UNIVERSITE MARIEN NGOUABI FACULTE DES LETTRES ET DES SCIENCES HUMAINES FORMATION DOCTORALE DE GEOGRAPHIE



Année : 2013

N° 764

THESE de DOCTORAT UNIQUE

Option: Géographie-Physique

Spécialité: Climatologie

<u>Thème</u>

VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE AU CONGO ET RELATION AVEC LA DYNAMIQUE OCEANIQUE ET ATMOSPHERIQUE (1950 à 2005)

Présentée et soutenue publiquement le 26 octobre 2013 par :

GEOFFROY IBIASSI MAHOUNGOU

Directeurs de thèse

Professeurs Marie Joseph SAMBA-KIMBATA et Maurice TSALEFAC

Président :	M. Michel BOKO, Professeur Titulaire, Climatologue,		
	Université d'ABOME KALAVI (Benin)		
Membre :	M. Marie-Joseph SAMBA-KIMBATA, Professeur Titulaire, Climatologue,		
	Université Marien NGOUABI (République du Congo)		
Membre :	M. Maurice TSALEFAC, Professeur Titulaire, Climatologue,		
	Université de Yaoundé I (Cameroun)		
Rapporteur 1:	M. Dominique NGANGA, Professeur Titulaire, physicien de l'Atmosphère,		
	Université Marien NGOUABI (République du Congo)		
Rapporteur 2 :	M. Kodjovi Sidéra EDJAME, Maître de Conférences, Climatologue,		
	Université de Lomé (TOGO)		

Sommaire

SOMMAIRE	2
DEDICACE	3
REMERCIEMENTS	4
LISTE DES ACRONYMES	6
RESUME	8
SUMMARY	9
INTRODUCTION GENERALE.	10
Chapitre 1 : Données et méthodes d'étude	23
Chapitre 2: Cadre physique et climatique du Congo	37
Chapitre 3 : La variabilité pluviométrique au Congo	67
Chapitre 4 : Dynamique de l'océan	116
Chapitre 5 : Analyse de l'influence de la dynamique océanique sur la variabilité pluvior	métrique
du Congo	147
Chapitre 6 : Dynamique atmosphérique	218
Chapitre 7 : Analyse de l'influence de la dynamique atmosphérique sur la variabilité	
pluviométrique au Congo	231
Discussion des résultats	266
Conclusion générale	278
Références bibliographiques	287
Liste des figures	306
Liste des tableaux	312
Table des matières	314

DEDICACE

À

IBIASSI SATHOUD Daniel, mon père et KOUMBA MAKITA Antoinette, ma mère

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier les personnes impliquées de près ou de loin dans mon travail de recherche. Mes remerciements vont à l'endroit de :

- Marie-Joséph SAMBA-KIMBATA, Professeur Titulaire à l'université Marien NGOUABI du Congo, qui a accepté de diriger ma thèse, continuité d'un travail que nous avons débuté en DEA. Devant votre disponibilité, votre rigueur dans le travail et vos encouragements à aborder des nouvelles approches de la climatologie (climatologie diagnostique), il m'est difficile d'exprimer en quelques mots ma reconnaissance à votre égard ;
- Maurice TSALEFAC, Professeur Titulaire à l'université de Yaoundé I, Cameroun, qui a accepté d'assurer la codirection de ce travail. Votre patience, votre disponibilité et vos conseils m'ont permis de vivre une expérience stimulante, enrichie par votre expertise et votre rigueur scientifiques qui influenceront longtemps mes projets professionnels ;
- Dominique NGANGA, Professeur titulaire de physique de l'Atmosphère, coordonateur de la formation doctorale Sciences de l'environnement de l'université Marien NGOUABI, d'avoir accepté de rapporter sur la thèse: vos conseils, remarques et suggestions ont permis d'améliorer la qualité scientifique de cette thèse ;
- Kodjovi Sidéra EDJAME, Maître de conférence à l'université de Lomé au Togo, d'avoir accepté de rapporter sur la thèse : vos conseils et suggestions ont permis d'améliorer le rendu final ;
- Bonaventure Maurice MENGHO, Professeur titulaire de géographie, pour ses conseils enrichissants et pour son dévouement pour la mise en place de la formation doctorale de géographie;
- KOFI AKIBODE, Professeur titulaire à l'université de Lomé au Togo, pour ces précieux enseignements et ses précieuses orientations durant ma formation ;
- Yolande BERTON OFOUEME, professeur titulaire de géographie, coordonatrice de la formation doctorale de géographie, pour les conseils, et tous les efforts consentis pour la programmation de la soutenance de cette thèse ;
- Michel BOKO, professeur titulaire de géographie, pour ses précieuses orientations scientifiques et pour avoir accepté de présider le jury de la soutenance de ma thèse ;
- ALI ASSANI ARKAMOSE, Professeur Titulaire à l'université des Trois Rivières au Québec, Canada, pour avoir accepté de mettre à ma disposition la base des données sur les températures de surface océanique, et pour avoir accepté de lire mes manuscrits et conduire mes pas dans le chemin de la climatologie diagnostique; cher professeur, grand merci pour votre concours multiforme et pour les orientations qui me serviront pour mes travaux futurs;

OUSMANE NDIAYE du département of Earth and Environnemental Sciences, Columbia University, New York, and Agence Nationale de la Météorologie du Sénégal, Dakar, pour m'avoir expliqué l'utilisation des bases de données de l'IRI, et pour avoir mis à ma disposition la base des données du geopotentiel. Un grand merci Ousmane car, sans ces données, la composante geopotentiel (atmosphérique) n'aurait pas pu être intégré dans ce travail;

- Marcel MPOUNZA, directeur du Centre de Recherche sur les tropiques humides, pour avoir mis à ma disposition la base des données in situ du CRTH sur les précipitations, le soutien logistique, mais également pour avoir conduit mes travaux en maitrise, travaux qui m'ont donné le gout de la climatologie. Le CRTH, grâce à trois projets menés sur la climatologie, m'a permis de faire assoir les bases de la climatologie, m'imprégné de la rigueur scientifique dans la rédaction des documents scientifiques et m'a permis d'acquérir l'expérience de la gestion des projets grâce à la participation comme chercheur junior dans trois projets de recherche sur la climatologie;
- Gaston SAMBA, Responsable du CR2E, Maître-assistant de Climatologie à l'Université Marien NGOUABI pour ses orientations et son soutien multiforme ;
- Bernard FONTAINE, Nathalie PHILIPPON, et Vincent MORON, pour m'avoir donné le gout de la climatologie diagnostique, vos travaux m'ont beaucoup servi pour mener à bien ce travail;
- Aux collègues du CRTH, pour les beaux moments de partage et d'échange multiformes ;
- Aux collègues du Département de Géographie (FLSH), du Département des Sciences Humaines (ENS) pour l'ambiance et le soutien multiforme,
- la Météorologie Nationale du Congo(ANAC), et particulièrement à Camille LOUMOUAMOU, Directeur de la Métrologie Nationale, Alphonse KANGA, Paul NDINGA, Martin MASSOUKINA, pour avoir mis les données de précipitations à ma disposition et pour avoir partagé l'expérience du Projet inter-états de SAGA-EO de l'union européenne qui nous a donné l'occasion de mettre en place la plate forme mutisectorielle nationale des utilisateurs des données d'observation de la Terre;
- A Nickaise LIAMBOU, pour sa lecture et ses propositions de correction de cette thèse;
- A mon épouse Ursule Nudy BANZOUSSI NIAKA, d'avoir été là, et d'avoir apporté son soutien multiforme pour cette thèse ;
- A la famille IBIASSI, pour tous les bienfaits,
- A tous les miens et à la Grande Fraternité pour l'Unité, l'Amour et la Lumière.

LISTE DES ACRONYMES

ACPRV :	Analyse en Composante Principale avec Rotation Varimax			
AEA:	Afrique Equatoriale Atlantique			
AMMA:	Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Ouest Africaine			
AMO :	Atlantic Multi-Decadal Oscillation			
CAH:	Classification Ascendante Hiérarchique			
CARPE :	Programme Régional Pour l'Environnement en Afrique Central			
CIO:	Confluence Inter Océanique			
CMAP:	Climate prediction center Merged Analysis Precipitation			
COPT:	Convection Profonde Tropicale			
CRC:	Centre de Recherches de Climatologie			
CRTH:	Centre de Recherche sur les Tropiques Humides			
CRU:	Climate Research Unit			
CTE :	CTE : Coefficient Temporel d'Expansion			
DEMETH	$\mathbf{E}\mathbf{R}$: Development of a European Multimodel Ensemble			
	system for seasonal to interannual prediction			
DJF:	Décembre-Janvier-Février			
ENSO:	El-Nino Southern Oscillation			
EPSAT :	Estimation des Précipitations par Satellites			
ESH :	Energie Statique Humide			
ETGA:	Expérience Tropicale du GARP dans l'Atlantique			
FAO:	Food and Agriculture Organization of the United Nations			
FIT :	Front Inter-Tropical			
GARP:	Global Atmospheric Research Programme			
GIMMS:	Global Inventory Modeling and Mapping Studies			
GLC:	Global Land Cover			
GWP:	Global Water Partnership			
ICC :	Indice pluviométrique Centre Congo			
INC:	Indice pluviométrique Nord Congo			
ISC :	Indice pluviométrique Sud Congo			
IRD:	Institut de Recherches pour le Développement			
JF:	Janvier-Février			
JJA :	Juin-Juillet-Août			
JJAS :	Juin-Juillet-Août-Septembre			
JOST :	Jet d'Ouest Sub-Tropical			
JTE :	Jet Est Tropical			

- MAM: Mars-Avril-Mai
- MAO: Mousson d'Afrique de l'Ouest
- MCG: Modèle de Circulation Générale
- MOS: Model Output Statistics
- NCAR: National Center for Atmospheric Research
- NCEP: National Center for Environmental Prediction
- NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration
- **OMM :** Organisation Météorologique Mondiale
- PFBC : Partenariat pour les Forêts du Bassin du Congo
- **PNUE** : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
- PRESAO : Prévision Saisonnière en Afrique de l'Ouest
- **RLM :** Régression Linéaire Multiple
- **RLS :** Régression Linéaire Simple
- **SOI:** Indice d'Oscillation Austral
- **SON:** Septembre-Octobre-Novembre
- **SPOT**: Système Probatoire d'Observation de la Terre
- **TEJ :** Tropical Easterly Jet
- TOA: Terre-Océan-Atmosphère
- TSM et TSO : Température de Surface de la Mer et Température de surface Océanique
- UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
- **ZCIT :** Zone de Convergence Inter-Tropicale

Résumé

Dans le but d'analyser la variabilité pluviométrique actuelle au Congo, il est entrepris une analyse des relations entre la variabilité pluviométrique et la dynamique atmosphérique et océanique. L'analyse de la variabilité pluviométrique est faite à partir de l'étude de la succession des périodes pluviométriques sèches et humides par la technique des moyennes mobiles glissantes sur 5ans. La tendance des séries des indices pluviométriques, des indices océaniques et des indices de pressions atmosphériques est faite à partir de la régression linéaire associée à la régression polynomiale d'ordre 6. La recherche des ruptures sur les séries des précipitations est faite par les tests paramétriques et non paramétriques (Mann-Kendall, Pettitt, Buishand (méthode des écarts cumulés), Hubert (méthode bayesienne).

La régionalisation des précipitations est faite à partir des analyses en composantes principales avec rotation varimax (ACPRV). La recherche des relations entre les indices des précipitations et les indices océaniques d'une part et les indices des précipitations et les indices de pressions atmosphérique d'autre part est faite à partir des corrélations canoniques. La significativité statistique des corrélations est évaluée à partir des tests de Bravais-Pearson et Mann-Kendall.

Trois régions pluviométriques sont obtenues : Sud-Congo ; Centre-Congo et Nord-Congo. Les précipitations annuelles et saisonnières de ces trois régions pluviométriques présentent une tendance à la baisse significative à partir de la décennie 1970. La variabilité des précipitations montre deux types de changement. Le premier type, survenu autour de 1950-1970, concerne la répartition spatiale des précipitations. Cette répartition n'est pas similaire (opposition des périodes) aux trois composantes principales. Le second type (1971-2005) concerne une baisse des précipitations (période déficitaire) qui est conforme à toutes les composantes principales. La tendance de l'évolution des précipitations est à la baisse significative à partir de 1980. Celle-ci est en relation significative avec celle des indices océaniques et les indices des pressions atmosphériques régionales et extra-régionales durant la période 1950-1970 (humide) et la période 1971-2005 (sèche).

Mots –**clés** : République du Congo, variabilité pluviométrique, indices océaniques ; indices de pressions atmosphériques de surface.

SUMMARY

The analysis of the relations between pluviometric variability and oceanic and atmospheric dynamic aims to shed light on the current pluviometric variability in Congo. The analysis of pluviometric variability is based on the study of five years movable averages. The tendency and the data of breaks on series of precipitations are analyzed by means of parametric and non parametric tests (Mann-Kendall, Pettitt, and Buishand). The analysis applies to a chronological series of pluviometric indications of three main components (CP1, CP2, CP3) resulted) from the analysis of the main components by mean of varimax rotation (ACPRV). The regionalization of precipitations results from the analysis of the main components by means of varimax rotation. We notice three pluviometric regions: South-Congo, Centre-Congo and North-Congo. The investigation of the relations between the indications of precipitations and the indications of the temperatures of the oceanic surface on the one hand, and the indications of atmospheric surface pressure on the other hand, is carried out by means of canonical correlations. The statistical significativity of correlations has been evaluated from Bravais-Pearson and Mann-Kendall tests. Yearly and seasonal precipitations present a significative fall tendency from 1980 for North-Congo and a no-significative tendency for South-Congo as well as Centre-Congo. The precipitation variability reveals two types of changes. The first type, occurred around 1950-1970, concerns the spatial distribution of precipitations in Congo. That distribution is not similar (periods opposition) to the three main components. The second type (1971-2005) consist in a fall of precipitations (period of fall) and marks all the main components. The tendency of the precipitations evolution presents a significative fall from 1980. The tendency is in significative relation with that of the indications of the oceanic surface temperatures and that of the indications of regional surface pressures during 1980-2005.

Key-words: Republic of Congo, pluviometric, variability, mains components analysis, indications of oceanic surface temperatures, indications of the atmospheric surface pressure.

