
			0.1	0.2

## ST19: GARISSA MET STATION

-0.2	0	0	0	0
0.2		0.2		
0.1	0.2	0.1	0	0
0.1	0.1	0.1	-0.1	-0.1
		0	-0.2	-0.2
		0.3	0.1	-0.1

## ST26: VOI MET STATION

	-0.1	0	0.2	0.2
0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
0	0.1	0.1	-0.1	-0.1
0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2
		0	0	-0.1
		0.2	-0.1	-0.1

## ST33: THIKA HORTICULTURAL RESEARCH CENTRE

0	0	-0.1	-0.2	-0.2
-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2
-0.3				
-0.2				
-0.2			-0.2	-0.2
-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1

## ST34: MTWAPA AGROMET STATION

-0.2	-0.1	0	0.2	
0	0.1	0.1	0	0
0	0.1	0	-0.1	-0.1
0	0	0	0	-0.1
		0	-0.1	-0.1
			0	-0.1

#### 4.5 Cross Validation and skill of the Forecast models.

**Table 11:** List of forecast models for Zone 2 OND season also showing skill .

MODEL	R	F	P	SKILL	Tol
MODEL RIDX1 = 0.03 + 1.10*INDO_ASO - 0.05*EOF3(6)	0.71	17.00	0.00	0.57	
MODEL RIDX1 = 0.13 + 1.10*INDO_ASO - 0.11*EOF3(7)	0.75	21.81	0.00	0.63	
MODEL RIDX1 = 0.10 + 1.11*INDO_ASO - 0.08*EOF3(8)	0.73	19.65	0.00	0.60	
MODEL RIDX1 = 0.07 + 1.04*INDO_ASO - 0.09*EOF3(9)	0.73	19.27	0.00	0.59	
MODEL RIDX1 = 0.04 + 1.10*INDO_JAS - 0.06*EOF3(6)	0.61	9.99	0.00	0.44	
MODEL RIDX1 = 0.15 + 1.13*INDO_JAS - 0.13 *EOF3(7)	0.67	14.10	0.00	0.54	
MODEL RIDX1 = 0.12 + 1.14*INDO_JAS - 0.10*EOF3(8)	0.65	12.35	0.00	0.49	
MODEL RIDX1 = 0.09 + 1.02*INDO_JAS - 0.11*EOF3(9)	0.64	12.08	0.00	0.47	
MODEL RIDX1 = 0.06 + 0.92*INDO_JJA - 0.07*EOF3(6)	0.49	5.49	0.01	0.30	
MODEL RIDX1 = 0.19 + 1.01*INDO_JJA - 0.15*EOF3(7)	0.59	9.21	0.00	0.44	
MODEL RIDX1 = 0.18 + 1.10*INDO_JJA - 0.14*EOF3(8)	0.58	8.78	0.00	0.41	
MODEL RIDX1 = 0.13 + 0.90*INDO_JJA - 0.14*EOF3(9)	0.58	8.65	0.00	0.38	
MODEL RIDX1 = 0.06 + 0.68*INDO_MJJ - 0.07*EOF3(6)	0.35	2.44	0.10	0.08	
MODEL RIDX1 = 0.20 + 0.82*INDO_MJJ - 0.16*EOF3(7)	0.49	5.26	0.01	0.29	
MODEL RIDX1 = 0.17 + 0.86*INDO_MJJ - 0.13*EOF3(8)	0.45	4.31	0.02	0.21	
MODEL RIDX1 = 0.14 + 0.69*INDO_MJJ - 0.15*EOF3(9)	0.48	5.08	0.01	0.21	

Model skill = Correlation of the observed versus the predicted value

**Table 12:** List of forecast models for Zone 2 OND season also showing skill

MODEL	R	F	P	SKILL	TOL
MODEL RIDX2 = 0.08 + 1.22*INDO_ASO - 0.08*EOF3(6)	0.77	25.52	0.00	0.72	
MODEL RIDX2 = 0.17 + 1.21*INDO_ASO - 0.14*EOF3(7)	0.82	33.91	0.00	0.77	
MODEL RIDX2 = 0.15 + 1.24*INDO_ASO - 0.12*EOF3(8)	0.81	31.49	0.00	0.76	
MODEL RIDX2 = 0.09 + 1.15*INDO_ASO - 0.10*EOF3(9)	0.78	26.35	0.00	0.72	
MODEL RIDX2 = 0.09 + 1.15*INDO_JAS - 0.10*EOF3(6)	0.64	11.72	0.00	0.54	
MODEL RIDX2 = 0.19 + 1.17*INDO_JAS - 0.16*EOF3(7)	0.70	16.52	0.00	0.63	
MODEL RIDX2 = 0.17 + 1.20*INDO_JAS - 0.14*EOF3(8)	0.69	15.13	0.00	0.60	
MODEL RIDX2 = 0.10 + 1.04*INDO_JAS - 0.13*EOF3(9)	0.65	12.72	0.00	0.56	
MODEL RIDX2 = 0.11 + 1.00*INDO_JJA - 0.11*EOF3(6)	0.55	7.28	0.00	0.41	
MODEL RIDX2 = 0.24 + 1.09*INDO_JJA - 0.18*EOF3(7)	0.64	11.91	0.00	0.55	
MODEL RIDX2 = 0.24 + 1.22*INDO_JJA - 0.18*EOF3(8)	0.65	12.50	0.00	0.55	
MODEL RIDX2 = 0.15 + 0.96*INDO_JJA - 0.16*EOF3(9)	0.61	9.92	0.00	0.49	
MODEL RIDX2 = 0.10 + 0.69*INDO_MJJ - 0.11*EOF3(6)	0.39	3.09	0.06	0.17	
MODEL RIDX2 = 0.24 + 0.83*INDO_MJJ - 0.19*EOF3(7)	0.52	6.18	0.01	0.37	
MODEL RIDX2 = 0.22 + 0.90*INDO_MJJ - 0.17*EOF3(8)	0.50	5.59	0.01	0.35	
MODEL RIDX2 = 0.15 + 0.66*INDO_MJJ - 0.17*EOF3(9)	0.49	5.25	0.01	0.30	

**Model skill = Correlation of the observed versus the predicted value**

## ACKNOWLEDGEMENTS

This application project was carried out while the author was on attachment at ACMAD. The suggestion to undertake the project work came from Mr. Omar Baddour Chief, Climate Prediction and Information unit of ACMAD. The author is heavily indebted to him first for the suggestion and then for according him full assistance throughout the entire period of study. The author also wishes to acknowledge the invaluable support variously given by the Director General of ACMAD and is very grateful to the ACMAD centre as whole for its support which included providing adequate computing facilities that greatly facilitated this research work.

My special thanks go to the Director of Kenya Meteorological Department Mr. Evans A. Mukolwe, for securing permission from the government of Kenya for me to be away for so long. Mr. Bousted Mukolwe of DMC, Nairobi is also hereby thanked for gathering, processing and sending to the author, meteorological data as it became necessary. In addition, the author also appreciates the helpful discussion concerning the project which he had with Dr. M.N. Ward of UK Met Office, University of Oklahoma, IMG-CNR Italy.

Likewise and finally the author wishes to say thanks to all others who contributed to his successful work and stay in one way or another and are not mentioned here.

## ACRONYMS

ACMAD	African Centre of Meteorological Applications for Development
AMJ	April-May-June
ASO	August-September-October
CDC	Climate Data Centre (Washington)
DMC	Drought Monitoring Centre
EA	Equatorial Atlantic
ENSO	El Niño Southern Oscillation
EOF	Empirical Orthogonal Function
FAR	False Alarm
FMA	February-March-April
GCPC	Global Climate Prediction Centres
GOK	Government of Kenya
GSST(s)	Global Sea Surface Temperature(s)
IDX	Individual Station Index
IMTR	Institute of Meteorological Training and Research
INDO	Indian Ocean Oscillation
ITCZ	Inter Tropical Convergence Zone
JAS	July-August-September
JFM	January-February-March
JJA	June-July-August
KMD	Kenya Meteorological Department
MAM	March-April-May
MJJ	May-June-July
NMC	National Meteorological Centre
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration

NSFM	National Seasonal Forecast Model
NWA	North West Atlantic Ocean
OND	October-November-December
PAP	Pilot Application Project
PCA	Principal Component Analysis
POD	Probability of Detection
RIDX1	Regional Indices 1
RIDX2	Regional Indices 2
RPCA	Rotated Principal Component Analysis
RR	Rainfall
SOI	Southern Oscillation Index
SSTA(s)	Sea Surface Temperature Anomalies
SST(s)	Sea Surface Temperature(s)
ST	Station
SYSTAT	SYStematic STATistics
UKMO	United Kingdom Meteorological Office

### FIGURES CAPTIONS

Figure 1: Map of Kenya showing the Network of Stations used in the study.

Figure 2: Mean Rainfall for the MAM season: 1961-1990.

Figure 3: Mean Rainfall for the JAS season: 1961-1990.

Figure 4: Mean Rainfall for the OND season: 1961-1990.

Figure 5: Seasonal totals time series over Butere Health Centre.

Figure 6: Contours of station altitude (height) above mean sea level.

Figure 7a, b: SST Anomalies of December 1997 and June 1998. African Desk/CPC/NOAA.

Figure 8: Homogeneous zones defined using Rotated Principal Component Analysis.

Figure 9: Correlation of MAM Rainfall with the Nino3 AMJ SSTs.

Figure 10: Correlation of MAM Rainfall with the Nino3 SSTs for all months available.

Figure 11: Correlation of JAS Rainfall with the Nino3 AMJ SSTs.

Figure 12: Correlation of JAS Rainfall with the Nino3 SSTs for all months available.

Figure 13: Correlation of OND Rainfall with the Nino3 June-July SSTs.

Figure 14: Correlation of OND Rainfall with the Nino3 SSTs for all months available.

Figure 15: Correlation of MAM Rainfall with the Equatorial Atlantic SSTs.

Figure 16: Correlation of JAS Rainfall with the Equatorial Atlantic SSTs.

Figure 17: Correlation of OND Rainfall with the Equatorial Atlantic SSTs.

Figure 18: Correlation of MAM Rainfall with the North West Atlantic SSTs.

Figure 19: Correlation of JAS Rainfall with the North West Atlantic SSTs.

Figure 20: Correlation of OND Rainfall with the North West Atlantic SSTs.

Figure 21: Oscillation between S15\_ASO and N31\_ASO.

Figure 22: Line graph of INDO\_JAS versus RIDX1 and RIDX2.

Figure 23: Cross-Validation curves of model:

$$\text{RIDX2} = \text{CONSTANT} + \text{INDO\_ASO} + \text{EOF3}(7)$$

Figure 24: Cross-Validation curves of model:

$$\text{RIDX1} = \text{CONSTANT} + \text{INDO\_ASO} + \text{EOF3}(7)$$

Figure 25: Cross-Validation curves of model:

$$\text{RIDX1} = \text{CONSTANT} + \text{INDO\_JAS} + \text{EOF3}(7)$$

Figure 26: Cross-Validation curves of model:

$$\text{RIDX1} = \text{CONSTANT} + \text{INDO\_JJA} + \text{EOF3}(7)$$

### TABLES CAPTIONS

Table 1: Seasonal means, mean annual totals and percentages of mean annual totals for the study stations.

Table 2: Some rainfall statistics for the OND season for the study stations. The computations are based on 1961-1990 climatological reference period.

Table 3: Type, source, period and format of SST and other data used in the study.

Table 4: List of meteorological/agrometeorological/rainfall stations used in the study.

Table 5: Distribution of stations according to two zones RIDX1 and RIDX2 defined by Rotated Principal Component Analysis.

Table 6: Contingency tables showing teleconnection between OND rainfall for Zone 1 (RIDX1) and Nino3 August-September SSTs.

Table 7: Contingency tables showing teleconnection between OND rainfall for Zone 2 (RIDX2) and Nino3 August-September SSTs.

Table 8: Region I OND season prediction models. The Probabilities of Detection (POD) and False Alarm (FAR) percentages derived for some of models are also given.

Table 9: Region II OND season prediction models. The Probabilities of Detection (POD) and False Alarm (FAR) percentages derived for some of models are also given.

Table 10: Correlation values obtained for the JAS rainfall season versus MAM Indian ocean SSTAs.

Table 11: List of forecast models for Zone 1 OND season also showing skill.

Table 12: List of forecast models for Zone 2 OND season also showing skill.

Table 13: Contingency table of OND observed and cross predicted rainfall for the period 1957 - 1993. MODEL RIDX1 = CONSTANT+INDO\_ASO+EOF3(7).

Table 14: Contingency table of OND observed and cross predicted rainfall for the period 1957 - 1993. MODEL RIDX1 = CONSTANT+INDO\_ASO+EOF3(7).

Table 15: Contingency table of OND observed and cross predicted rainfall for the period 1957 - 1993. MODEL RIDX1 = CONSTANT+INDO\_JAS+EOF3(7).

Table 16: Contingency table of OND observed and cross predicted rainfall for the period 1957 - 1993. MODEL RIDX2 = CONSTANT+INDO\_JAS+EOF3(7).

Table 17: OND observed Rainfall indices for Zone 2 (RIDX2) sorted and then categorised into DRY, AVERAGE AND WET conditions for the period 1957-1993.

Table 18: Contingency tables of OND observed and cross predicted rainfall for Zone 2 (RIDX2) for the period 1957-1993 for Model: RIDX2 = CST + INDO\_ASO + EOF3(7)

## ***Seasonal To Interannual Rainfall Variability Prediction As An Early Warning Tool In Malawi***

**Jolamu Nkhokwe:** Malawi Meteorological Service P.O. Box 2 Chileka Malawi

**Omar BADDOUR:**

-Chef Programme Prévisions Climatiques et Applications, ACMAD, BP. 13184, Niamey, Niger.

-Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc.

### **ABSTRACT**

This study explores the relationships that the Malawi rainfall has with the global ocean sea surface temperatures and then develop rainfall prediction scheme for Malawi. Firstly correlation between point rainfall and SSTs is established. Secondly, principal component analysis is done to determine regions of rainfall homogeneity in Malawi. Principle component analysis has revealed that Malawi has two rainfall region of similar rainfall patterns with the dividing line at about 13 degree latitude. Rainfall to the north of this latitude is of different nature to that to that in the south of it. Correlation between rainfall indices of the two regions and the global SSTs is determined. Using SSTs with strong linkages to the Malawi rainfall variability rainfall prediction schemes are designed for the purpose of predicting future rainfall in Malawi. Correlation analysis of point rainfall as well as the two rainfall indices in Malawi have shown that rainfall variability in the northern half of the country is strongly linked to the SSTs in the northern parts of Indian and Atlantic oceans. Rainfall variability in the south is strongly correlated with SST anomalies of all the global ocean. Validation of the rainfall prediction schemes showed that there quite high skills in all the three models for the rainfall in Malawi.

*"The potential of climate prediction arises not from timing and location of individual weather events, but for averages over months, seasons, and beyond. Climate forecasts are distinctly different from weather forecasts. Forecasts of climate anomalies are designed to cover a relatively large spatial and temporal region, and the weather at particular points and at specific times may appear to contradict the climate forecast".*

SAWB, 1996

### **A. PROJECT JUSTIFICATION**

Malawi is an agro-based economy. Malawi rainfall is very variable both in space and time. Extreme variability of rainfall has resulted in droughts and floods which have direct impact on the economy of Malawi. Problem to be addressed in this study is the lack of local prediction models and local capacity to produce models and therefore produce climate seasonal forecasts within Malawi. Availability of rainfall prediction models and capacity to build them means that the Malawi Meteorological Service will have the capability to produce climate outlook information of credible nature that could be used to warn the by the user community of any impending drought or floods. The users who are in all sectors of the economy of the country, such as agriculture, water resources management and healthy services in the country could then use the

information for proper decision making in carrying out their activities. The ability to forecast seasonal rainfall early means that the forecasts can have benefits if used in decision making for economic planning (Glantz, 1977). However, the longest lead time currently being perceived as possible is about 6 months, such that a forecast for OND rainfall issued prior to May-June period would on average contain almost no skill (Ward et al, 1991).

Sea surface temperature anomalies, the predictors identified to be used in this project can be predicted up to one year in advance (Livezey, 1990). This availability of predicted SST anomalies makes it easier for one to make a forecast at any moment.

ACMAD is currently running a Demonstration Project whose main objective is to promote the use of timely and reliable climate information and prediction services for social and economical development in Africa in order to reduce the negative impacts of climate variability on social and economic activities in individual African countries (ACMAD Guidelines, 1996). Through this demonstration project ACMAD also aims at improving the human meteorological and climatological capabilities of the African continent through research on the physical causes of climate including its change and variability in order to be able to make seasonal to interannual climate forecasts.