INTRODUCTION GENERALE

1. Délimitation du sujet

1.1. **Délimitation thématique**

Le rythme pluviométrique du Congo-Brazzaville est largement dépendant des paramètres climatiques qui permettent de suivre à grande échelle spatiale, des conditions atmosphériques (en altitude et en surface) et océaniques (en surface et en profondeur) qui concourent à la mise en place des systèmes précipitant. Ces paramètres sont à l'origine des aléas climatiques qui se manifestent essentiellement dans la pluviométrie. La variabilité pluviométrique du Congo est importante à connaitre afin de mieux gérer son potentiel hydrique. Philippon, 2002 et Moron, 1994 pensent que les précipitations représentent l'aléa climatique principal en Afrique. Dans la recherche des causes à l'origine de cet aléa climatique, on peut citez d'une part la distribution des précipitations dans la saison (Chaouche, 1988), la structure de la saison des pluies, les caractéristiques des pluies, la part de chaque type de pluie par rapport au total annuel (Carbonnel, 1983), l'évolution de la saison des pluies (Mugnier, 1995), la part apportées par les pluies de fortes intensités, le nombre de jours de pluie et d'autre part, l'influence des paramètres météorologiques et océaniques, qui sont déterminants dans la genèse des précipitations au Congo, même si les précipitations y sont des phénomènes localisés dans l'espace. Les études antérieures ont abordé en partie les aspects de la variabilité pluviométrique mais il faut dire qu'il se pose le problème de la période d'étude souvent très courte et les méthodes utilisées ne permettent guère de mieux comprendre la variabilité pluviométrique. A cela s'ajoute le manque des données d'observations au sol. En effet, les postes de mesure sont peu nombreux et souvent mal entretenus et certains d'entre eux sont hors de service depuis plus de 10 ans. Sur une superficie de 342.000 km², seules les données de 14 stations sont disponibles sur notre période d'étude. La majorité des stations qui étaient autrefois opérationnelles sont aujourd'hui fermées, faute de moyens pour les entretenir. Si les études antérieures (Samba-Kimbata, 1978 et 1991) ont utilisé les données de plus de 30 stations de mesure, qui étaient pourtant toujours insuffisantes sur 342000km², aujourd'hui ces stations ne représentent qu'un point de mesure pour environ 342.000km². Ce qui est très insuffisant pour une étude des précipitations à l'échelle locale (figure 2). La figure 2 illustre bien cette inégale densité du réseau avec des vides problématiques sur l'ensemble du Congo et qui sont plus importants dans la partie nord. Cet état des lieux nous permet de conclure que le réseau est peu dense avec peu de lacunes au sud du Congo, et beaucoup de lacunes au nord du Congo. Un tel état des lieux nous permet de comprendre pourquoi les premiers travaux existant sur la climatologie du Congo (Pagney, 1986; Samba-Kimbata, 1978 et 1991), ne pouvaient s'appuyer que sur quelques données de stations, éloignées les unes des autres de plusieurs centaines de kilomètres. Nous devons les premières cartographies climatiques du Congo à ces auteurs. Elles illustrent le passage progressif du climat équatorial à courte saison sèche au nord à un climat tropical humide à longue saison sèche au sud et un climat de transition dit sub-équatorial au centre (*Samba-Kimbata, 1978, 1991*).

1.2. **Délimitation temporelle**

Pour cette étude, nous utiliserons une période d'étude qui va de 1950 à 2005. Durant cette période, sont associées deux sous périodes : 1950-1970 et 1971-2005. Les échelles temporelles suivantes sont retenues : le mois, la saison, l'année, la décennie, l'inter annuelle, l'inter décennale. Ces différents pas de temps serviront d'une part à l'analyse de la variabilité pluviométrique et d'autre part à la recherche des relations entre la variabilité pluviométrique et les paramètres météo-océanique intégrant les deux sous périodes (1950-1970) et (1971-2005) qui illustre le passage d'une période humide au Congo (1950-1970) à une période sèche (1971-2000). Cette période constitue de même la période où commencent les recherches sur la sècheresse sahélienne (1968) et les facteurs impliqués (Tanaka et al, 1975 ; Nicholson et al, 1988 ; Albergel et al, 1985 ; Chaouche, 1988 ; Janicot et Fontaine, 1993). Durant cette période, trois types de données seront utilisées : les données de précipitations mensuelles (issues des observations directes de 14 stations (12 stations synoptiques et deux (2) postes pluviométriques), les données des indices océaniques (Nino3.4, NAO, SOI et AMO), les données atmosphériques (geopotentiel à 1000 hPa). Les points de grilles des données des indices océaniques et du geopotentiel intègrent la fenêtre prenant en compte l'Afrique Centrale surtout le Congo (figure 3).

1.3. Délimitation spatiale

L'espace concerné par cette étude est la République du Congo, située en Afrique centrale et couvrant une superficie de 342.000km². Elle est comprise entre les latitudes 4°N et 5°S et les longitudes 7,5° et 20°E (figure 1). Elle rassemble trois types de climats zonaux allant du type équatorial, au type tropical humide en passant par le type sub-équatorial. La République du Congo a le privilège d'appartenir au grand bassin du Congo dont les enjeux environnementaux sont aujourd'hui de grande importance. Elle est située dans la région du Golfe de guinée qui est celle par excellence de la mousson. Celle-ci a des implications sur le climat continental et même sur les changements climatiques de ces dernières décennies (projet AMMA, 2009). La République du Congo, tout comme d'autres pays de l'Afrique Equatoriale Atlantique, connait depuis plus de deux décennies une variabilité pluviométrique qui semble être une extension de celle enregistrée en Afrique de l'Ouest au cours des années 1960. Le fait

marquant est que l'espace du Congo continue à être considéré comme pluvieux, alors que la réalité qui se dégage est qu'il connait actuellement une variabilité pluviométrique qui semble même plus prononcée ces trois dernières décennies eu égard aux conséquences qu'elle laisse sur les écosystèmes (Projet CORUS 2008). Outre cela, les pluies se font de plus en plus rares *(Samba et Nganga, 2011)*. Ce qui précède justifie la nécessité d'une étude sur les causes de la baisse pluviométrique constatée au Congo. Ainsi, dégager l'implication de chaque facteur sur la variabilité pluviométrique du Congo apportera un plus dans la compréhension des causes de la baisse de la pluviométrie constatée au Congo depuis les trois dernières décennies. Cela apportera certainement des éclaircissements dans les questions relatives aux prévisions saisonnières.



Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

2. Problématique

La république du Congo est située en Afrique Equatoriale Atlantique, un espace où la variabilité inter annuelle des précipitations est en grande partie dépendante de la circulation océanique et de la dynamique atmosphérique. Ces deux facteurs influent sur la Zone de Convergence Inter tropicale (ZCIT) dont le rythme annuel influence en grande partie la répartition annuelle et saisonnière des précipitations. Cependant, le couplage Océan-Atmosphère est sensible aux

contrastes de températures qui s'établissent entre la surface marine à forte inertie thermique et les surfaces continentales qui s'échauffent et se refroidissent trois fois plus vite. Ceci génère des gradients d'énergie auxquels répond une dynamique atmosphérique particulière dans les basses couches.

Dans la perspective actuelle des changements climatiques, les scénarios de sortie des modèles s'accordent sur le réchauffement des températures et par conséquent à une augmentation des phénomènes climatiques extrêmes. (IPCC, 2007).

Dans le bassin du fleuve Congo, et en République du Congo, un paradoxe semble se remarquer : la variabilité pluviométrique est importante avec des conséquences notoires sur les écosystèmes, pendant que la Congo se reconnait très pluvieuse.

Les causes de la diminution des précipitations à l'échelle planétaire sont attribuées en grande partie aux changements climatiques (hausse des températures). Cependant à l'échelle régionale et locale, les causes de la diminution des précipitations sont encore mal élucidées et préoccupent plus d'un chercheur.

Les projections des modèles de climat ne convergent pas tous encore sur le signal (indices/ indicateurs) des anomalies futures. Ainsi, la question du risque de persistance de longues périodes anormalement sèches ou pluvieuses se pose.

Devant cette interrogation, les études et programmes de recherches diagnostiques en climatologie visant à améliorer la compréhension de la variabilité climatique devraient se multiplier.

Le constat est qu'en Afrique de l'Ouest plusieurs programmes d'études se multiplient, visant notamment à mieux décrypter les mécanismes et la complexité du système pluviogène à différentes échelles de temps et d'espace afin d'améliorer les outils de diagnostic et de prévision. Il ressort de ces études que l'Afrique de l'Ouest a connu une baisse des précipitations après 1970. Les auteurs pensent entre autres que les populations de l'Afrique de l'Ouest subiront les impacts associés au changement climatique. La question du risque de persistance de longues périodes anormalement sèches ou pluvieuses demeure. C'est une question de première importance pour les pays et les habitants de la sous-région ouest africaine du Sahel (*Ardoin et al.,2003*).

Qu'en est-il alors de l'Afrique Centrale et du Congo ?

Tout d'abord, en Afrique Centrale en générale et en République du Congo en particulier, les études visant à mieux décrypter les mécanismes et la complexité du système pluviogène à l'origine de la variabilité climatique (variabilité pluviométrique) à différentes échelles de temps et d'espace, afin d'améliorer les outils de diagnostic et de prévision sont peu nombreuses.

Ensuite, la république du Congo semble ne pas être concernée par le signal du GIEC de la baisse de la pluviométrie. Et pourtant, les écosystèmes et la vie des populations du Congo ressentent

13

largement les conséquences de la variabilité interannuelle des saisons des pluies qui conditionne les modes de production agricole, des économies locales, et donc de la vie des populations.

Les quelques rares études réalisées ces trois dernières décennies au niveau régional de l'Afrique centrale et local du Congo (*Lerique, 1983 ; Suchel, 1987 ; Tsalefac, 1990 ; Mahé, 1990 ; Samba-Kimbata, 1991 ; Olivry et al, 1993 ; Bigot, 1997;Bigot et al., 1997 ; Maloba-Makanga et Samba, 1997;;Ibiassi, 2003 ; Todd, M.C., and R. Washington, 2003 ; Samba et Mpounza, 2005 ;Samba et al., 2008 ; Samba et Nganga, 2011, Ibiassi et al., 2013),* ont montré une évolution à la baisse de la pluviométrie à partir de 1980 . Ces auteurs concluent que l'Afrique Centrale, considérée comme un espace pluvieux, connait cependant depuis plus de trois décennies une baisse continuelle de la pluviométrie et des grandes irrégularités dans sa distribution qui semble être similaire à celle enregistrée en Afrique de l'Ouest.

Enfin, notons que les rares études réalisées sur la République du Congo sont pour la majorité stationnelles et portent sur des périodes de temps plus courtes. Ces deux facteurs limitent l'appréciation scientifique des chercheurs sur la variabilité pluviométrique de ces six dernières décennies. Les études climatologiques sur le Congo se sont peu intéressées à la recherche des causes de la baisse des précipitations, telle que l'implication des indices de la dynamique océanique global (NAO, SOI, AMO, Nino3.4) et les indices de la dynamique atmosphérique de la basse, moyenne, et haute troposphère sur la variabilité des précipitations, pourtant, dans la recherche des causes à l'origine de la baisse de la pluviométrie de l'espace ouest africain, une grande part de responsabilité à était attribué à la dynamique actuelle de l'océan et l'atmosphère. En effet, les travaux de Lamb (1978a, b) ont permis de mettre en évidence l'influence de l'Atlantique tropical sur les précipitions en Afrique de l'Ouest et d'associer le déficit pluviométrique sur le Sahel à une opposition des anomalies de TSM dans l'Atlantique tropical. Ces résultats ont été confirmés, puis étendus à des échelles de temps plus longues par Hastenrath (1984 et 1990), Druyan (1991), Lamb et Peppler (1991) et Janicot (1992b). À une échelle plus régionale, Vizy et Cook (2001, 2002) ont montré, en utilisant un MCG atmosphérique, la sensibilité des précipitations ouest africaines aux anomalies de TSM sur le Golfe de Guinée. Ils associent à des anomalies positives de TSM une forte évaporation sur le Golfe de Guinée advectée vers la côte guinéenne. Malgré la distance qui sépare le continent africain de l'océan Pacifique, un lien statistique significatif a été trouvé entre la TSM de la partie équatoriale est de l'océan Pacifique et les précipitations ouest africaines des trente-cinq dernières années. En effet, à un épisode chaud de l'ENSO (Niño) est associée une saison des pluies déficitaire sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest. Les études de Janicot (1997) et Janicot et al. (1998) expliquent ce lien par un renforcement de la circulation divergente zonale de type Walker et un affaiblissement du flux de mousson et de la cellule sud de la circulation de Hadley. Cela induit une augmentation des alizés sur l'Atlantique tropical nord. Clarke et Lebedev (1996)

avancent dans leur réflexion qu'un évènement chaud type El-Niño des années 1990 des aurait un impact plus important qu'un même évènement au début des années 1940 ou au début des années 1970. D'ailleurs, les travaux de *Janicot et al. (1996 et 2001)* montrent que les téléconnexions entre l'ENSO et les précipitations sahéliennes ne sont pas stationnaires et qu'il existe des périodes où ces téléconnexions sont fortes et d'autres faibles et dominées par un autre type de forçage (lié aux TSMs de l'Atlantique tropical et/ou de l'océan Indien). Ils proposent deux facteurs ou causes pour expliquer le renforcement de ces téléconnexions après 1970:

- une augmentation de la variabilité interannuelle de l'ENSO et, en particulier, du nombre d'occurrences de ses phases chaudes ;
- une contribution positive à l'échelle décennale du changement des TSMs globales sur la téléconnexion ENSO-Sahel.

Ces travaux ont permis de lever la contradiction existant entre les études montrant une absence de signal significatif de l'ENSO dans les précipitations sahéliennes (Stockenius, 1981 ; Nicholson et Entekhabi, 1987, Ropelewski et Halpert, 1987, 1989; Nicholson et Kim, 1997) et celles qui mettent bien en évidence l'importance du forçage de l'ENSO sur les fluctuations interannuelles de la Mousson Ouest Africaine(MAO) (Folland et al., 1986 ; Palmer, 1986 ; Hastenrathet al., 1987; Ward, 1992; Palmer et al., 1992). Rowell et al. (1995) montrent une corrélation significative entre les TSMs du Pacifique équatorial et les précipitations sahéliennes à l'échelle interannuelle (pour des périodes inférieures à onze ans), Ward (1998) trouve encore une corrélation plus élevée durant les années de déficit pluviométrique global sur l'Afrique de l'Ouest. Outre cela, les travaux de Trzaska et al. (1996) ont permis de mettre en évidence un mode (4^emode) de TSM extratropical d'échelle globale (GE) représentant une tendance multi décennale décrivant un net renversement hémisphérique (chaud au sud et froid au nord) des anomalies à partir des années 1970. De leur côté, Giannini et al. (2003), en décomposant la série temporelle d'un mode de précipitations sahéliennes en haute et basse fréquence (par filtrage), associe à l'échelle multi décennale le déficit pluviométrique au Sahel à des TSMs chaudes dans l'Atlantique de l'hémisphère sud et dans l'océan Indien (Giannini et al., 2003).

Rowell (2003), grâce à des données observées et des modèles, montre l'impact qu'à les SST de la Méditerranée sur les précipitations au Sahel. Il informe que les années où les SST de la Méditerranée sont supérieures à la normale, une augmentation de l'évaporation se produit, ce qui mène à une augmentation de l'humidité dans l'air qui est lui-même advecté en direction du Sud (vers l'Afrique). Cela induit une augmentation de la convergence de l'humidité au niveau du Sahel, ce qui conduit à une augmentation des précipitations dans cette région.

Plusieurs programmes internationaux et campagnes de mesure ont été consacrés à la variabilité des précipitations ouest africaines (Global Atmospheric Research Programme [GARP], 1974 ; Global Atmospheric Tropical Experience [GATE], 1974 ; Convection Profonde Tropicale [COPT], 1981 (West African Monsoon Project [WAMEX], 2002; Analyse

Multidisciplinaire de la Mousson ouest Africaine [AMMA], 2007). ICCARE (Identification et Conséquences d'une variabilité du Climat en Afrique de l'Ouest non Sahélienne) menés par l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le développement en Coopération (actuel Institut de Recherches pour le Développement) au sein du projet FRIEND-AOC (Flow Regimes from International Experimental and Network Data/ en Afrique de l'Ouest et centrale) du Programme Hydrologique International de l'UNESCO (Servat, 1994).

Outre la relation trouvée entre les indices des TSO (Températures de Surface Océanique) et la baisse ou la hausse des précipitations sahéliennes, la relation entre la tendance des pressions atmosphériques et celle des précipitations a été également prouvée par Norrant et Donguédroi (2004) qui pensent que la diminution des précipitations mensuelles et quotidiennes dans le sud-est méditerranéen français a une relation significative inverse avec les pressions de surface locales. De même, Kidson (1977), Stockenius (1981), Newell et Kidson (1979 et 1984) trouvent une relation positive entre la baisse de la pluviométrie sahélienne des années 1970 et l'évolution à la hausse des pressions atmosphériques. En effet, ils ont indiqué que la sècheresse sahélienne était reliée à un affaiblissement du JTE (Jet Est Tropical) en haute troposphère alors que le JAE (Jet Est Atlantique) se renforçait dans les couches moyennes. Certaines études sur la recherche des facteurs responsables de la sècheresse sahélienne de 1968 ont trouvé une liaison positive entre le déplacement méridien de la ZCIT et la sècheresse sahélienne (Tanaka et al, 1975), liaison positive trouvée entre la diminution de l'intensité de la saison de pluie via la dynamique atmosphérique, associé au déplacement méridien de la ZCIT. Cette affirmation est confirmée par Nicholson et al (1988;1993) par Janicot et Fontaine (1992) qui trouvent une relation positive entre cette sécheresse et la position en latitude de la ZCIT et l'intensité de la convection.

Nous constatons à la lumière de ces faits ou évènements, que les études sur l'Afrique Centrale sont rares et celles sur le Congo presque inexistantes. Or, la connaissance de la variabilité pluviométrique du Congo et les possibles relations avec les indices océaniques et atmosphériques est fondamentale pour la modélisation climatique (Océan-Atmosphère) à l'échelle régionale dont la paramétrisation souffre encore de l'insuffisance d'études climatologiques d'échelle fine, ainsi que de la validation de terrain. Les rares études menées en AEA (Afrique Equatoriale Atlantique) par *Maloba-Makanga et Samba (1997), Ibiassi (2003),* trouvent des corrélations positives significatives entre la variabilité des TSO et la variabilité des précipitations. Les auteurs pensent cependant que la part expliquée des TSO de l'Atlantique dans la variabilité pluviométrique en AEA est faible pour expliquer à elle seule cette variabilité. C'est d' ailleurs pour cette raison que la présente thèse associe d'autres paramètres climatiques aux TSO atlantiques à savoir : SOI, NAO, le géopotentiel) pour tenter d'expliquer les causes de la variabilité pluviométrique au Congo ces soixante dernières années. Il est question dans cette thèse, en complément aux travaux de climatologie fondamentale (*Samba-Kimbata, 1978*), de

climatologie appliquée(Samba-Kimbata,1991; Mpounza,1994, Samba, 2000), de porter l'attention sur l'évolution observée de l'interface Océan-Atmosphère au cours des soixante dernières années, période qui se place dans le cadre de la transition climatique qui a touché l'Afrique de l'Ouest dans son ensemble et dont l'extension se fait sentir en Afrique Centrale (Moron, 1994). En effet, il est question d'actualiser d'une part les connaissances sur la variabilité pluviométrique au Congo (un espace dont le réseau des mesures permet peu une analyse de la variabilité pluviométrique à l'échelle fine) et de rechercher d'autre part les relations entre la variabilité pluviométrique et la dynamique océanique (à l'échelle régionale et mondiale) et atmosphérique (à l'échelle régionale) afin de mieux décrypter les mécanismes et la complexité du système pluviogène. Ceci permettra l'amélioration des outils de diagnostic et de prévision des précipitations saisonnières qui ont un impact notoire sur les écosystèmes.

3. Questions de recherche

A la lumière de ce qui précède, la présente thèse se focalise autour de la question principale suivante : quelle est l'influence de la dynamique océanique et atmosphérique sur la variabilité pluviométrique du Congo ?

A cette question principale se greffent les questions spécifiques suivantes :

- Quelle est le degré de la variabilité pluviométrique du Congo de ces 60 dernières années (notamment les occurrences sèches et humides) ?
- Comment se comportent l'océan et l'atmosphère ?
- Quelle est la relation entre la variabilité pluviométrique au Congo et l'action de la dynamique océanique et atmosphérique ?

4. Axes de recherche

Ce qui précède fait apparaitre trois axes de recherche:

- la première est relative à la variabilité pluviométrique au Congo. Il est question ici de faire un état des lieux de la variabilité des champs pluviométriques aux échelles décennales, annuelles, saisonnières et mensuelles ; ce qui permettra de comprendre la situation pluviométrique actuelle du Congo (des 60 dernières années) dans un contexte de changement climatique. Les nouvelles méthodes de régionalisation-et de calcul d'indices pluviométriques sont utilisées pour pallier le problème du réseau d'observations au sol peu dense et des fichiers lacunaires. Les nouvelles méthodes d'analyses des données basées sur les analyses multi variées sont également utilisées ;
- la seconde piste est relative à la compréhension de la dynamique océanique et atmosphérique actuelle. Il sera entrepris l'étude de la tendance des paramètres océaniques et atmosphériques. Ceci nous permettra d'apprécier la tendance actuelle des

paramètres atmosphériques et océaniques (soit au réchauffement ou refroidissement, soit à la baisse ou à la hausse) ;

la troisième piste est relative à l'analyse de l'influence de la dynamique océanique et atmosphérique sur la variabilité pluviométrique actuelle du Congo. Ici sera entreprise une analyse conjointe des indices pluviométriques, des indices océaniques et des indices atmosphériques à partir de l'analyse des corrélations canoniques. Ceci permettra d'apprécier l'influence des paramètres météo-océaniques sur la variabilité des précipitations au Congo. Cette analyse pourra servir à déterminer la part de chaque facteur régional ou extra-régionale sur l'évolution de la pluviométrie du Congo de ces 60 dernières années. Cette connaissance pourra servir à la prévision saisonnière des précipitations, notamment des périodes sèches ou humides à l'échelle du Congo.

5. Les objectifs de l'étude

5.1. L'objectif principal

L'objectif principal de cette étude est de contribuer à la compréhension des relations Océan-Terre-Atmosphère notamment la compréhension des facteurs régionaux (dynamique océanique et dynamique atmosphérique) responsables de la variabilité pluviométrique du Congo. A l'issu de cette étude il sera donné une nouvelle compréhension des relations entre le système climatique et la variabilité climatique (la variabilité pluviométrique) du Congo.

5.2. Les objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques fixés par cette étude sont les suivants :

- étudier la variabilité pluviométrique au Congo au pas de temps mensuel, saisonnier, annuel, décennal et inter annuelle;
- analyser les conditions atmosphériques et de surface (circulation océanique) qui concourent à la mise en place des systèmes précipitants au Congo;
- établir les relations entre la variabilité pluviométrique, la dynamique océanique et la circulation atmosphérique des soixante dernières années.

6. Hypothèses de recherche

L'hypothèse générale de cette étude est la suivante : la variabilité pluviométrique actuelle (soixante dernières années) est en phase avec la dynamique océanique (globale) et atmosphérique (extra-régionale) ;

Les hypothèses spécifiques sont les suivantes :

- l'évolution des indices pluviométriques du Congo en général a une tendance à la baisse avec cependant des nuances entre trois sous périodes : 1950-2005 ; 1950-1970 et 1971-2005 ;
- l'évolution des indices océaniques et atmosphérique traduit une tendance à la hausse ;
- il existe une relation forte entre la variabilité pluviométrique des 60 dernières années du Congo et la dynamique océanique et atmosphérique régionale et extra-régionale. En effet, la hausse des précipitations du Congo est en phase avec la baisse des indices océaniques et atmosphériques et la baisse des précipitations est en phase avec la hausse des indices océaniques.

7. Contexte scientifique de l'étude

La présente thèse analyse la variabilité des précipitations du Congo et leur relation avec la dynamique océanique et atmosphérique dans un contexte des changements climatiques (transition climatique) de ces 60 dernières années.

La variabilité pluviométrique est analysée à l'échelle des régions (domaines) à variabilité pluviométrique homogène. Trois approches sont utilisées: l'approche en surface, l'approche en altitude et enfin l'approche combinant la surface et l'altitude.

- L'approche en surface concerne les observations pluviométriques constituant, par leur importance et leurs variétés, la toile de fond de notre étude. Les moyennes mensuelles et annuelles des pluies constituent les paramètres climatologiques mesurés en surface. Elles sont utilisées pour décrire leur variabilité grâce à des méthodes statistiques.
- L'approche en altitude considère l'atmosphère comme le principal facteur expliquant la variabilité des précipitations au Congo.
- L'approche combinant la surface et l'altitude associe l'océan et l'atmosphère pour expliquer la variabilité pluviométrique du Congo.

8. Clarification des concepts

Un certain nombre de concepts et mots-clés seront utilisés dans la présente thèse, ils doivent être précisés afin d'éviter toute ambigüité.

- Le Nord-Congo (INC) : représente la région pluviométrique regroupant les stations pluviométriques suivantes : Souanké, Impfondo, Ouesso et Makoua ;
- Le Centre-Congo (ICC): indique la région pluviométrique regroupant les stations pluviométriques suivantes : Mpouya, Gamboma et Djambala ;

- Le Sud-Congo (ISC): traduit la région pluviométrique regroupant les stations pluviométriques suivantes : Brazzaville, Mouyondzi, Sibiti, Nkayi, Makabana, Dolisie et Pointe-Noire.
- La variabilité pluviométrique ou la variabilité des précipitations : intègre aussi bien la répartition temporelle que la répartition spatiale des précipitations à différentes échelles mensuelle, saisonnière, annuelle, inter annuelle et décennale ;
- La variabilité pluviométrique mensuelle (variabilité mensuelle) : sera utilisée pour la typologie des régimes pluviométriques, afin d'établir les fluctuations réelles. Cette typologie des régimes sera faite à partir du profil des régimes (unimodal, bimodal), la position du maximum annuel, le nombre des mois secs ou humides. La comparaison des régimes se fera à l'échelle décennale tout en gardant à l'esprit l'appartenance des différentes stations à des régions pluviométriques préalablement obtenues à partir des ACP : Nord-Congo, Centre-Congo et Sud-Congo.

Notons que **les périodes de démarrages** et **d'arrêts des précipitations, du nombre de jours pluvieux et non pluvieux, de l'intensité et de la durée de la pluie** (bien que faisant partie des concepts classiques de la variabilité des précipitations dans un espace comme le Congo dans le but d'identifier les structures anormalement pluvieuses ou anormalement sèches) ne rentre pas dans les objectifs de cette thèse. Ces facteurs feront partis des perspectives de cette thèses pour la recherche des causes internes de la variabilité des précipitations du Congo ;

- L'évolution en phase et l'évolution en opposition de phase : l'évolution en phase ou l'évolution en opposition de phase de deux paramètres dans cette thèse traduit non l'évolution dans le même sens des deux paramètres en se focalisant juste sur les résultats statistiques, mais plutôt en se focalisant sur la réalité propre, c'est-à-dire l'interprétation des résultats statistiques. Exemple : si les précipitations et les pressions de surface évoluent dans le même sens, ceci traduit une évolution en opposition de phase et non une évolution en phase ;
- La variabilité pluviométrique annuelle : représente la variation des précipitations annuelles autour de la moyenne annuelle ;
- La variabilité pluviométrique inter annuelle : indique la variation pluviométrique durant la période 1950-2005. Les années humides sont celles au dessus de la moyenne et les années sèches sont celles en dessous de la moyenne.
- La variabilité pluviométrique saisonnière: traduit la variation des précipitations au cours d'une saison ;
- La variabilité pluviométrique décennale: représente la variation des précipitations au cours de dix années successives. Elle permettra de connaitre les décennies sèches (en dessous de la moyenne), et les décennies humides (au-dessus de la moyenne). La

classification des décennies dans cette thèse est faite en pourcentage et de la manière suivante de 1 à 100 % décennies humides et de 0 à - 100% décennies sèches.