Through ACMAD's Demonstration Project Malawi Pilot Application Project was launched in July 1998 at ACMAD. The aim of launching this project is to build capacity for the Malawi Meteorological Department in seasonal climate prediction to enable Malawi independently produce its own local forecasts implementing those forecasts that are produced internationally.

### **B. Objectives of the study**

The objectives of Malawi Pilot Application Project are:

- a) To explore statistical relationship between the global sea surface temperature anomalies and climate variability in Malawi.
- b) To develop simple regression models as prediction schemes for seasonal rainfall in Malawi.
- c) To validate those models to determine their skill in forecasting rainfall in Malawi.
- d) To produce rainfall seasonal forecast for the following season.

### 1.0 INTRODUCTION

#### 1.1 Country context

Malawi is a long, narrow country situated in the southern part of the East African Rift Valley and lying between 9 and 17 degrees south of the equator. It is 855km long, with varying widths from 10km to 250km, covering a total area of 118484sq km, of which over 24000sq km is fresh water - Lake Malawi, minor lakes and rivers. Lake Malawi water surface area is 28760 sq km. The Lake stretches 568km along the spine of the country, with varying widths from 16km to 80km.

To the west of the lake, the country's plateaux rise to a general height of between 915m and 1220m. Rising above these fairly cool highlands are the higher plateaux of Dedza, Viphya and Kirk Range which, in places, reach between 1524m and 2440m. In the Southern Region of Malawi, the Shire highlands are dominated by the 2134m high Zomba Mountain. The highest peak in Malawi is Sapitwa on Mulanje Mountain (3050m high) located in the southern part of the country.

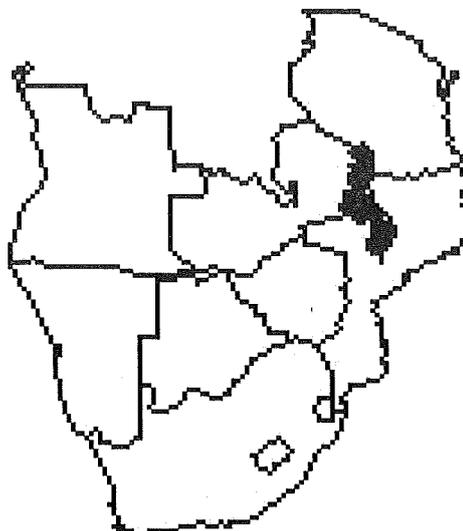
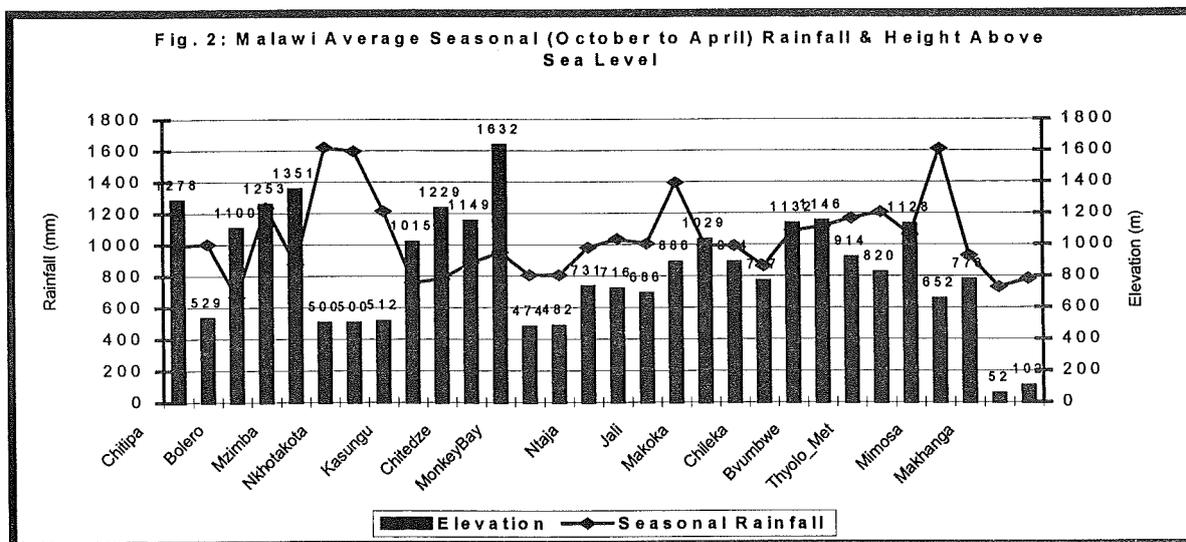


Fig. 1: Position of Malawi in southern Africa

Malawi is a land locked country cradled by Mozambique in the east, south and south-west, with Zambia to the west and Tanzania to the north and north east.

#### 1.2 Climate and Rainfall variability in Malawi

The country has a tropical continental climate, with some maritime influence marked in the dry season by a light drizzle, locally known as chiperoni experienced in the Shire Highlands of southern Malawi. There are three seasons: the dry season, the



cool and the wet season. The rainy season extends from October to April. The cool season is from May to July and the dry season runs from August to September.

Temperatures and rainfall are greatly influenced by the lake and altitude, which varies from 37m (in the Lower Shire Valley) to 3050m (Mount Mulanje). Mountain areas above 1068m are cool with annual temperatures ranging from 14.4 to 17.8° Celsius. The highest temperatures are in the Rift Valley where they may reach as high as 38° Celsius in the hottest months while frost is quite common on plateaux above 1830m.

The main rain bearing systems during the rainy season in Malawi are the Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ) and Congo Air mass. The behaviour of these two systems throughout the rainy season determines the rainfall distribution both in space and time across the country (Nkhokwe, 1996).

Characteristics of rainfall variability in Africa has been explained by Nicholson (1988).

Rainfall is highly variable in both time and space, particularly in the subhumid tropical regions such as Africa. Spatial variability tends to be greater in low latitude regions where tropical climates prevail than in middle and higher latitudes, and greater in drier climates than in humid ones. In Malawi situation, spatial variability is evident in both the irregular distribution of rainfall on short time scales, for example an individual storm or monthly totals, and in mean conditions.

While temporal distribution of rainfall is of great significance for agriculture, in the Tropics the convective nature of rainfall enhances temporal variability of rainfall (Nicholson, 1988).

Nicholson (1988) further points out that large spatial variability of rainfall in Africa shows the risk of inferring rainfall conditions from single stations and the difficulty of assessing even mean rainfall conditions within region of sparse data coverage. Only when sufficient data are available are spatial averages over small but climatic homogeneous regions more representative of the rainfall conditions. Figure 4 is showing DJF average rainfall distribution in Malawi.