- Le concept de dynamique de l'atmosphère : comporte la structure verticale de l'atmosphère notamment le geopotentiel à 1000 représentant la basse troposphère ;
- Le concept de « structure de l'atmosphère »intervient ici pour apprécier la part de la dynamique de l'atmosphère dans la variabilité des précipitations provenant de l'instabilité ou de la stabilité des couches d'air de l'atmosphère en altitude. En effet, la première condition requise pour qu'il pleuve réside dans la plus ou moins grande abondance de vapeur d'eau que contient l'air. Cette vapeur d'eau conditionne à son tour son degré de stabilité et d'instabilité. En outre, l'état de l'atmosphère dépend de cette teneur en vapeur d'eau : un air humide, en s'élevant, se refroidit moins vite qu'un air sec. Par conséquent, il est possible que les niveaux supérieurs aient des températures plus fortes que l'air préexistant à ces niveaux (*Fontaine;1988*). Dans le cadre de notre travail, la structure de l'atmosphère est la disposition verticale des paramètres suivants: températures, vents, geopotentiel, humidité relative, humidité spécifique, énergie statique humide ;
- Le concept de circulation océanique (dynamique océanique) : traduit la variation à différentes échelles de temps des indices océaniques, notamment la SOI (Indice de l'Oscillation Australe), la MAO (Atlantique-Multi Décennale Oscillation), la NAO (Oscillation Nord) et Nino 3.4. ;
- Les précipitations quant à elles, désignent l'ensemble des hydrométéores ou un ensemble de particules d'eau, liquides ou solides en chute ou en suspension, soulevées par le vent ou déposées sur les objets au sol. Sous forme liquide, ce sont, pour le Congo, la pluie, la bruine, la brume, le grésil, la grêle et les grains. En suspension dans l'atmosphère, ce sont la rosée (*EAMAC*, 1978).

9. Les différentes rubriques de la thèse

La présente thèse se subdivise en sept chapitres. À la fin de chaque chapitre, exception faite pour le premier chapitre, une conclusion partielle notifie les principaux résultats obtenus.

Le premier chapitre est consacré à la méthodologie utilisée. Dans ce chapitre il est présenté les différents fichiers de données, les méthodes de collecte, de traitement et d'analyse des données.

Le deuxième chapitre présente le cadre physique et climatique. Dans ce chapitre la première section est consacrée au cadre physique et la deuxième section au climat moyen.

Le troisième chapitre est consacré à l'analyse de la variabilité pluviométrique du Congo aux échelles mensuelles, saisonnières, annuelles, inter annuelles et inter décennales.

Le quatrième chapitre est réservé à l'évolution de la dynamique océanique, notamment de quatre indices océaniques.

Le cinquième chapitre fait une analyse des relations entre la variabilité pluviométrique du Congo et les indices océaniques. Ici il est recherché les liens entre les précipitations des différentes échelles spatio-temporelles et les indices océaniques.

Le sixième chapitre analyse la dynamique atmosphérique (notamment celle des pressions atmosphériques) régionale et spécifiquement aux 30 points de grilles encadrant les principales composantes principales.

Le septième chapitre recherche les liens entre la dynamique atmosphérique et les précipitations des différentes échelles spatio-temporelles.

Chapitre 1 : Données et méthodes d'étude

Dans ce chapitre seront présentés les types des données, les techniques de leur collecte, leurs différentes sources, les différents fichiers, et leurs différentes méthodes de traitement et d'analyse. Les fichiers des données se présentent sous trois formes : le fichier des données pluviométriques, le fichier des données des indices océaniques et le fichier des données des indices atmosphériques.

Les méthodes de traitement des données présentées sont celles qui ont permis de combler les lacunes dans les fichiers des données pluviométriques et leur validation.

Les méthodes d'analyse des données présentées cherchent à atteindre au mieux les objectifs fixées dans cette étude. Ces méthodes sont statistiques, réparties en méthodes analyses multi variées, en analyses de séries chronologiques et en analyses composites. Ces méthodes répondent aux exigences de l'approche statistico-dynamique largement utilisée dans les travaux de climatologie fondamentale et dynamique.

Ce chapitre ne comporte pas de conclusion partielle car, l'objectif n'est pas d'être exhaustif mais d'indiquer les cadres d'utilisation, les contraintes et les limites des données et méthodes.

1.1. Données utilisées

1.1.1. Les stations et la période d'étude représentative

Pour la réalisation de cette étude, 14 stations pluviométriques sont utilisées, réparties de la manière suivante : 3 stations au Nord de l'équateur et 11 stations au sud. Cependant, en tenant compte de la disparité des états de surface continentaux qui ont une influence considérable sur les paramètres climatiques retenus pour cette étude, la répartition spatiale des stations est la suivante: 1 station (Pointe-Noire), située dans la zone sous influence des régimes perturbés d'origine atlantique ; 7 stations (Djambala, Mpouya, Gamboma, Mouyondzi, Brazzaville, Sibiti, Makabana,) situées dans les zones élevées où l'influence de l'altitude et la largeur des unités montagneuses susceptibles de faire écran aux masses d'air se fait sentir ; 6 stations (Dolisie, Impfondo, Makoua, Nkayi, Ouesso, Souanké) situées en zones peu élevées et à l'intérieur du Congo, où les vents d'ouest sont moins prononcés.

Les 14 stations pluviométriques retenues pour cette étude (figure 2), répondent au souci de disposer d'un échantillonnage de points représentatifs correctement échelonnés sur l'espace du Congo, intégrant les disparités spatiales. Ces stations répondent aux critères suivants :

- ✓ une bonne adéquation en terme de couverture spatio-temporelle des zones étudiées ;
- ✓ une disponibilité et une mise à jour des données, car ce sont les stations météorologiques du Congo. Ces stations répondent à la fiabilité des séries.

1.1.2. La période d'étude et l'espace de référence

Le choix de la période de référence de 1950 à 2005 et de l'espace de référence situé entre les latitudes 4°N et 5°S et les longitudes 8°E et 19°E, servira d'une part pour l'analyse de la variabilité pluviométrique et d'autre part pour la recherche des relations entre la variabilité pluviométrique et les paramètres météo-océanique intègrent les deux sous périodes (1950-1970) et (1971-2005) qui illustre le passage d'une période humide au Congo (1950-1970) à une période sèche (1971-2005). Cette période constitue la période où commencent les recherches sur la sècheresse sahélienne(1968) et les facteurs impliqués.

1.1.3. Types des données utilisées et fichiers

1.1.3.1. Données pluviométriques stationnelles

Les données des précipitations mensuelles utilisées pour cette thèse sont issues des fichiers de la Météorologie Nationale du Congo (ANAC). Elles ont été constituées à partir des fichiers des données journalières. La période de référence va de 1950 à 2005. Notons cependant que les difficultés de disposer de données climatologiques de qualité et une longue période, constituent la principale limite des études climatologiques à l'échelle stationnelle. Ce constat a été déjà fait par plusieurs auteurs (Samba-Kimbata, 1991, Bigot, 1997; Samba, 2000). La difficulté de disposer des données pluviométriques fiables au Congo, relève essentiellement d'une part de la fermeture de plusieurs stations créées à l'époque coloniale (avant 1960), réduisant de ce fait le réseau de mesures (figure 2). Outre cela, celles-ci sont pour la plupart mal entretenues et ne respectent pas toujours les normes exigées par l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM). Les stations sont très inégalement réparties car, si l'on considère que les points au sol sont répartis de manière homogène, la partie nord est la moins couverte (figure 2).

Dans le souci de disposer de données de précipitations *in situ* couvrant notre période d'étude, nous avons recouru aux données du Centre de Recherches de Climatologie (CRC) de l'université de Bourgogne. Pour les besoins de couverture spatiale, nous avons recouru aux régions homogènes de variabilité. Par la suite, pour chaque région homogène, un indice des précipitations est calculé. Trois indices sont obtenus: l'indice Nord-Congo (regroupant les stations suivantes ; Souanké, Impfondo, Ouesso, Makoua), l'indice pluviométrique Centre-Congo (regroupant les stations suivantes : Mpouya, Djambala, Gamboma) et l'indice Sud-Congo

(regroupant les stations suivantes : Brazzaville, Mouyondzi, Sibiti, Nkayi, Makabana, Dolisie, Pointe-Noire).



Figure 2: Répartition spatiale des stations pluviométriques, (A) avant 1960 et (B) après 1960 (source : Météorologie Nationale du Congo)

	Stations	Longitudes	Latitudes	Altitudes (m)	Période (archives)
1	Brazzaville	15°15 E	4°15S		1931-2005
2	Djambala	14°41 E	2°32S	789	1936-2005
3	Dolisie	12°42 E	4°12S		1940-2005
4	Gamboma	15°52 E	1°52S		1936-2005
5	Impfondo	18°04 E	1°60N	326	1932-2005
6	Makabana	12°37 E	3°29S	160	1956-2005
7	Makoua	15°35 E	00°01S	380	1952-2005
8	Mpouya	16°13 E	2°37S	312	1940-2005
9	Mouyondzi	13°55 E	5°59S	512	1949-2005
10	Nkayi	13°29E	4°16S	165	1950-2005
11	Ouesso	16°03 E	1°37N		1935-2005
12	Pointe-Noire	11°54 E	4°49S	16	1931-2005
13	Sibiti	13°21 E	3°41S	530	1980-2005
14	Souanké	14°08 E	2°04N	549	1951-2005

 Tableau 1: la répartition temporelle des stations pluviométriques utilisées (source: Météorologie Nationale du Congo)

1.1.3.2. Les données des Températures de Surface Océanique (TSO) ou SST

Les données de Température de surface océanique retenues pour cette étude sont les indices des températures de surface océaniques suivants: AMO et Nino3.4, issus du fichier de la NOAA. Ce sont des données en point de grille du National Center for Environmental_Prediction et du National Center for Atmospheric Research (NCEP / NCAR). Elles proviennent des mesures *in situ* provenant des bateaux et des bouées.

Après contrôle de qualité, les données sont converties en anomalies centrées réduites (indices). Les biais sont corrigés afin de supprimer les tendances erronées liées à la diversité des procédés de mesure avant l'année 1942, ainsi que des changements intervenus dans les conditions de mesure au fil du temps (*Rayner and al, 2005*). Les données des TSO ont été utilisées dans cette thèse pour décrire les modes de variabilité annuelle et interannuelle des températures de l'Atlantique tropical et du Pacifique qui intéressent directement la zone de l'étude. Nous avons particulièrement utilisé Nino3.4 et l'AMO.

Indices	Localisation du phénomène	Mode de calcul des indices océaniques
Nino3(Nin3)	Pacifique tropical oriental	Anomalies de la température des eaux de surface
	(5N-5S, 150W-90W)	océanique.
Nino4(Nin4)	Central Tropical Pacific	Anomalies de la température des eaux
	5° N–5° S and 160° E–150° W	de surface océanique.
NAO	Zone nord-Atlantique extratropicale	Différence de pressions entre le sud (Ponta
		Delgado en Espagne) et le
		nord (Reykjavik en Islande) du bassin Atlantique
		Nord
SOI	Tropical South Pacific	Différence de pressions entre le Pacifique austral
		occidental (Darwin) et le Pacifique austral central
		(Tahiti)
AMO	North Atlantic Ocean	Mean SST north of the equator in the North
	0° N–60° N and 75° W–7.5° W	Atlantic Ocean

 Tableau 2: Description sommaire des indices océaniques utilisés

- NINO3.4 : Cet indice est situé dans la boite 5°N/5°S-170°W/120°W. Il est le plus utilisé des quatre indices NINO existants (NINO 1+2, NINO3, NINO4 et NINO3.4) car c'est le plus représentatif des phénomènes ENSO. l'ENSO qui se manifeste par la Nina (phase froide de l'ENSO et la Nino (phase chaude de l'ENSO), se caractérise par une variation couplée de l'intensité de la cellule de Walker du pacifique équatorial et des températures de surface océanique du pacifique équatorial (*Bjerknes, 1969 ; Philander, 1990*).

L'indice est issu des archives de la NOAA CPC (Climate Prediction Center) et est disponible depuis 1950. Données disponibles sur <u>www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices</u>.

L'oscillation atmosphérique repose sur une variation en opposition de phase entre la masse troposphérique au sud de l'inde et de l'Australie d'une part et au-dessus du Pacifique oriental d'autre part. La composante océanique de l'ENSO se caractérise par le développement d'anomalies chaudes (EL Nino) ou froides (La Nina) le long du plan équatorial des côtes d'Amérique du Sud à environ 180°. L'ENSO domine la variabilité climatique inter annuelle planétaire des pressions (Kidson, 1975), des températures de surface océanique (Semazzi et al. 1988; Bigot, 1991), de la convection à grande échelle (Chelliah et Arkin, 1992). Le couplage entre le phénomène atmosphérique (l'oscillation australe) et le phénomène océanique (El Nino) pris en compte dans la présente thèse a déjà été reconnu par *Bjerkness en 1969*.

Notons que le SOI et la NAO sont deux modes couplés entre l'atmosphère et l'océan qui son associés à cette étude. En effet, la NAO (Oscillation Nord Atlantique) est un mode dominant de la variabilité extratropicale de l'hémisphère nord (*Baruston et Livezey, 1987*), qui est

essentiellement étudiée à partir des données barométriques et de la vigueur des Westerlies des moyennes latitudes. La NAO se définit comme la fluctuation temporelle de l'intensité du vent zonal dans l'océan Atlantique liée aux variations barométriques déphasées entre l'aire anticyclonique sub tropicale des Açores et les basses pressions subtropicales (*Van Loon et Rogers, 1978, Rogers, 1984*).

1.1.3.3. Les données atmosphériques (réanalyse du NCEP / NCAR)

Les modèles de réanalyse assimilent les données d'observations issues de multiples sources (radiosondages, estimations satellitales) mais hétérogènes au plan spatio-temporel, et produisent aussi des prévisions à courte échéance. Elles sont construites à partir d'observations ponctuelles qui sont intégrées dans un modèle de climat sur une période donnée. Ensuite on force le modèle à générer les points observés à partir des méthodes d'extrapolation assez complexes. Les données réanalysées résultent d'observations et d'extrapolations se déclinant en plusieurs variables : des variables dynamiques et thermodynamiques telles que la pression au niveau de la mer (SLP), la température, le vent (à 17 niveaux de pression), l'humidité relative et spécifique, le tout couvrant la totalité de la troposphère (90N-90S et 0E-357.5E) sur une grille régulière de 2,5° de côté. Dans la présente thèse, nous avons utilisé les données de réanalyses pour décrire la dynamique mensuelle du vent à différents niveaux de pression et précisément dans la basse troposphère (1000 hPa), où circulent les flux thermiques et les perturbations auxquels les climats du Congo et de la sous-région sont sensibles. 30 points de grille ont été choisis en tenant compte de la fenêtre qui prend en compte l'Afrique Centrale et surtout le Congo dans les limites de cette étude: 5°N et 5°S et 7,5°E et 20°E (Figure 3).



Figure 3: Localisation des 30 points de grilles pour le geopotentiel, pressions égales à 1000hPa, période 1950-2005)

1.2. Méthodes de collecte et de traitement des données

1.2.1. Les méthodes de collectes de données

La collecte des données des précipitations a été faite auprès de la Météorologie Nationale du Congo, le comblement et la validation du fichier pluviométrique ont été réalisés par la méthode de type double cumul, après un test d'homogénéité temporelle des séries pluviométriques grâce aux tests de type double cumul (*Moronna et Yohai, 1978*) cité par *Démarrée et al.*, 1998 et Ibiassi (2003), celui de Kruskall-Wallis (Philippon, 2002).

L'homogénéité temporelle des séries chronologiques des indices pluviométriques a été évaluée grâce au test de *Kruskall-Wallis (Afnor, 1978)*. Ce test basé sur les rangs des individus, n'est pas affecté par les valeurs extrêmes, ce qui est souhaitable dans le cas d'une distribution s'éloignant de la loi normale. L'hypothèse nulle (H0) du test est constituée par l'homogénéité de la chronique entre les K échantillons d'une série.

A partir des totaux mensuels bruts couvrant la période 1950-2005, il a été effectué pour chaque mois une analyse en composante principale avec rotation (varimax), afin de détecter les grandes régions de co-variabilité des pluies. L'échelle mensuelle a été retenue étant donné la grande variabilité pluviométrique à cette échelle. Cette méthode a permis de noter les faits suivants : la saison pluvieuse s'étend d'octobre à mai et la saison sèche s'étend de juin à septembre au sud et au centre du Congo, tandis qu'elle s'étend de mars à novembre avec un ralentissement intrapluvial de décembre à février au nord du Congo. Le total annuel, permet de dégager trois grandes régions de co-variation pluviométrique annuelle. Tenant compte du fait que la configuration de la plupart des mois de la saison pluvieuse est semblable à la configuration obtenue pour le total annuel, nous retenons cette dernière. Ainsi la première région homogène (CP1), englobe le sud du Congo, une deuxième région homogène (CP2) couvre la partie centre du Congo.

Les tests effectués sur les séries chronologiques des indices pluviométriques annuels et saisonniers des principales composantes (CP1, CP2 et CP3) ont abouti à l'acceptation de l'hypothèse H0 (*encadré 1 : principe des tests d'hypothèses*) au seuil de confiance 90%. Les séries chronologiques annuelles et saisonnières et décennales ont été alors jugées homogènes.

1.2.2. Les méthodes de traitement des données

Pour atteindre les objectifs fixés pour cette thèse, les méthodes d'analyses retenues sont statistiques, largement décrites dans les travaux de : *Fontaine (1990), Moron (1994), Beltrondo (1990), Bigot (1997), Van stooch et Navarra (1993), Phillipon (2004), Assani, 2007).* Ces méthodes sont :

1.2.2.1. La régionalisation spatiale des données (délimitation des régions à variabilité pluviométrique homogène)

1.2.2.1.1. L'Analyse en Composante Principale avec rotation Varimax (ACPRV)

La régionalisation des précipitations en régions homogènes de variabilité a été obtenue par les analyses en composantes principales avec rotation varimax (ACPRV), qui ont pour particularité de conserver l'orthogonalité entre les facteurs (Richman, 1986). L'ACPRV regroupe sur chacun de ses facteurs les stations dont les évolutions temporelles se ressemblent, c'est-à-dire celles ayant une variabilité temporelle identique, sans tenir compte de l'effet de taille ni d'un éventuel évènement extrême du fait de la standardisation des données ; c'est-à-dire, l'existence d'un seul évènement de très fortes précipitations ne peut pas modifier la régionalisation, même si celle-ci est partiellement dépendante du réseau des stations. Il y a ainsi, autant de régions que de facteurs retenus. Chacune n'explique qu'une partie de la variance des stations qu'elle regroupe (variance expliquée) Von Storch et Zwiers (1998). En outre, l'Analyse en Composante Principale est une technique mathématique qui permet de détecter les dépendances statistiques entre un grand nombre de variables quantitatives. Elle sert essentiellement à réduire un système complexe de corrélations en un plus petit nombre, c'est-à-dire de « résumer » les grandes masses de données sous la forme de vecteurs représentatifs (vecteurs propres) montrant la dispersion des individus que l'on peut lier aux influences susceptibles d'expliquer la variabilité du champ étudié. A chaque champ spatial, est associée une chronique temporelle (composante principale) qui reproduit le résumé des variables obtenues par combinaison linéaire et explique un certain pourcentage par rapport à la variance totale. A la différence de beaucoup de techniques statistiques, l'ACP requiert une connaissance préalable des variables observées pour définir le nombre de facteurs (composantes principales) susceptibles d'être rattachés à un phénomène physique. Des tests statistiques permettent cependant de définir le seuil de manière plus objective. Parmi ces tests, l'on distingue l'analyse parallèle de Humphrey-Ilgen (1969) consistant à représenter sur une même figure les valeurs propres de données quasi-aléatoires et celles des données réelles. Ainsi, le point d'intersection des deux signaux (valeurs aléatoires et réelles) détermine le nombre de facteurs à extraire pour l'analyse factorielle. Le critère de North (North et al, 1982) quant à lui est basé sur la comparaison des écarts entre les valeurs propres les plus proches, avec une estimation des erreurs d'échantillonnage. Dans cette étude, nous avons fait appel à la méthode dite du « Scree Test » proposée par Cattel (1966) qui permet d'extraire des informations redondantes entre deux composantes successives. Ici, les valeurs propres des données réelles sont des graphes et le point d'inflexion de la courbe (scree), repéré par inspection visuelle, détermine le nombre de facteurs à extraire. La difficulté à interpréter les axes factoriels étant la principale limite de cette méthode, nous avons eu recours à un outil supplémentaire qui est la rotation des axes (rotation Varimax). Ainsi, la rotation des axes (en préservant leur orthogonalité) nous a permis de maximiser la variance des corrélations afin de faciliter leur interprétation (*Kaiser, 1958 ; Dyer, 1975 ; Richman, 1986*).

1.2.2.1.2. Les indices pluviométriques régionalisés

Les indices pluviométriques régionalisés ont permis de synthétiser l'information contenue dans un certain nombre de stations. Pour la présente thèse, trois indices pluviométriques sont calculés, notamment une pour chaque région pluviométrique.

Les indices pluviométriques ont permis de minimiser les variations locales et d'appréhender les variations plus globales. La formulation statistique des indices pluviométriques nécessite que le nombre des stations tout au long de la période de référence soit considéré, afin de conserver à l'indice une certaine homogénéité statistique (*Moron, 1994*).

La méthode de formulation statistique des indices pluviométriques retenue pour cette thèse est celle de *Krauss (1977)*; utilisée par *Moron en 1994*. Il s'agit d'une moyenne de données stationnelles standardisées. Les données ont été en premier lieu traitées par station.

Ensuite les stations ont été regroupées en tenant compte des composantes données par l'ACPRV.

L'avantage de cette méthode est de permettre la comparaison des stations très différentes du point de vue de la variance. Elle tolère la variance du nombre des stations. Elle est également plus proche de la réalité en gardant l'unité physique.

L'utilité climatologique de la méthode des indices pluviométriques est qu'il doit avoir une fonction pratique : il doit permettre d'étudier les liaisons statistiques avec des phénomènes globaux ou avoir une fonction plus diagnostique pour aider à la prévision intra ou inter annuelle des pluies dans une zone (*Moron, 1994*).

La méthode des indices pluviométrique a été approuvée par Nicholson et al. (1988) cités par Paturel et al. (1997), qui ont défini un indice qui, calculé chaque année sur la période étudiée, s'exprime par:

 $\mathbf{I} \mathbf{i} = \mathbf{X} \mathbf{i} - \mathbf{X}/\boldsymbol{\sigma}$

Avec: I i: Indice pluviométrique

Xi : Hauteur de pluie de l'année i (en mm),

X : Hauteur de pluie moyenne sur la période d'étude (en mm),

 σ : Écart type de la hauteur de pluie sur la période d'étude.

Elle détermine une variable centrée réduite Lamb (1982) cité par Servat et al. (1998)). La moyenne interannuelle d'une série correspond à l'indice nul (0) selon la méthode de Nichde, la moyenne annuelle est supérieure à la moyenne de la pluviométrie totale. Enfin, la période sèche correspond à une période ou la moyenne annuelle est inférieure à la moyenne pluviométrique totale. Une période normale est une période pendant laquelle une fluctuation identique s'observe

de part et d'autre de l'axe des abscisses. Dans ce cas, la moyenne annuelle est sensiblement égale à la moyenne de la pluviométrie totale. Pendant la période humide.

1.2.2.2. Le découpage saisonnier

Pour étudier la variabilité des précipitations, la dynamique océanique et atmosphérique, nous avons utilisé un découpage saisonnier suivant : DJF, JF, MAM, JJA, JJAS, SON et OND. Ce découpage est calqué sur les réalités agricoles du Congo. Ainsi, l'année civile est subdivisée de la manière suivante :

- Pour la CP1 (Sud-Congo) et la CP2 (Centre-Congo): Janvier-Février (JF): fléchissement intra-pluvial; Mars-Avril-Mai (MAM): la première grande saison des pluies; Juin-Juillet-Août-Septembre (JJAS): la grande saison sèche; Octobre-Novembre-Décembre (OND): la deuxième grande saison des pluies.
- Pour la CP3 (Nord-Congo): Décembre-Janvier-Février(DJF): fléchissement intrapluvial; Mars-Avril-Mai (MAM): la première grande saison des pluies; Juin-Juillet-Aout (JJA) et enfin Septembre-Octobre-Novembre (SON): la deuxième grande saison des pluies.

1.2.2.3. Détection de changements dans les séries des indices

1.2.2.3.1. La régression linéaire

L'analyse de la tendance des séries des indices des précipitations, des indices océaniques et de pressions atmosphériques a été faite à partir de la méthode de régression linéaire (encadré 2) assortie de la tendance polynomiale d'ordre 6.

L'hypothèse nulle qui signifie l'absence de tendance significative est rejetée, quand FO est \geq F α pour (N-2) degré de liberté. La valeur de F α est obtenue à partir de la table de distribution de Fisher-Snedecor (*Meddi et Assani, 2010*).

1.2.2.3.2. La moyenne mobile

Les moyennes mobiles (ou glissantes) sont utilisées pour analyser une série statistique temporelle en supprimant les fluctuations transitoires, afin de dégager les tendances à long terme. Pour cette thèse, la moyenne mobile a permis de lisser les séries des indices des précipitations, indices océaniques (températures de surface océaniques et autres indices), et des pressions de surface. En ce qui concerne les précipitations, le lissage a été appliqué aux séries standardisées (centrées et réduites) (encadré 1) car les séries des indices climatiques le sont déjà.

Cette méthode, suggérée entre autres par *DÉRY et al. (2005)*, poursuit trois objectifs : i) mettre en évidence la succession des périodes sèches et humides dans les trois régions pluviométriques; ii) maximiser les valeurs des coefficients de corrélation calculées entre les variables en éliminant les

fluctuations annuelles et saisonnières des précipitations qui ont tendance à diminuer les valeurs des coefficients de corrélation; et enfin, pouvoir comparer aisément et simultanément l'intensité des périodes sèches et humides des trois régions pluviométriques (*ASSANI, 1999*). Ces trois objectifs ne peuvent pas être atteints par d'autres méthodes comme, entre autres, l'analyse des ondelettes, qui est de plus en plus utilisée (*Labat, 2005*). Par ailleurs, la connaissance de cette succession des périodes humides et sèches est importante pour ainsi rechercher les relations possibles entre ces périodes et l'évolution des indices climatiques. Il est utilisé une méthode de lissage qui est calculée tour à tour sur chaque sous-ensemble de N valeurs consécutives (N < n). En effet, il existe différentes moyennes mobiles (simple, arithmétique, exponentielle, triangulaire ou pondérée) qui diffèrent les unes des autres par le poids attribué aux données sur la période considérée. Pour des séries journalières on distingue ainsi les moyennes mobiles de court terme qui ont une période (ou un pas) inférieur à 20 jours, de celles de moyen et long termes, respectivement de 20-100 jours et >100 jours. Les moyennes mobiles arithmétiques qui sont

utilisées pour cette thèse sont les plus utilisées car étant les plus simples à calculer. La moyenne mobile simple est donc calculée en additionnant les valeurs d'un certain nombre de périodes et en les divisant ensuite par la somme du total des nombres de valeurs.

1.2.2.3. Le test de Pettitt, de Buishand (méthode des écarts cumulés), de Lee et Heghinian (méthode bayesienne), d'Hubert (méthode de la segmentation)

La recherche des ruptures (stationnarité de la série) dans les séries des précipitations a été effectuée à l'aide des tests suivants:

de Pettitt . En effet, la mise en œuvre du test de Pettitt (1979) suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N, les séries chronologiques appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable de Pettitt (Ut,N). La probabilité de dépassement approximative d'une valeur k est définie. Cette valeur permet d'apprécier l'importance de la rupture. L'absence de rupture dans la série de taille N constitue l'hypothèse nulle. Si l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant t définissant le maximum en valeur absolue de la variable Ut,N . Le test est plus particulièrement sensible à un changement de moyenne (Hubert et al., 1998 ; Lubès-Niel et al., 1998). Une rupture primaire se définit comme une hétérogénéité identifiée par un test de rupture à partir de la série initiale. Une rupture secondaire est une rupture obtenue à partir d'une sous série issue de la série de base. Le test de Pettitt suppose l'absence d'autocorrélation et la constance de la variance comme condition d'application. Dans notre cas, nos séries pluviométriques remplissent ces conditions.

 de Buishand (méthode des écarts cumulés de Lee et Heghinian (méthode bayesienne), de Huber (méthode de la segmentation). Les seuils de signification retenus sont 1%, 5% et 10%.

La position de la rupture est donnée en considérant l'instant où la statistique atteint son maximum (maximum de la statistique de Pettitt, de l'écart cumulé). L'amplitude de la rupture est donnée par la médiane de toutes les différences entre les données de part et d'autre de la rupture (estimateur de Hodges et Lehman). Les différentes ruptures détectées au sein des séries des précipitations ont permis de rechercher l'influence des indices océaniques avant et après la rupture, symbolisant la période humide et la période sèche.