Fig. 1.2.1: Malawi DJF Mean Rainfall

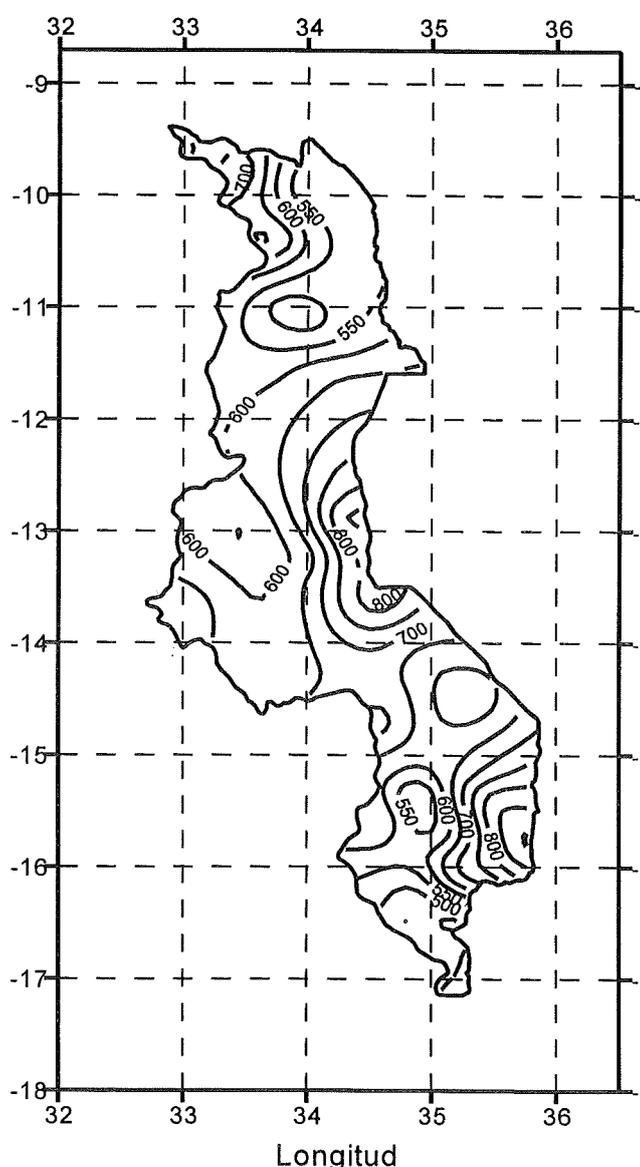
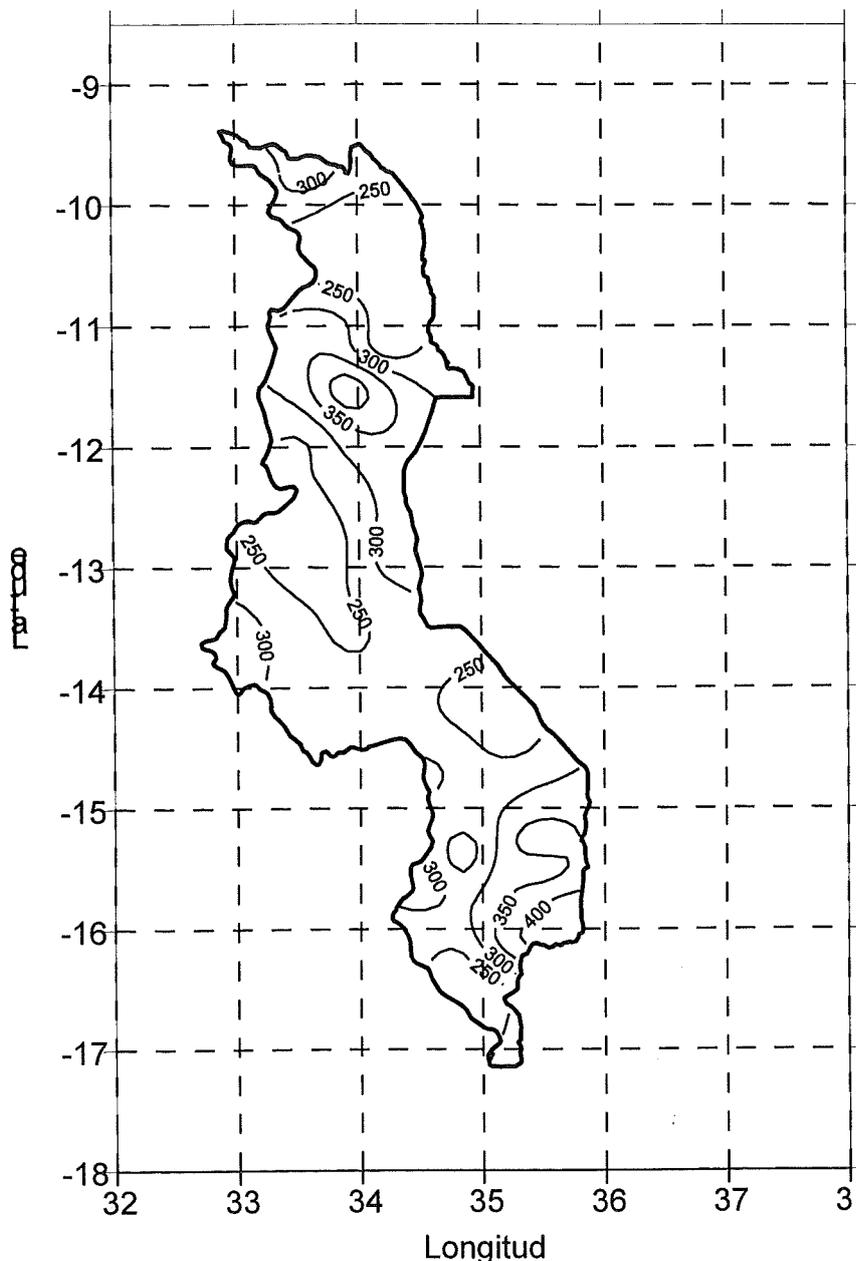


Fig. 1.2.2: Malawi OND Mean Rainfall (mm)



Temporal variability of rainfall in Malawi is great from one point to another. This is illustrated by comparison of OND and DJF rainfall ranges of rainfall stations of Malawi in Annex 1 and Figures 1.2.1 & 1.2.2.

The high rainfall variability in Malawi from year to year for both seasons OND and DJF is shown in Figure 4. A number of factors both local and global are attributed to this high rainfall variability from one station to another and from one year to another. Among these are the local effects such as altitude which varies from about 30 metres to as high as 3000 metres above sea level and also the proximity to Lake Malawi has a profound effect on the variability of rainfall in Malawi. Rainfall variability is

also determined by the whole global climate system which is composed of the atmosphere, oceans, ice sheets, land, and the plants, animals and people that inhabit them (Albritton et al, 1997). The ocean gives climate system a long memory that can result in variations lasting from seasons to centuries due to its large capacity to store and release heat.

Total seasonal rainfall in the country from October of one year to April the following year lies between 635mm and 3050mm depending on attitude and position of the area to rain bearing systems. Although rainfall varies, most parts of the country receive sufficient rain for dry land farming (except of course during periods of droughts as has happened in the last several years) (Nkhokwe, 1996). The wide range in climate therefore enables Malawi to grow both tropical and sub-tropical crops.

### **1.3 The Role of Climate In Malawi's Economy**

Malawi's economy is predominantly agricultural. Climate variability and change, drought and other climate-related natural disasters have a direct, often adverse, influence on the quantity and quality of agricultural production in Malawi and hence Malawi's economy.

Technological developments can help increase agricultural production. However, Albritton, et al (1997) argue that given the large variations in soils and local climate, the cultivation methods of many crops and the development of animal husbandry still need to be adapted to the local situation. For example, plants and animals respond to climatic elements in various ways. The optimum temperature for one particular crop could be a limiting factor for another. These climatic requirements may also be different from one region to another. Hence, a quantitative understanding of Malawi weather, climate and other related environmental factors and the manner in which they affect crop and animal husbandry would greatly enhance the benefits achievable through the use of new agricultural food-production technologies.

## **2.0 Rainfall Prediction**

### **2.1 The Importance of Rainfall Prediction in Malawi**

Poverty, population growth and threatened food and livelihood security are major and fundamental challenges to the socio-economic development of Malawi.

Extreme variations in rainfall and temperature affect crop production (Albritton et al, 1997). During the past two or three decades, natural disasters have resulted in increasingly serious economic and agricultural loss in Malawi. The main disasters have been severe droughts and flooding. In many cases, these have led to unprecedented famine in many parts of the country (Nkhokwe, 1996). The problem is even more acute in many parts of the country, where severe and recurrent rainfall deficits over the past three decades have been detrimental to the economy. Droughts and floods create food security problems and mass movement/migration of people seeking food around the country. Thus, policy makers, funding agencies, and users of climate information often face tough challenges in making relief plans (Nkhokwe, 1997). Long-lead seasonal rainfall prediction, although experimental at this stage, is helping address the issue. Forecasts and warnings of severe weather events help Malawi government to take preventive measures, where feasible, to reduce loss of human life and crops, the occurrence of famine and human suffering. However, a major dilemma faced by the user community of climate prediction information in Malawi is the need to have area specific climate forecasts.

Weather systems that affect drought prone areas in Malawi are complex. However, through careful analysis and prediction of these systems, and using climate data and information, the Malawi National Meteorological Service could help planners and decision-makers by providing information on: probability distribution of rainfall amounts and timing; and beginning and end of the rainfall season. Such information will enable farmers to decide on the choice of appropriate cropping systems and on their operational activities, and will also help the authorities adopt appropriate

strategies and develop contingency plans in drought-stricken areas to ensure food availability and security (Nkhokwe, 1996).

In irrigated croplands, climate prediction data and information could help avoid land degradation through effective water use and management and by avoiding salinization and waterlogging (WMO, 1997).

Frequent and prolonged drought in marginal areas in Malawi leads to excessive pressure on land, water and vegetative resources, which results in land degradation and desertification (Nkhokwe, 1996). Establishment of systematic monitoring systems, especially for drought and other extreme events in dryland areas, can greatly assist in avoiding land degradation in the future by developing suitable drought response plans and management schemes and by promoting public awareness of the control and management of drought (WMO, 1997). Therefore, preparedness plans for climate extreme variations such as drought would help in ensuring water and food availability and security in the country.