1.2.2.4. Le test de Student

Le test de Student est appliqué pour déterminer le degré de baisse ou de hausse des précipitations dans les principales régions homogènes. Cette méthode repose sur la comparaison de deux échantillons préétablis grâce à un test en T de Student. Elle présente des avantages dans l'étude des champs climatologiques présentant une redondance de l'information dans l'espace et dans le temps. Nous avons utilisé les chroniques mensuelles obtenues par analyse en composantes principales, et décrivant la variabilité des précipitations dans chacune des trois régions (Nord-Congo, Centre-Congo et Sud-Congo). Pour chaque mois, les valeurs sont rangées par ordre croissant afin d'identifier les années sèches et les années humides.

La procédure du test de Student selon Djoufack-Manetsa (2011) est la suivantes :

Le test de Student est un test paramétrique qui peut être employé lors de la comparaison de deux moyennes ou pour tester la significativité d'un coefficient de régression. Ce test ne peut être utilisé qu'à deux conditions : les distributions des moyennes doivent obéir à une loi normale, c'est-à-dire décrire une courbe de Gauss, et leurs variances doivent être de même taille. Dans le cas de la comparaison de deux moyennes, il est question de savoir par exemple si la différence entre la moyenne observée et la moyenne de la population est significative ou non. Le test t est alors calculé en effectuant le rapport de la différence des moyennes sur l'erreur standard et on obtient alors une valeur appelée "Valeur de t" ou t observé. Après avoir effectué le test de significativité globale du modèle de régression multiple (test de Fisher), il est intéressant d'effectuer un test de significativité partielle sur le même modèle à l'aide du test de Student. Ce test nous permettra de savoir si chaque coefficient est significativement différent de 0 ou non.

On considère communément qu'une valeur de t correspondant à un seuil p<0, 05 traduit une différence significative entre les moyennes. Si p<0, 01, alors la différence est très significative.

33

1.2.2.1. Les corrélations canoniques

L'analyse des corrélations canoniques est faite entre les séries lissées standardisées des indices des températures de surface océaniques et les pressions de surface (groupe des variables indépendantes) et les indices régionalisés des précipitations (groupes de variables dépendantes) déterminés à partir des analyses en composantes principales avec rotation varimax. Cette analyse a permis de rechercher le degré de relation (la part expliquée des indices des températures de surface océanique tropicaux et extra-tropicaux) et des pressions de surface sur la variabilité pluviométrique du Congo). Les corrélations canoniques sont de plus en plus utilisées en climatologie pour analyser la relation entre les variables climatiques (température, précipitations, vents, etc.) et les indices des températures de surface océaniques (modes océaniques)(Berri et Bertosa, 2004; Chen et Chen, 2003; Dünkeloh et Jacobeit, 2003; Haylock et Goodess, 2004; Jain et al., 2005; Lolis et al., 2004). La méthode de l'analyse canonique des corrélations est exposée dans de nombreux livres de statistiques (Afifi et Clark, 1996). Cette technique présente l'avantage d'analyser simultanément les deux groupes de variables dépendantes et indépendantes. Ceci permet de mettre ainsi, en évidence les liens entre les variables du même groupe, d'une part et ceux qui existent entre les variables de deux groupes d'autre part. De plus, cette méthode permet de maximiser les coefficients de corrélations entre les deux groupes de variables X et Y (Assani et al., 2008).

La signification statistique de la corrélation a été déterminée à partir du test de corrélations de Bravais-Pearson, du Tau-B de Kendall et de Rho de Spearman à 0,01 et 0, 05. Ces trois tests sont des tests sur le rang qui ont permis de déterminer si la corrélation entre les deux variables est significative ou non. Ces trois méthodes sont robustes vis-à-vis des valeurs extrêmes (cas des données dont la distribution est fortement dissymétrique) et des écarts par rapports à une relation linéaire. Nous avons retenue comme corrélations significatives, celles jugées significatives par au moins deux tests. La prise en compte de plusieurs tests (Bravais-Pearson, Tau-B de Kendall et Rho de Spearman) a servi à déterminer les corrélations canoniques entre les variables dépendantes et les variables indépendantes. Cette démarche a permis de régler deux problèmes fondamentaux qui surviennent lorsqu'on doit évaluer la significativité d'une corrélation à savoir : le problème de la multiplicité et celui de la corrélation sériale ou auto-corrélation à (*Moron*, 1997)

Chapitre2:Cadre physique et climatique du Congo

Dans ce chapitre il est fait une description de grandes unités du relief, des principales formations végétales, de l'hydrographie continentale. Il est aussi fait une description de la circulation atmosphérique et océanique. Les éléments précités sont susceptibles de moduler le climat dans la zone d'étude.

2.1. Le cadre physique du Congo

2.1.1. Le relief et la répartition pluviométrique

Le relief du Congo est, par sa configuration, un élément discriminant dans la répartition des précipitations. C'est un relief composé des zones déprimées (vallée, plaines) et de zones élevées (montagnes et plateaux) (figure 4).

2.1.1.1. Les reliefs élevés

2.1.1.1.1. Les plateaux

Le relief du Congo est composé de plateaux: le plateau des Cataractes (à l'extrême sud du Congo méridional), les plateaux Batéké (au centre du Congo) et les plateaux ouest Congo. Dans l'ensemble, leurs altitudes varient de 300 à 800 m. On y trouve des collines par endroits. Les altitudes de ces plateaux, associées à leurs vastes extensions, ont incontestablement des effets non négligeables sur l'ascendance orographique d'air saturée d'humidité-provenant de l'océan Atlantique.



Figure 4 : les grandes unités du relief du Congo (source : Samba et Nganga, 2011)

2.1.1.1. 2. Les montagnes

Les principales montagnes du Congo sont : le massif du Mayombe et le massif du Chaillu. Le premier massif est localisé au sud-ouest du Congo. Son relief est en écharpe et longe le littoral, sur une largeur de 40 à 60 km. Il est dominé par les Monts Foungouti (930m). La disposition parallèle du massif du Mayombe à la côté l'expose au flux de masse d'air de Sud-Ouest. Le second massif, celui du Chaillu, est localisé au Nord de la vallée du Niari et de la
Nyanga-Ngounié. Les deux massifs montagneux modifient les conditions de circulation de flux venants de l'océan atlantique. Ils imposent par conséquent des effets orographiques locaux : précipitations élevées sur les versants aux vents et précipitations moindres sur les versants sous le vent.

2.1.1.2. Les zones basses

Elles sont constituées de plaines et de dépressions.

2.1.1.2.1. La plaine côtière

La plaine côtière se localise à l'Ouest du Congo, le long du littoral. Elle est limitée à l'ouest par l'océan Atlantique. L'altitude moyenne est de 90 m. La plaine côtière, de forme rectiligne, est bordée de lagunes. La plaine côtière est une zone idéale du contact océan-continent où les effets des courants marins et de la masse d'air maritime atlantique font sentir leurs influences (*Suchel, 1972 ; Samba-Kimbata, 1991*): instabilité atmosphérique par frottement du flux humide océanique saturé d'humidité ; épaisseur plus grande de la couche humide au bord du littoral qu'à l'intérieur du continent, influence constante de la houle du sud-ouest. De plus, la plaine facilite la pénétration du flux océanique dans le continent.

2.1.1.2. 2. Les dépressions

Les dépressions constituent les parties basses du Congo. Ce sont : la Cuvette congolaise, la vallée de Ngounié-Nianga, la vallée du Niari.

La Cuvette congolaise, est une zone de basses pressions quasi permanentes, située au Nord-est de la République du Congo. La vallée du Niari et la vallée de Ngounié-Nianga sont situées au Sud-ouest de la République. Ces deux vallées sont limitées de part et d'autre par le Massif du Chaillu et le Massif du Mayombe et forment par conséquent un synclinal. Les trois principales dépressions citées attirent les masses d'air provenant de l'océan atlantique.

1.2.3. La végétation et les précipitations au Congo

La végétation du Congo (figure 5) se compose de deux principaux ensembles (les forêts et les savanes). Ces formations végétales couvrent des vastes surfaces. Les formations végétales forestières sont représentées par la forêt dense humide équatoriale, sempervirente, qui se localise au Nord–Ouest du Congo (forêt humide équatoriale du Congo), au Sud–Ouest (forêt du Mayombe). Les espèces rencontrées sont : les *Terminalia superba, le Gilbertio dendron dewevrei*. La forêt de mangrove se localise dans la zone côtière, et occupe les parties marécageuses de la côte.

Au centre du Congo, se trouvent les forêts mésophiles qui occupent les sols sableux du système Batéké, représentant la physionomie classique d'une mosaïque forêt savane. Les espèces rencontrées sont des caducifoliées, mêlées à des jeunes espèces arbustives et à des palmiers à huile (*Elaeis guinnensis*). Au climat tropical à longue saison sèche, se trouvent les savanes. Les savanes sont localisées dans la vallée du Niari (savane à *Hypparrhenia*), sur les plateaux des Cataractes (savane à *Aristida*), dans la Cuvette Congolaise (savane à *Andropogon*). Ces savanes sont souvent des mélanges des herbacées et d'arbustes.

La forêt favorise de même les interactions entre la biosphère et l'atmosphère par le biais de l'évapotranspiration, composante essentielle du cycle hydrologique, déterminant les transferts de vapeur d'eau. La forêt recycle localement l'humidité et influence la distribution régionale des précipitations.

L'action de la végétation sur la variabilité pluviométrique du Congo n'est pas isolée du recyclage des précipitations. Elle se combine avec celle des surfaces d'eaux libres pour imposer une influence locale sur la pluviométrie.

38



Figure 5: Les grands ensembles de la végétation du Congo (d'après CNIAF/MDDEFE, 2010)

1.2.4. L'hydrographie continentale du Congo

2.2.4.1. Le réseau hydrographique interne (continentale)

L'hydrographie continentale du Congo s'organise autour de deux bassins versants des fleuves tributaires de l'océan Atlantique : le bassin du fleuve Congo (figure 6) et le bassin du Kouilou-Niari (figure 7)



Figure 6: Le réseau hydrographique du Fleuve Congo (Source : Ibiassi, 2003)

Le fleuve Congo-est le plus grand fleuve du Congo. Sa longueur est de 4374 km avec un cours supérieur (la Lualaba) et un cours inférieur dans l'hémisphère Sud et le cours moyen dans l'hémisphère Nord, lui confère un régime complexe : uni modal au nord, et bi modal au sud (*Samba-Kimbata, 1991*). Son module inter annuel est de 41.600 m3/s à Brazzaville (*Laraque et Maziézoula, 1994*), ce qui fait de lui le second fleuve le plus puissant du monde après l'Amazone. Le fleuve Congo prend sa source en Tanzanie (*Mahé, 1991*). Il coule d'est en ouest en décrivant des nombreux méandres et boucles, avant de se jeter dans l'océan Atlantique au sud de Pointe- Noire. Le régime du fleuve Congo est complexe. Il associe trois types de régimes hydrologiques : un régime tropical de transition uni modal de type méridional dans son cours supérieur comme à Kindu et à Bukavu, un régime équatorial de transition bimodal de type austral à Lowa, Ubundu et Kisangani, et un régime de type boréal entre Yangambi et Mbandaka et de type hybride dans son cours inférieur avec maximum en décembre et minimum en août (*Samba-Kimbata, 1993*).

Le fleuve Congo reçoit plusieurs affluents dont ceux de son cours supérieur qui, selon Mahé, 1990, descendent du grand rift est-africain ou des montagnes Muchinga à la frontière zambienne. Ses affluents de rive droite les plus importants sont : la Lukuga, l'Aruwini, l'Itimbiri, l'Oubangui et la Sangha (*Samba Kimbata, 1993*).

Le fleuve Congo reçoit ses eaux de nombreux affluents comme : l'Oubangui, la Sangha (qui reçoit les eaux de la Kadéi et de la Ngoko, prenant source à l'Est de l'Adamaoua au Cameroun), la Likouala-aux-herbes, la Likouala Mossaka, l'Alima, la Nkéni, la Léfini et le Djoué.

Le second fleuve du Congo est le Kouilou-Niari, qui draine un bassin versant de 55 000 km², circonscrit entre les longitudes 11°42' et 14°43' Est et les latitudes 1°46' et 4°54' Sud (figure 7). Du point de vue de la lithologique, ce bassin est constitué selon *Schwartz* (1991)« des formations géologiques suivantes: les formations précambriennes inférieures encore appelées le complexe métamorphique au nord du bassin (dans le massif du Chaillu) ; les formations précambriennes supérieures de la série de la Louila et de la Bouenza au nordest; la tillite supérieure au centre est (dans la plaine du Niari); la série Schisto-calcaire et la série de la Mpioka à l'ouest, les formations précambriennes moyennes de la série de la Nola (schistes et quartzites), les formations précambriennes inférieures (complexe métamorphique) et les formations de couverture formant la série des cirques (argilo- sableuse et calcaire) et alluvions au sud (dans le Mayombe), à l'ouest et au sud)».



39. La station numéro correspond à Sounda-sur-le Kouilou ;La station numéro 40, correspond à Kibangou Niari ;La station sur le numéro 46, correspond à Moukomo sur le Ndouo; La station numéro 49, correspond à Biyamba sur la Louessé ; La station numéro 54, correspond Miambou à sur la Bouenza ;Lastation numéro 57, correspond à Loudima sur la Loudima.

Figure 7: Le bassin versant du Fleuve Kouilou-Niari et stations hydrométriques de référence (*d'après CRTH*, 2007)

Du point de vue climatique, le bassin versant du Kouilou-Niari est sous l'influence du climat tropical humide, caractérisé par des précipitations abondantes. Celles-ci se répartissent d'octobre à mai avec un fléchissement en décembre- janvier- février et une longue saison non pluvieuse de mai/juin à septembre (Samba-Kimbata, 1978). Les pluies sont en général mal réparties dans l'espace. Les pluies abondantes sont localisées dans les Hautes terres (Mayombe et Massifs du Chaillu) avec un total annuel de 1700 à 1900 mm alors que les

faibles précipitations sont enregistrées dans les basses Terres (vallée du Niari) qui recueillent moins de 1400 mm (*Ibiassi, 2003*).

2.2.4.2. Rappels sur la dynamique océanique, atmosphérique et les fondements de la climatologie du Congo

• Bilan énergétique

La compréhension du climat et des caprices du temps aux différentes échelles de temps et d'espace-passe par la compréhension des facteurs caractéristiques de la circulation océanique (*Voiturier, 1999*) qui sont directement liés aux vents, et entraînent par friction directe, une couche océanique de surface plus ou moins épaisse (*Mahé, 1990*). La circulation atmosphérique conjuguée avec la circulation océanique regroupe des mécanismes fondamentaux par lesquels l'énergie provenant essentiellement du soleil est absorbée, transformée, redistribuée et transférée des zones excédentaires vers les régions déficitaires. Théoriquement, le bilan énergétique annuel entre la terre et l'atmosphère est nul. En effet, le soleil émet sous forme d'ondes courtes ($0,2 \ \mu m \ a \ 4 \ \mu m$), de l'énergie sous forme de rayonnement (environ $102W/m^2$) qui est compensé par le flux thermique émis par la terre et l'atmosphère et la surface de la terre est ainsi transformé en chaleur. Ce bilan tient compte de la fraction d'énergie transportée de la surface vers l'atmosphère sous forme de flux non radiatifs de chaleur latente (évaporation) et de chaleur sensible (convection turbulente).

L'équation du bilan d'énergie en surface s'écrit (Monteny et al, 1986 ; Janicot, et al, 1993)

$\mathbf{RN} = \mathbf{Rg} + \mathbf{Ra} - (\mathbf{Rr} + \mathbf{Rt}) = \mathbf{H} + \mathbf{LE} + \mathbf{G}$

Avec RN= Rayonnement net absorbé par la surface ; Rg = Radiation solaire incidente atteignant la surface ; Ra = Rayonnement infrarouge atmosphérique ; Rr = rayonnement réfléchi par la surface ou valeur d'albédo de cette surface : La quantité d'énergie réémise vers l'espace par la terre dépend des types d'occupation du sol (végétation, cours d'eau, sol nu etc.) ainsi que des caractéristiques de l'atmosphère (densité et type de nuage, leur altitude, leur composition etc.) ; Rt : Rayonnement infrarouge tellurique montant, déterminé suivant la température de la surface Ts et à l'émissivité de celle-ci. La redistribution de l'énergie vers l'atmosphère se fait quant à elle à travers les flux de chaleur latente (LE) et sensible (H) ;

G = redistribution de l'énergie vers les couches superficielles du sol.

Les différences dans la répartition spatiale du bilan radiatif se traduisent par l'amplification des gradients méridiens de température aux latitudes moyennes et des gradients verticaux aux latitudes tropicales. Ces gradients thermiques provoquent la mise en mouvement de l'énergie dans le système, des régions sources équatoriales vers les régions puits subtropicales et de la surface terrestre vers l'atmosphère (*Sadourny, 1994*).

2.2.4.2. 1. Circulation à grande échelle

La circulation à grande échelle (figure 8) provient de la distribution énergétique non uniforme dans le système Terre-Océan-Atmosphère (TOA) entre les régions sources dont le bilan radiatif est excédentaire (l'équateur et les basses couches) et les régions puits dont le bilan radiatif est déficitaire (les pôles et les hautes couches) est à l'origine de la circulation atmosphérique à l'échelle planétaire (*Dhonneur, 1985; Sohn et Smith, 1992; Malardel, 2005*). Afin de rééquilibrer ces gradients d'énergie entre sources et puits, une circulation méridienne et verticale se met en place entre les pôles et l'équateur. Cependant, la force de Coriolis, induite par la rotation terrestre, empêche le transfert direct d'énergie entre ces deux types de régions et ne permet pas la création d'une cellule unique capable de transporter l'énergie. Palmen (*1951*) décrit, dans un modèle de circulation générale atmosphérique ne comprenant

ni les continents ni les océans, trois zones de circulation des vents entre l'équateur et les pôles (figure 8): les cellules de Hadley (de l'équateur à 30°N et de l'équateur à 30°S, intégrant l'Afrique de l'Ouest et la zone de circulation de la Mousson d'Afrique de l'Ouest (MAO), les cellules de Ferrel qui se situent aux latitudes moyennes (de 30°N à 60°N et de 30°S à 60°S) et enfin les cellules polaires au nord de 60°N et au sud de 60°S.



Figure 8: Circulation tricellulaire de l'atmosphère. H (L) pour les couches de hautes (basses) pressions. (Source Palmen, 1951, in BOUALI, 2009)

Contrairement à la vue idéalisée des cellules du modèle de Palmen, les cellules de Hadley, notamment, sont dissymétriques et fortement modulées par le cycle saisonnier. La cellule de l'hémisphère sud (nord) s'intensifie en été (hiver) boréal et conduit au déplacement en direction du nord (sud) de la Zone de Convergence Intertropicale (la ZCIT). Cette zone de convergence entre les cellules des hémisphères nord et sud a été définie par Janicot et Fontaine (1993) comme étant le lieu où l'énergie reçue par l'atmosphère est maximale, caractérisant ainsi une zone de convection profonde humide au voisinage de l'équateur. La

trace au sol de la zone de confluence des vents des deux hémisphères est associée à une zone de convergence sèche appelée le Front Inter Tropical (FIT), moins développé verticalement et plus au nord que la ZCIT. Au regard du déplacement de l'air, les cellules de Hadley sont caractérisées par deux branches verticales : une première branche ascendante au-dessus des principales zones sources d'énergie (zone équatoriale) et une seconde descendante au-dessus des zones puits (sub-tropiques vers 30°N et 30°S) avec un mouvement de l'air allant des puits vers les sources dans les basses couches et des sources vers les puits dans les couches hautes de la troposphère (15 km). Janicot (2002) schématise ce type de circulation en intégrant la mousson africaine et l'opposition océan-continent, par un transport des énergies sensible et latente dans les basses couches pour alimenter la branche ascendante (flèche bleue) au niveau de l'équateur, et par une transformation en énergie potentielle en altitude donnant lieu à d'importants systèmes convectifs. Afin d'équilibrer la perte d'énergie des basses couches, les subsidences alimentent la surface en énergie sensible provenant des hautes couches par compression adiabatique. Outre le transfert d'énergie méridien et vertical par la circulation de Hadley, une autre circulation de type est-ouest (circulation zonale type Walker, se met en place en réponse aux contrastes existant entre d'une part les eaux chaudes des régions ouest des bassins océaniques et les régions froides à l'est, et d'autre part entre les continents chauds à faible capacité calorifique et les océans plus froids à forte inertie thermique. On distingue deux groupes de cellules de type Walker : le groupe Pacifique/Atlantique transportant les chaleurs latente et sensible vers l'est et l'énergie géo potentielle vers l'ouest, et le groupe Afrique/océan Indien caractérisé par une circulation inverse de celle du précédent groupe.

2.2.4.2. 2. Les courants marins

Dans la zone équatoriale, l'océan présente une circulation avec des variations symétriques des champs de pression, signature du couplage entre les deux fluides (*Voiturier*, 1999). Les courants équatoriaux (figure 9) se décomposent en courant équatorial nord et

courant équatorial sud. Ceux-ci sont des courants marins entrainés vers l'ouest par les alizés respectifs de l'hémisphère nord et de l'hémisphère sud.



Figure 9: Les courants marins aux basses latitudes (circulation dans la couche superficielle de l'Océan tropical) source : Voituriez et Jacques, 1990

Ces deux courants de surface s'écoulent à une vitesse moyenne de 60 km par jour : le courant équatorial Nord se localise entre 10° N et 25° N et le courant équatorial sud entre 2°N et 20°S (*Voiturier, 1999*). Ces courants accumulent les eaux chaudes dans la partie occidentale des bassins, formant la boucle océanique; réplique de la circulation anticyclonique de l'atmosphère. Entre eux, le long de l'Équateur météorologique, s'insinue vers l'est le contre-courant équatorial.

2.2.4.2. 2. Le contre-courant équatorial

Le contre-courant équatorial marque l'équateur océanique et se manifeste par une faiblesse marquée par l'enfoncement de la thermocline et la diminution des mélanges verticaux entre l'eau superficielle et l'eau profonde.

2.2.4.2. 3. Le sous-courant équatorial ou courant de Gromwell

C'est un courant de compensation qui coule sous le courant équatorial Sud dans la thermocline et en sens inverse à des profondeurs allant de 250 m à l'Ouest à moins de 100 m à l'Est où il alimente l'upwelling équatorial, le long de l'équateur (*Voiturier, 1999*).

2.2.4.2. 4. L'upwelling

L'upwelling résulte de la combinaison d'au moins trois facteurs : une action directe de la tension des vents sur les eaux de surface, un effet de divergence des courants équatoriaux induits par le changement de signe de la force de Coriolis, et des phénomènes océaniques ondulatoires qui prennent naissance dans l'Atlantique Equatorial Occidental, sous l'action des variations de la tension zonale des vents de surface (alizés du Sud-Est) *Mahé, 1990*.

Il ressort de l'analyse de *Mahé (1990) et de Voiturier (1999)* que les variations d'intensité des upwellings, annuelles ou interannuelles sont directement reliées aux variations du dispositif des grandes cellules de pressions anticycloniques tropicales.

Le long des côtes du Congo, jusqu'au Cap Lopez (au Gabon), se forme un upwelling à partir du mois de mai. Cependant, l'étendue et l'intensité de ces eaux froides varient selon les années. L'action de l'Upwelling équatorial sur le mécanisme pluviogène est imposante car, elle contribue à refroidir par la base l'alizé du sud qui longe les côtes et qui pénètre à l'intérieur de l'espace de l'Afrique Atlantique Equatoriale en prenant une composante-sudouest. Ce flux contribue par conséquent à rafraîchir les basses couches et renforce la stabilité (*Buisson, 1987*). Il est probable que la position et l'étendue de l'upwelling côtier soient influencées par l'activité de l'anticyclone de Sainte-Hélène sur sa face équatoriale; ce qui pousse à dire que les eaux froides se formant au Sud du Cap-Lopez sont plus ou moins entraînées vers le Nord en fonction de la force de l'alizé, donc du gradient de pression régnant sur l'Afrique Equatoriale Atlantique (*Buisson, 1987*). En somme, l'upwelling côtier entraîne une diminution des TSO à l'Équateur de juin à octobre et un refroidissement moins prononcé en janvier-février (*Mahé, 1990*). Plus l'upwelling est actif, plus il freine une éventuelle convection et plus il se fait sentir loin à l'intérieur du continent, poussant vers l'est le front de mousson, et l'influence de l'alizé de l'océan indien (*Buisson, 1987*). Enfin, la variabilité inter annuelle de la diminution saisonnière de la température de surface au niveau de l'upwelling équatorial-peut avoir un effet sur la stabilité des basses couches atmosphériques.

2.2.4.2. 5. Les températures de surface océanique (TSO)

Les températures de surface océanique connaissent les variations les plus fortes liées au déplacement de la ZCIT le long de l'équateur ; variations inter annuelles qui conduisent à un réchauffement ouvert sur l'Arctique tout autant que sur l'Antarctique (*Voiturier, 1999*). La fluctuation des températures de surface de la mer est occasionnée par les variations aérologiques induisant les variations de courant. Les variations des TSO influencent le régime des pluies par le contrôle de l'humidité et de la stabilité des basses couches de l'atmosphère. Aux basses latitudes, la température océanique est plus élevée en surface (25 à 30° C) qu'en profondeur, marquant ainsi la limite de la thermocline.

2.2.4.2. 6. La thermocline

La thermocline est la zone de forte variation de la température de la mer en fonction de la profondeur. Elle sépare la couche homogène chaude de surface (25 à 30°C) des couches profondes froides (5°C). D'après *Lemasson et Rebert, 1973*, le sommet de la thermocline se

trouve le plus souvent entre 10 et 30 mètres de juillet à septembre en surface dans l'Atlantique central.

La thermocline représente en outre une zone de gradient vertical de masse volumique ralentissant les mouvements verticaux et la diffusion (*Voiturier, 1999*). Dans le golfe de Guinée, selon *Piton, 1987*, la thermocline se situe entre 30 et 60 mètres de profondeur en temps normal. Sa présence à des profondeurs supérieures à ces valeurs apporte des gains importants de chaleur, traduisant l'importance de l'accumulation excédentaire d'eau chaude et légère dans le fond du golfe de Guinée. Cette eau sub-superficielle peut être transférée vers la surface s'il y a rétablissement du courant sub-équatorial. La thermocline permet alors de suivre l'évolution des TSO et de mesurer la quantité de la salinité accumulée au niveau des eaux superficielles.

2.2.4.2. 7. La salinité

Entre 10 °N et 10°S, la salinité est de l'ordre de 35 à 36 %. Les variations les plus importantes apparaissent près des côtes (*Mahé, 1990*). La salinité varie de l'embouchure du Congo (15 %) à plus de 15 % dans le fond de la baie de Biafra (région du Mont-Cameroun). Plusieurs paramètres influencent la salinité en Afrique Equatoriale Atlantique: les courants marins, le ruissellement continental et les remontées d'eaux froides. Notons cependant que la dessalure est permanente avec des nuances saisonnières le long des côtes du Congo et du Gabon. D'octobre à janvier, la zone dessalée s'étend loin vers le Cap-Lopez au nord, soutenue par les crues des fleuves côtiers. Elle se maintient pendant les petites crues des fleuves côtiers de la saison MAM et elle remonte vers les valeurs de 35–36 % pendant la période de juin à septembre (période correspondant à la grande saison sèche JJAS), période de l'upwelling équatorial et des upwellings côtiers congolais et gabonais (*Mahé, 1990*). En Afrique Equatoriale Atlantique, l'eau sub-superficielle transportée par les sous-courants équatoriaux (ou courant de Lomossov), participe à l'upwelling équatorial. Ce qui fait que parfois l'eau ne

pouvant atteindre la surface pour être reprise pour la circulation vers l'ouest, garde ses caractéristiques d'origine saline durant tout son trajet de l'Ouest vers l'Est de l'océan Atlantique, où elle s'accumule, à condition que le courant de Lomossov atteigne les parages du Cap-Lopez (*Piton, 1987*).

2.2.4.2. 8. Les échanges thermiques océan-atmosphère

Le couple océan-atmosphère entretient des échanges qui fluctuent dans le temps et dans l'espace. La fluctuation de l'une des composantes perturbe l'autre qui, en retour accentue ou, au contraire, stabilise les fluctuations de la première. En effet, les transferts d'énergie entre l'atmosphère et l'océan sont un facteur déterminant dans l'équilibre et les variations du climat. Les principaux échanges sont : le rayonnement solaire incident absorbé par l'atmosphère et au sein des couches marines superficielles (augmentation de la température), la chaleur latente restituée à l'atmosphère par la mer au cours de l'évaporation (*Mahé, 1990*).