## **2.2 TYPES OF PREDICTION**

There are three main types of climate and weather prediction that are being used by different meteorologists, climatologists, researchers and scientists in universities, meteorological institutions and national meteorological services of the world. These methods of prediction are used either individually or in conjunction with each other.

Wilks (1995) outline three main methods, namely, numerical weather prediction method, analog forecasting and the classical statistical forecasting method as follows:

### **2.2.1 Classical statistical forecasting**

This method is purely statistical in the sense that forecasts are constructed without the benefit of information from numerical (dynamical) weather prediction models. In seasonal climate forecasting, the statistical method is commonly used. This method is objective in the sense that a particular set of inputs or predictors will always produce the same forecast for the predictand, once the model has been developed although many subjective decisions go into the development of the forecast models (Wilks, 1995). As a non-linear dynamical system, the atmosphere is not perfectly predictable in a deterministic sense, so that statistical methods for forecasting are useful and indeed necessary parts of the forecasting enterprise.

### **2.2.2 Analog Forecasting**

In this method of forecasting assumes that the future evolution of the atmosphere will be similar to its past behaviour i.e. historical analogies. Practically, the atmosphere does not ever exactly repeat itself.

### **2.2.3 Numerical Weather Prediction**

Numerical Weather Prediction simplify and homogenise surface conditions, by representing the world as an array of gridpoints, to which the numerical weather

prediction pertains. Small scale effects for example of topography, or small bodies of water which are important to local weather may not be included in NWP model. Also locations and variables for which forecasts are desired may not be represented explicitly by the NWP model.

## **2.3 RAINFALL PREDICTORS**

A number of authors have established different types of predictors of rainfall. The commonly used ones are sea surface temperature of global oceans, El Niño/Southern Oscillation (ENSO), quasi-biennial oscillation index, etc (Nkhokwe, 1997).

### **2.3.1 ENSO**

More technical information on the global patterns of abnormal precipitation and temperature related to El Niño (warm) and La Niña (cold episodes) in the tropical Pacific can be found in Ropelewski and Halpert (1987; 1989), and Halpert and Ropelewski (1992). A general description of a warm (ENSO) episode and its composite evolution can be found in Rasmusson and Carpenter (1982). Upper-tropospheric circulation features that accompany extreme phases of the Southern Oscillation are discussed in a paper by Arkin (1982).

The oceans cover over two-thirds of our planet and exert a major influence on global climate and on daily weather conditions. They act as an equal partner with the atmosphere in transporting vast amounts of energy from the tropics to higher latitude. These processes take place on every time-scale, but have dramatic consequences on atmospheric/climatic variations of a few months to a few decades (Albritton et al, 1997).

It is a known fact now that El Niño has the most profound impact on climate variability - and thus on human society worldwide.

#### **2.3.1.1. What is El Niño?**

El Niño describes the appearance of a warm ocean current off the South American coast around Christmas. Over the years, the term 'El Niño' has come to be reserved for the sequence of changes in the circulation across the Pacific Ocean when warming is particularly strong - on average every three to eight years (Rasmusson and Carpenter, 1982). CPC/NCEP (1998) describes warm/El Niño and cold/La Niña episodes as extremes of what is often referred to as the ENSO cycle which has an average period of about four years, although in the historical record the period has varied between two and seven years. During El Niño episodes the equatorial sea surface temperatures (SSTs) are abnormally warm from the date line eastward to the South American coast. Since 1900, 17 El Niños have affected the world (WMO, 1997).

#### **2.3.1.2 Southern Oscillation**

The climate or atmospheric oscillation between 'warm' and 'cold' periods in the tropical Pacific above the ocean is known as the Southern Oscillation. The more

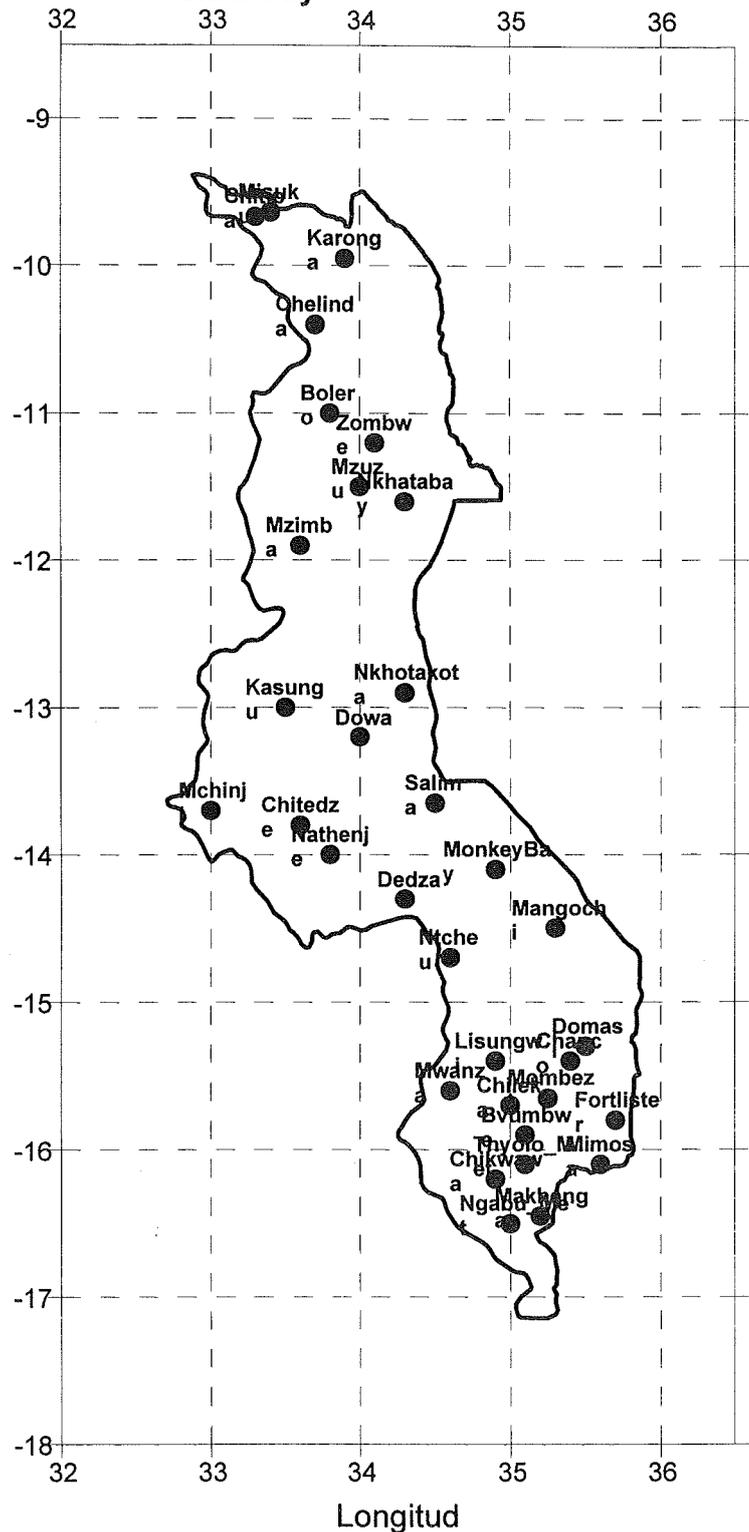
**Fig. 3.1 : Stations used in the study**

usual state of the Oscillation is called the Walker Circulation (Rasmusson and Carpenter, 1982).

During an El Niño phase, the Walker circulation is altered due to the changes in the Pacific Ocean. The lifting and sinking of air - and thus rainy and dry conditions - move with the warmer and colder sea-surface temperatures to form the pattern depicted in the El Niño Circulation (NRC, 1996).

The following characteristics can help to detect an El Niño (warm episode), while the opposite will hold true in the case of a La Niña (cold episode) (CPC/NCEP, 1998): The Walker circulation and trade winds weaken, westerly winds at the surface can be observed over parts of the equatorial western and central Pacific, the western tropical Pacific cools and warmer water are displaced eastwards to the central Pacific, the normally cold water on the South American coast warms by 2 C to 8 C, the SOI remains negative and enhanced cloudiness develops over the central equatorial Pacific.

Because these two, namely, El Niño and Southern Oscillation cannot be separated, the term El Niño - Southern Oscillation (ENSO) is often used.



**2.3.2 Typical Impacts of Warm (ENSO) and Cold Episodes (La Nina)**

By studying past warm and cold episodes scientists have discovered precipitation and temperature anomaly patterns that are highly consistent from one episode to another. Within the tropics, the eastward shift of thunderstorm activity from Indonesia into the central Pacific during warm episodes results in abnormally dry conditions over northern Australia, Indonesia and the Philippines in both seasons. Drier than normal

conditions are also observed over southern Africa during summer season where crops are adversely affected.

During cold episodes, the colder than normal ocean temperatures in the equatorial central Pacific act to inhibit the formation of rain-producing clouds over that region. Wetter than normal conditions develop farther west over northern Australia and Indonesia, during the northern winter, and over the Philippines during the northern summer (CPC/NCEP, 1998). Wetter than normal conditions are observed over southern Africa during this episode (Nkhokwe, 1996).

The oceans cover over two-thirds of our planet and exert a major influence on global climate and on daily weather conditions (Albritton et al, 1997). They act as an equal partner with the atmosphere in transporting vast amounts of energy from the tropics to higher latitude. These processes take place on every time-scale, but have dramatic consequences on variations of a few months to a few decades.

### 3.0 DATA

The construction of a classical statistical forecasting procedure requires developmental data consisting of past values of the predictand to be forecast, and a matching collection of potential predictors whose values will be known prior to the forecast time. Malawi point rainfall data for 38 stations with good spread over Malawi ( see Fig.3.1) were used in this study as the predictand. These are: Chitipa, Misuku, Karonga, Zombwe, Chelinda, Bolero, Mzuzu, Mzimba, Nkhatabay, Nkhotakota, Salima, Dowa, Mponela, Kasungu, Mchinji, Chitedze, Nathenje, Dedza, Ntcheu, Monkeybay, Mangochi, Domasi, Mpyupyu, Jali, Chanco, Lisungwi, Mwanza, Chileka, Fortlister, Mombezi, Mimosa, Bvumbwe, Masambanjati, Chikwawa, Ngabu, Makhanga, Thyolo.

The period of data considered for the study is 1960 to 1993.

Two seasons were selected for the study. These are OND and DJF. The former season, OND, represent the onset part of the whole rainfall and cropping season for the season, while later season, DJF, is the main rainfall period in Malawi, such that any failure of rainfall during this period will obvious mean drought in the country.

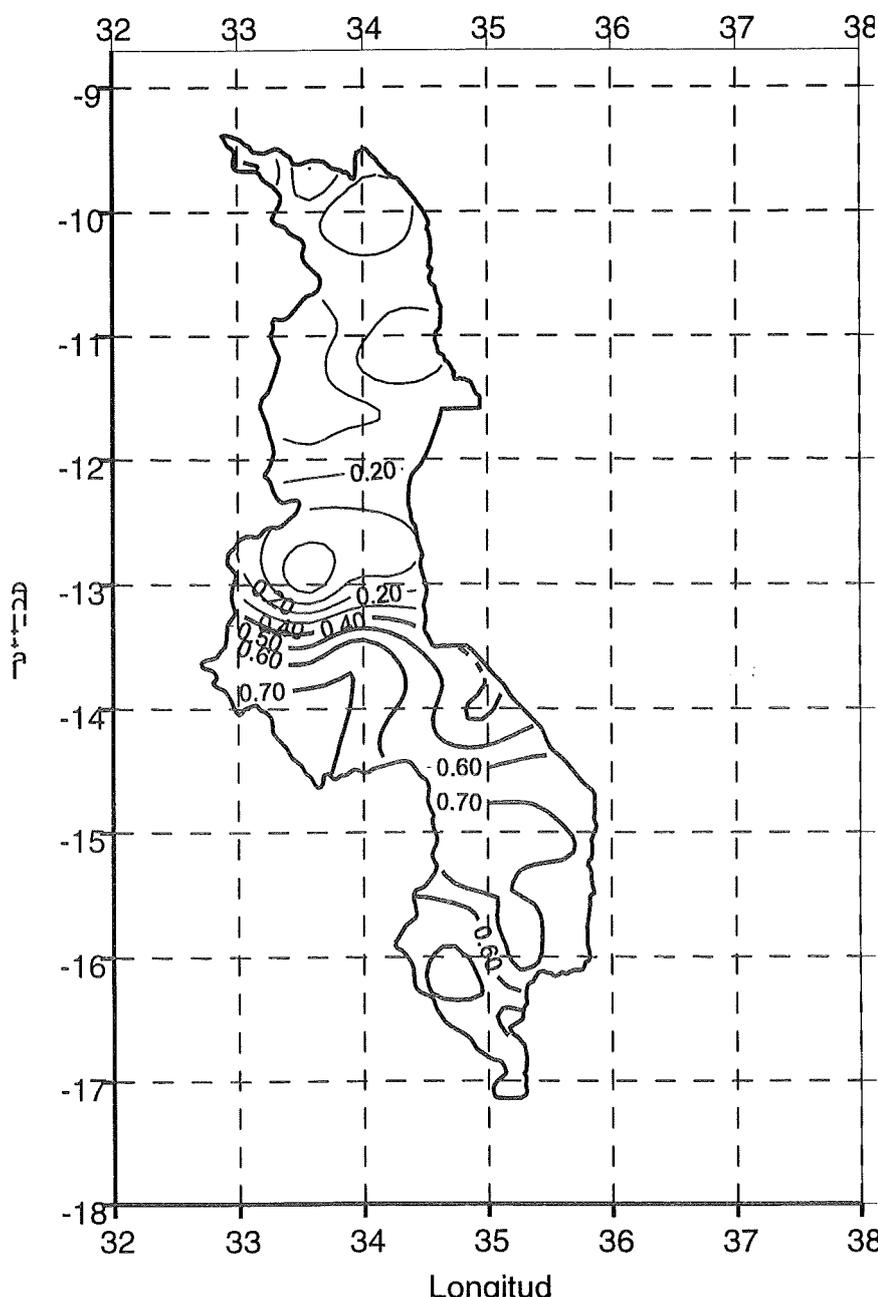
In this study global sea surface temperature sourced from African Centre for Meteorological Applications and Development (ACMAD) Climate Unit were used in the study as Malawi rainfall predictor.

**Table 3.1: Shows Predictors for Malawi North and South OND and DJF Rainfall**

<b>MALAWI_NORTH OND</b>	<b>OCEAN</b>	<b>DOMAINS</b>
ATL_SE	SOUTH EAST ATLANTIC	S14, S24, S25, S35, S45,S46
IND_TE	EASTERN TROPICAL INDIAN	S15
<b>MALAWI_SOUTH OND</b>		
ATL_NW	NORTH WEST ATLANTIC	N51, N52, N41, N42
IND_TC1	CENTRAL TROPICAL INDIAN	S14
<b>MALAWI_NORTH DJF</b>		

IND_TC2	CENTRAL TROPICAL INDIAN	N13, N33, N34, S12, S14
ATL_SW	SOUTH WEST ATLANTIC	S31, S41, S42
NINO		NINO REGION
MALAWI_SOUTH DJF		
ATL_NW	NORTH WEST ATLANTIC	N41, N42, N51, N52
IND_TC3	CENTRAL TROPICAL INDIAN	S12, S13, S22, S23,
NINO	CENTRAL TROPICAL EASTERN PACIFIC	NINO REGION

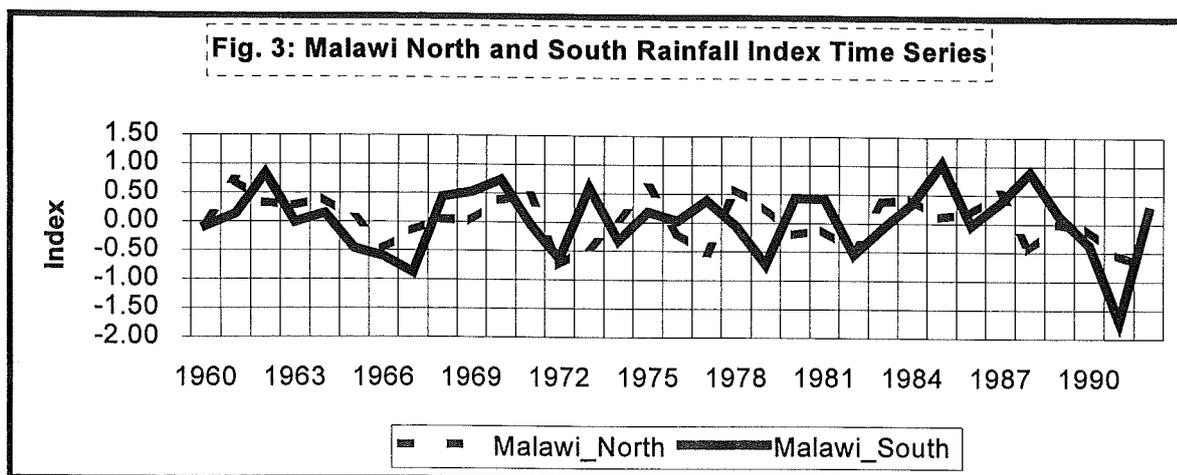
Fig. 5.1: PC\_1 Loadings (unrotated) for



4.0 METHODS

Most of the work in this study was done using SYSTAT 7.0 software package. Mapping was done using SURFER package.

The first step to do was to investigate the point rainfall variability in Malawi. Maps, graphs and tables to indicate rainfall variability in Malawi were constructed. Standardised anomaly series of rainfall for the two seasons, namely, OND and DJF, for all 37 stations were computed from monthly data obtained from the Malawi Meteorological Department. This was followed by extraction of SST anomalies from all oceans. Investigation on telecommunication of Malawi point rainfall with global SST anomalies for different oceanic regions was investigated. Principal component analysis was done to determine areas of rainfall homogeneity in the country. Based on the



analysis, rainfall indices were determined. Standardised anomaly series of rainfall for the two seasons, namely, OND and DJF, for the two Malawi Rainfall indices were computed from station monthly data. Using the indices, correlation with SSTs in the Indian, Atlantic and Nino region of the Pacific Ocean was made. Correlation tables, graphs, and maps were constructed.

## 5.0 RESULTS

### 5.1 Rainfall Variability

Following the principal component analysis that was performed on the Malawi rainfall for both OND and DJF, two regions emerged for both seasons, with the dividing line at about  $13^{\circ}$  south latitude. The rainfall to the south of this line is not related to the rainfall to the north of the line. Figure 5.1 shows the first principal component loadings for OND.

Figure 3 shows the time series of both Malawi North and South Rainfall Indices.

### 5.1 CORRELATIONS

Correlation is a single valued measure of association between two variables. Correlation is measured by correlation coefficient which is used to mean the "Pearson product moment coefficient of linear correlation" between two variables (Wilkes, 1995). One way to view the Pearson correlation is as the ratio of the sample covariance of the two variables to the product of the two standard deviations. Two important properties of Pearson correlation has been explained by Wilkes (1995) as follows: firstly the correlation coefficient is  $r = \text{not} < \text{than } -1$  and  $\text{not} > 1$ , such that if  $r = -1$  there is a perfect negative linear association between the two variables; or if  $r = 1$  there is a positive linear association. The second property is that the square of the Pearson correlation  $r^2$  specifies the proportion of the variability of one of the two variables that is linearly accounted for or described, by the other.

### 5.1.1 Indian Ocean SSTs

From Table 5 above Malawi\_North DJF rainfall index is strongly correlated with OND Indian Ocean SSTs over the extreme north of the ocean within latitudes 20° and 30° North and longitude 70° and 80° East with correlation coefficient of about 0.5, representing variance of 0.25. Malawi\_South OND rainfall index is highly correlated with JJA SSTs within latitudes 0° and 15° south, and longitudes 70° and 85° east with correlation coefficient of about 0.3. Malawi\_North OND rainfall index is highly correlated with ASO SSTs within latitudes 0° and 10° south, and longitudes 85° and 95° east with correlation coefficient of about 0.4. Malawi\_South DJF Rainfall has a weak correlation with Indian ocean SSTs.

### 5.1.2 Atlantic Ocean SSTs

Over the Atlantic ocean Malawi\_North DJF rainfall index is strongly correlated with SON SSTs over the extreme south east of the ocean with correlation coefficient of about 0.4. Malawi\_South DJF rainfall index is highly correlated with NDJ SSTs within latitudes 30° and 40° north, and longitudes 30° and 40° west with correlation coefficient of about 0.3. Malawi\_South OND

Table 5: Correlation of SSTs with Malawi North & South OND and DJF rainfall Indices

Predictor	Period	OND	OND	DJF	DJF	Predictor	Period	OND	OND	DJF	DJF
		North	South	North	South			North	South	North	South
ATL_NW	ASO	0.04	<b>-0.41</b>	-0.04	-0.20	IND_TC1	MJJ	-0.15	<b>-0.30</b>	-0.24	-0.13
ATL_NW	SON	-0.03	<b>-0.50</b>	-0.10	-0.28	IND_TC1	JJA	-0.14	<b>-0.36</b>	-0.24	-0.19
ATL_NW	OND	-0.15	<b>-0.57</b>	-0.13	-0.29	IND_TC1	JAS	-0.18	<b>-0.35</b>	-0.24	-0.12
ATL_NW	NDJ	-0.18	<b>-0.54</b>	-0.12	<b>-0.31</b>	IND_TC1	ASO	-0.19	<b>-0.30</b>	-0.24	-0.08
ATL_SE	JAS	<b>0.31</b>	0.16	0.06	0.03	IND_TC1	SON	-0.11	-0.21	<b>-0.35</b>	-0.14
ATL_SE	ASO	<b>0.35</b>	0.08	-0.07	-0.01	IND_TC1	OND	-0.02	-0.22	<b>-0.43</b>	-0.27
ATL_SE	SON	<b>0.40</b>	0.05	-0.11	-0.02	IND_TC2	JAS	-0.11	<b>-0.31</b>	-0.23	-0.12
ATL_SE	OND	<b>0.37</b>	-0.01	-0.17	-0.07	IND_TC2	ASO	-0.08	-0.28	<b>-0.35</b>	-0.14
ATL_SW	MJJ	-0.01	-0.17	<b>-0.41</b>	-0.10	IND_TC2	SON	-0.05	-0.18	<b>-0.45</b>	-0.03
ATL_SW	JJA	0.00	-0.19	<b>-0.35</b>	-0.14	IND_TC2	OND	0.02	-0.17	<b>-0.57</b>	-0.10
NINO	AMJ	0.11	-0.24	-0.18	<b>-0.30</b>	IND_TC2	NDJ	0.03	-0.12	<b>-0.45</b>	-0.11
NINO	MJJ	0.09	-0.23	-0.22	<b>-0.41</b>	IND_TC2	DJF	0.08	-0.13	<b>-0.32</b>	-0.20
NINO	JJA	0.06	-0.22	-0.23	<b>-0.46</b>	IND_TC3	MJJ	-0.15	-0.29	<b>-0.30</b>	-0.23
NINO	JAS	0.05	-0.16	-0.22	<b>-0.44</b>	IND_TC3	ASO	0.06	-0.12	<b>-0.32</b>	-0.13
NINO	ASO	0.05	-0.12	-0.26	<b>-0.43</b>	IND_TC3	SON	0.14	-0.10	<b>-0.39</b>	-0.23
NINO	SON	0.06	-0.07	-0.29	<b>-0.41</b>	IND_TC3	OND	0.20	-0.17	<b>-0.39</b>	<b>-0.35</b>
NINO	OND	0.08	-0.07	<b>-0.33</b>	<b>-0.42</b>	IND_TC3	NDJ	0.22	-0.14	<b>-0.31</b>	<b>-0.39</b>
IND_TE	MJJ	<b>-0.35</b>	-0.19	-0.21	0.04	IND_TC3	DJF	0.22	-0.15	-0.20	<b>-0.35</b>
IND_TE	JJA	<b>-0.36</b>	-0.24	-0.20	-0.04						
IND_TE	JAS	<b>-0.47</b>	-0.25	-0.28	0.05						
IND_TE	ASO	<b>-0.47</b>	-0.19	-0.24	0.11						
IND_TE	SON	<b>-0.32</b>	-0.05	-0.35	0.10						

rainfall index is highly correlated with OND SSTs within latitudes 40° and 50° north, and longitudes 30° and 40° west with correlation coefficient of about 0.6. Malawi\_North OND rainfall index is highly correlated with SON and OND within

latitudes 30° and 40° south, and longitudes 10° and 20° east with correlation coefficient of about 0.4.

### 5.1.3 Pacific Ocean SSTs

In the Pacific Nino region only DJF season for both rainfall indices showed a strong relationship with the SST anomalies in the region. OND season showed very weak association with SST anomalies in the region for both rainfall indices. However, Malawi\_South DJF rainfall index has the highest correlation of -0.47 with July SST anomalies while Malawi\_North DJF rainfall index has the highest correlation of -0.34 with December SST anomalies.

## 6.0 REGRESSION MODELS

Models were constructed by simple linear regression which describes the linear relationship between two variables, the predictor which is an independent variable 'x', and the predictand which is the dependent variable, 'y'. The equation is in the form:

$$Y = a+bx+e$$

Where a is the intercept and b is the slope of the linear relationship between the two variables, whereas e is the error (Wilke, 1995).

Annex 4 shows the models constructed for the Malawi rainfall.

### 6.1 MODEL VALIDATION

Meteorological forecasts are inherently uncertain (Ehrendorfer 1993). This widely recognised fact has led to the statement that a forecast is incomplete unless it is accompanied by a predictive statement about the skill of the forecast (Cooke 1906; Tennekes et al. 1987). As a consequence, various efforts have been undertaken to quantify this uncertainty and thus improve the utility of the forecast for the user. Such quantification should ideally be expressed in the precise and unambiguous language of probability (Lindley, 1987). Among these efforts has been the specification of the likelihood of occurrence of specific events in terms of the so-called probability forecasts that are usually delivered by statistical and / or subjective methods. However, predictive skill varies with lead time of the forecast.

There are differing views of what constitute a good forecast (Murphy, 1993). As such there is a wide variety of forecast verification procedures that exist, but all involve measures of the relationship between a forecast or a set of forecasts, and the corresponding observations of the predictand (Wilkes, 1995). Mulphy and Wilkler, (1987) points out that on a fundamental level, forecast verification involves investigation of the properties of the joint distribution of forecast and observations such that any given verification data set consists of a collection of forecast/observation pairs whose joint behaviour can be characterised in terms of the relative frequencies of the possible combinations of forecast/observation outcomes.

Forecast verification techniques allow comparison of the relative merits of competing forecasting systems. Forecasting verification techniques can also help in the assessment of specific strengths and weaknesses of forecasters and forecasting systems (Wilkes, 1995).

It has already been mentioned that climate forecast information is important for the purpose of decision making by the user community. However, the usefulness of forecasts to support decision making depends on their error characteristics which are elucidated through forecast verification methods (Wilkes, 1995). Thus the economic motivations for forecast verification are to provide the information necessary for users to derive full value from forecasts, and to enable estimation of that economic value. Ehrendorfer et al (1988) and Krzysztofowicz et al (1990, 1991) argue that although it is sometimes possible to guarantee, on the basis of a detailed verification analysis, the economic superiority of one forecast source over another for all forecast users, superiority with respect to a single verification measure does not always imply superior forecast value for all users.

One can not talk of model verification without talking a forecast skill. What is a forecast skill? When presenting a forecast, the common question posed is the skill of the model. Wilkes (1995) has expounded much on what a forecast skill is. Forecast skill refers to the relative accuracy of a set of forecasts, with respect to some set of standard control, or reference, forecasts. Common choices for the reference forecasts are climatological average values of the predictand, persistence forecasts i.e. values of the predictand in the previous time period; or random forecasts, i.e. with reference to the climatological relative frequencies of the forecasts events. Forecast skill is usually presented as a skill score (SS), which is interpreted as a percentage improvement over the reference forecasts.

One model for each OND and DJF, for both Malawi north and South was used. The table below shows the 3 models chosen for each rainfall index within each season:

Model	R	R <sup>2</sup>	F	P	Skill	Tol
OND_Nindx=0.9+0.53*SON_ATL_SE-0.65* JAS _IND_TE	0.61	0.37	8.74	0.00	0.51	1.00
OND_Sindx=0.08-0.76*OND_ATL_NW-0.51* JJA_IND_TC1	0.63	0.40	10.1	0.00	0.56	0.97
DJF_Nindx=0.15-0.10*JJA_ATL_SW-0.72*OND IND_TC2	0.58	0.34	7.79	0.00	0.46	0.83
DJF_Sindx=0.08-0.02*NIN_JJA	0.46	0.21	8.48	0.01	0.34	1.00

Annex 6 shows the cross validation results of the models showing their Probability of Detection (POD)

Model	POD dry	POD wet	POD average	False wet alarm	False dry alarm
OND_South model	60%	40%	36%	10%	30%
OND_North	40%	64%	33%	10%	14%
DJF_South	50%	42%	33%	17%	25%
DJF_North	60%	60%	31%	20%	0%

## 7.0 DISCUSSION AND CONCLUSION

Correlation with the Indian Ocean SSTs show that Malawi\_north rainfall has a strong relationship with SSTs over the extreme northern part of the ocean. Over the Atlantic, there is a strong connectivity of Northern Malawi rainfall and extreme north Atlantic with correlation of up to 0.7. Correlation results have also shown that Southern half of Malawi is strongly connected to the Nino region than rainfall from northern half.

Models so far produced have indicated good reliability. The low false alarms and the high PODs are a good indication that the models so far constructed have good performance in predicting rainfall in Malawi.

It can therefore be concluded that Malawi rainfall is therefore predictable using sea surface temperature anomalies of the global oceans. The rainfall in the southern half of Malawi is more predictable than that of northern half. The Southern half is strongly linked to the Nino region of the Pacific than the Northern half of Malawi.

Although the study has revealed that Malawi rainfall is predictable using SSTs of the global ocean, there is a strong need to establish Malawi rainfall links with other predictors such as quasi-biennial oscillation. This work should also be further refined by exploring all parts of the global oceans.

## ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank my project Supervisor, Dr. Omar Baddour for so ably and patiently guiding me through to this final product. I am extremely grateful to Dr. M.S. Boulahya for advising me to embark on this project. My deepest debt is owed to the Malawi Government through the Director Malawi Meteorological Service for allowing to be attached at ACMAD to enable me do this project. My gratitude also go to all my ACMADIAN friends for their encouragement and support, in particular, Messrs Issa Lele, Samuel Gathara and Alfonse Kanga. All other members of staff were forever helpful, and I appreciate their support. Most of all, my family and my dear wife, Ida, who, with understanding, love and resolve has willingly accepted and endured my being away from her and the my family.

## 9.0 References

1. Cooke, W.E., 1906: Forecasts and verifications in Western Australia, *Mon. Wea. Rev.*, 34, 23-24
2. Ehrendorfer, M., 1993: The Liouville Equation and its potential Usefulness for the prediction of forecast skill., Part I: Theory. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 703-713
3. Ehrendorfer, M. and Murphy A. H., 1988: comparative evaluation of weather forecasting systems, sufficiency, quality and accuracy. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 1757-1770

4. Gathara, S.M. 1998: Use of Long-Lead Climate Forecasts for Enhanced and Sustainable Agricultural Production in Kenya
5. Climate Prediction Center/NCEP, 1998: ENSO / Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Advisory, July, 1998
6. Krzysztofowicz R and Long D, 1990: Fusion of detection probabilities and comparison of multisensor systems; IEEE Trans. Syst., Man, Cyberne., **SMC-20**, 665-677
7. Krzysztofowicz R and Long D, 1991: Beta probability models of probabilistic forecasts. Int. J. Forecasting, **7**, 47-55
8. Lindley, D.V., 1987: The probability approach to the treatment of uncertainty in artificial intelligence and expert systems. Stat. Sci., **2**, 17-24
9. National Research Council (NRC), 1996: Learning to Predict Climate variation associated with El Nino and the Southern Oscillation
10. Nkhokwe, J.L. , 1996: Predictability of Seasonal-to-Interannual Rainfall Variability in Malawi.
11. Tennekes, H., A.P.M. Baede, and J.D Opsteegh, 1987: Forecasting forecast skill. ECMWF workshop on predictability in the medium and extended range, Shinfield Park, Reading, United Kingdom, ECMWF, 277-302
12. World Meteorological Organisation, 1996: Climate, Weather and Agriculture, WORLD FOOD SUMMIT-ROME, 13-17 November, 1996

## ACRONYMS

ACMAD	African Centre for Meteorological Applications and Development
JFM	January-February-March
FMA	February-March-April
MAM	March-April-May
AMJ	April-May-June
MJJ	May-June-July
JJA	June-July-August
JAS	July-August-September
ASO	August-September-October
SON	September-October-November
OND	October-November-December
NDJ	November-December-January
DJF	December-January-February
SST	Sea Surface Temperature
ENSO	El Nino / Southern Oscillation
SOI	Southern Oscillation Index