2.2. Le cadre climatique du Congo

La configuration de la circulation atmosphérique générale aux basses latitudes (figure 10) d'après *Nicholson (2000)*, permet la compréhension du déterminisme des variations climatiques s'associant à l'étude des variations inter annuelles de la répartition des précipitations et à l'analyse des corrélations entre les précipitations et les champs de températures de surface océanique. Les différentes composantes qui font l'objet de ce chapitre sont : la circulation méridienne et la cellule-de Hadley, la circulation zonale, le courant jet et la cellule de Walker, la zone de convergence intertropicale (ZCIT), la confluence inter-océanique (C.I.O), les centres d'action et les vents.



Figure 10: Schéma de la circulation générale de vents, pressions et convergences sur l'Afrique, en pointillés la ZCIT: source Nicholson, 2000

2.2.1. Les centres d'actions atmosphériques

Les centres d'actions atmosphériques tirent leur origine d'un système en équilibre où interviennent des transferts d'énergie de la surface vers l'atmosphère.



Figure 11: localisation des principaux centres d'action (Sainte-Hélène, Mascareignes et Egypto-libyen), source : Bouali, 2009

Les transferts engendrent la formation des centres d'action d'origine thermique, les hautes pressions polaires et les basses pressions équatoriales.–Ils sont à l'origine des vents (*Mahé*, *1990*). Les centres d'action sont régit en partie par la disposition du champ des températures qui elle-même dépend de l'opposition de l'influence océanique et de l'influence continentale. Nous mettons l'accent sur les centres d'action suivants : l'anticyclone de Sainte-Hélène,

l'anticyclone Egypto-libyen et l'anticyclone des Mascareignes qui régissent le climat du Congo (figure 11).

2.2.1.1. L'anticyclone de Sainte-Hélène

L'anticyclone de Sainte-Hélène domine l'ensemble du Golfe de Guinée, avec près de 1025 hPa en hiver austral contre 1019 hPa en été et est centré en moyenne sur 28°S (Leroux, 1975 cité par *Mahé, 1990*). Son influence associée aux zones dépressionnaires sur le continent oriente les déplacements de l'air de l'océan vers le continent. La cellule anticyclonique de Sainte-Hélène se distingue aussi par la variation de sa position en fonction des saisons. L'anticyclone de Sainte-Hélène expulse vers l'Afrique Equatoriale Atlantique un alizé régulier de nature humide. Au Sud de l'Équateur géographique, ce flux est soit un alizé maritime de sud-ouest dévié par la force de Coriolis, soit un alizé de retour de direction ouest ou nord (*Samba Kimbata, 1991*). Le domaine de cette étude est intéressé par ce flux.

2.2.1.2. L'anticyclone égypto-libyen

L'anticyclone égypto-libyen est un centre d'action continentale et thermodynamique. Il se localise sur le parallèle 15° Est et varie entre 20 et 25° Nord. En été boréal, il n'existe qu'en altitude, remplacé en surface par la dépression saharienne qui aspire fortement les flux des masses d'air de l'hémisphère sud. En hiver, il distribue un flux d'alizé continental sec et chaud de secteur NE et Est au nom de l'harmattan, soufflant le long de la côte d'Afrique de l'ouest (*Mahé, 1990*). L'influence de l'harmattan se fait sentir en altitude jusqu'au Nord du Congo et détermine une période sèche. *Kerhallet (1852), repris par Hisard (1983)* décrit l'harmattan le long de la côte d'Afrique comme un vent "sec et froid" soufflant de terre, principalement de novembre à février - mars, dont l'intensité se renforce fortement à l'Ouest du Cap des Palmes, le long des côtes de la Sierra-Léone où il souffle parfois avec violence de

novembre à décembre. Ce flux atteint depuis deux décennies la côte nord du Golfe de guinée (*Mahé*, 1990).

2.2.1.3. L'anticyclone des Mascareignes

L'anticyclone des Mascareignes se situe entre 850 et 300 hPa en permanence sur l'océan indien. Il envoie vers l'Afrique Equatoriale Atlantique un flux chaud et relativement sec de mai à septembre et un flux humide d'octobre à mai. Selon *Leroux (1975)*, le flux de masse d'air issu du maximum des Mascareignes s'humidifie au niveau de la Confluence Inter– Océanique avant d'atteindre l'Afrique de l'ouest. Le flux expulsé par l'anticyclone des Mascareignes est appelé courant équatorial d'Est, quasi-permanent à 600 hPa.

2.2.2.Les échanges méridiens





Figure 12: La structure verticale moyenne de la troposphère tropicale (source : Leroux, 1980)

En effet, l'air chauffé à l'équateur se repend en altitude vers les pôles où il perd de sa chaleur, devient dense et descend vers les latitudes 30° d'où, il retourne vers l'Equateur ; il se recharge

en humidité en passant au-dessus des océans (*Mahé, 1990*). A l'équateur, l'air ascendant est remplacé en surface par l'air plus froid et humide venant des moyennes et hautes latitudes.

2.2.2.1. Les échanges zonaux, courant jet et cellule de Walker

La circulation zonale (figure 13), caractérisée par les échanges horizontaux à grande échelle, fait apparaître de forts vents d'ouest : les courants jets. Ces courants soufflent en Afrique entre 30°N et 30°S.



Figure 13: la circulation globale zonale de type Walker d'après Caminade, 2006(source : Bouali, 2009)

Les cellules de circulation zonale (branches en altitude constituées par les jets et les branches ascendantes et descendantes) se situant sur le continent, au niveau de la ZCIT, portent le nom de Walker. Elles jouent un rôle important en Afrique Equatoriale Atlantique, car elles sont les véhicules privilégiés des transports moyens d'énergie sous les tropiques.

2.2.2.2. La zone de convergence intertropicale (ZCIT)

La zone de convergence intertropicale est la branche ascendante de la cellule de Hadley. Elle oscille en latitude avec le mouvement zénithal apparent du soleil entre 20° et 25° Nord en été boréal et 5 et 10° N en hiver sur l'Afrique occidentale (Piton, 1987). La ZCIT est la zone de contact dynamique des circulations atmosphériques des deux hémisphères. Sa structure et sa position varient beaucoup d'un jour à l'autre aussi bien au-dessus des continents que des océans (Diagne et al, 1984). Du fait du déséquilibre de répartition des terres émergées entre les deux hémisphères, la ZCIT reste presque constamment dans l'hémisphère nord, quelle que soit la saison (Gruber, 1972). Notons que la migration de la ZCIT est très différente selon les longitudes, en fonction des facteurs locaux qui permettent ou non la migration nord-sud au sol des basses pressions intertropicales. La forêt sempervirente est un élément physique majeur qui fait obstacle à la migration des basses pressions intertropicales. La ZCIT est bloquée à la limite nord de la forêt sempervirente dans sa migration en direction de l'hémisphère sud. Entre 10° et 30° Est, la forêt sempervirente de la Cuvette congolaise fait obstacle à la migration des basses pressions intertropicales (Mahé, 1990). La migration de la ZCIT n'est possible que sur les rebords Est de la Cuvette. Le déplacement de la trace au sol de l'équateur météorologique régit le climat de l'espace du Congo. Les balancements tantôt vers le nord, tantôt vers le sud de la structure de la ZCIT et l'intensité de la convection en son sein déterminent le rythme des précipitations au Congo. La ZCIT est le lieu de convergence des flux issus des différents centres de pressions océaniques et continentaux en présence (les anticyclones des Açores et de Sainte-Hélène sur l'Atlantique Nord et Sud, l'anticyclone égypto-libyen sur la Méditerranée Orientale et l'anticyclone des Mascareignes sur l'océan Indien) ce qui explique la bi modalité du régime pluviométrique au Congo. De décembre à février, la ZCIT migre vers le sud (moindre pluie au nord), de juillet à août, la ZCIT occupe sa position la plus septentrionale, baisse des pluies au Sud du Congo et du Gabon.

2.2.2.3. La Confluence inter océanique (C.I.O)

La Confluence Inter Océanique (C.I.O) (figure 14), autrement dit la discontinuité d'alizés et de mousson entre les flux atlantiques et indiens (*Mahé, 1990*) est une limite diffuse qui marque la confluence entre les influences des anticyclones maritimes atlantique et indien. Elle correspond à la pénétration, dans les basses couches de l'atmosphère et entre les deux anticyclones continentaux aux flux secs et chauds de secteur est (d'origine saharienne), d'une masse d'air océanique frais et humide et plus chaud de l'anticyclone des Mascareignes.



Figure 14 : La Confluence Inter Océanique (Source : Leroux, 1980, in Samba-Kimbata, 1991)

2.1.1.1. Les alizés

Les alizés sont des vents qui proviennent des anticyclones (branche équatoriales des anticyclones qui constituent les alizés de secteur Est), soufflant de NE dans l'hémisphère Nord et de SE dans l'hémisphère sud (figure 15).



Figure 15 : Les alizés (source Bigot, 1997)

Les alizés des deux hémisphères confluent dans la ZCIT où, leurs rencontres, chargées d'humidité océanique, se traduisent par des mouvements ascendants des masses d'air qui génèrent des turbulences et des précipitations intenses quand la vapeur d'eau se condense au fur et à mesure que l'air se détend en prenant de l'altitude et redescend (*Voiturier, 1996*). Le flux ascendant diverge vers le Nord et vers le Sud, une fois refroidi et asséché, l'air redescend (subsidence) dans les régions subtropicales vers 30° de latitude provoquant des situations anticycloniques (*Voiturier, 1996*).

Celles-ci rendent complexe la circulation atmosphérique. Les alizés qui soufflent du secteur Est vers le secteur Ouest entraînent les eaux chaudes de surface (intense évaporation et déclenchement de la convection atmosphérique et des pluies). Signalons que ce mouvement est compensé à l'est par des remontées des eaux plus froides. De cette alternance, naissent des différences des températures entre les deux rives des océans tropicaux et, bien sûr, entre continent et océans ; ce qui fait que les eaux de surface sont entraînées à droite au Nord de l'équateur et à gauche au Sud de l'Équateur. Cette situation crée une divergence des eaux de surface et appelle les eaux profondes vers l'équateur.

2.1.1.2. Le flux de mousson

Le flux de mousson (figure 15) est défini par *Fontaine, (1990)* comme un flux des alizés qui, en traversant l'équateur géographique, change de direction. En Afrique Equatoriale Atlantique (A. E. A.), le flux de mousson en tant que tel n'existe pas. *Suchel, (1987)* évoque le pseudo mousson qui serait les masses d'air que la cuvette congolaise aspire. C'est ce flux de pseudo mousson qui est porteur des précipitations abondantes. En Afrique centrale, la mousson résulte de l'évolution de l'alizé maritime de sud-est. Elle est souvent instable à cause de sa forte humidité relative (plus de 80%), de sa température élevée (25 à 27°C), et de sa forte déviation vers l'est avec une convergence maximale vers l'équateur météorologique. Le flux d'air océanique sud-est prend donc une direction à dominante sud-ouest en raison de la dépression thermique continentale de la cuvette congolaise, alors que, dans les couches moyennes et supérieures, le flux d'air est généralement de secteur est, issu de l'océan Indien. *(Bigot, 1997)*.

2.1.2.Les mécanismes pluviogènes

Les mécanismes pluviogènes au Congo sont le résultat du renforcement de l'activité anticyclonique. Pendant les saisons de pluies : Mars-Avril-Mai (MAM) et SeptembreOctobre-Novembre (SON), il y a augmentation des processus convectifs qui provoquent des perturbations pouvant aboutir à des précipitations. Pendant le changement de saisons, le fractionnement des cellules anticycloniques favorise de puissantes circulations méridiennes au début ou à la fin de l'hiver de l'hémisphère, peuvent imposer des exaltations pluviométriques majeures (*Pagney, 1976*). Aux contrastes thermiques saisonniers, s'ajoutent des contrastes radiatifs divers dus à l'opposition entre le jour et la nuit dont la durée est égale, toutes les saisons confondues, aux latitudes de l'Afrique Equatoriale Atlantique. Enfin, dans les mécanismes pluviogènes, intervient l'influence de l'hydrologie continentale (fleuves, rivières, lacs) qui favorise l'évaporation jointe à l'évapotranspiration de la masse végétale, faisant de l'Afrique Equatoriale Atlantique et particulièrement du Congo un espace plongé dans l'humidité atmosphérique (*Lerrique, 1993*).

2.1.3. Les différentes perturbations

La rencontre du flux océanique avec certains facteurs climatiques locaux (températures de l'air, évaporation continentale) se manifeste par la formation d'amas nuageux convectifs de types variables. Les précipitations au Congo ont un caractère aléatoire (*Buisson, 1986*). En été austral et pendant les intersaisons, le Congo est couverte par les masses d'air équatorial et tropical maritime dont le pouvoir pluviogène est plus marqué (*Suchel, 1972*). En hiver austral, le Congo est sous influence de la masse d'air sub-océanique, caractérisée par une certaine stabilité qui inhibe tous les processus convectifs. Compte tenu de la succession de ces masses d'air sur l'Afrique centrale, les perturbations frontales sont presque absentes. Il existe cependant une zone nuageuse permanente sur la côte équatoriale (*Dhonneur, 1974*), qui correspond à un flux d'Ouest dans les basses couches. Sur les régions littorales en saison des pluies, on note des cumulus ou des strato-cumulus et des altocumulus en matinées qui sont soit transformés en cumulonimbus soit en strato-cumulus et occasionnent des pluies orageuses l'après-midi. Leur intensité est forte pendant le mois d'octobre, de novembre et

d'avril. La période de mars à mai est caractérisée par une forte activité thermo-convective qui aboutit aux cumulonimbus donnant naissance à des précipitations orageuses. Cette période est la plus convective de toute l'année (toutes les saisons confondues). En septembre-novembre, les formations nuageuses naissent le long de la C.I.O. Durant les mois de décembre-février, la convection apparaît faible dans la partie Nord du Congo, qui est affectée par les lignes de grain (*Samba-Kimbata, 1991*).

Conclusion du chapitre 2

Les états de surface cités ont une grande importance dans la répartition des précipitations au Congo :

- le relief n'a pas le même effet sur la pluviométrie : les hauteurs enregistrent le maximum de précipitations par rapport aux zones basses ainsi que les grandes vallées. La chaîne de montagnes du Mayombe, le massif du Chaillu à cause de l'effet de foehn constituent un frein à l'évolution du flux maritime, entraînant ainsi une disparité entre les versants « au vent » (plus arrosés) et les versants « sous le vent » (peu arrosés). Les massifs du Chaillu et du Mayombe favorisent les effets orographiques locaux (précipitations élevées en altitude) et occasionnent des effets de fœhn sur les vallées de Ngounie- Nyanga, et du Niari- Nyanga ;

- la végétation luxuriante et sempervirente (forêt dense humide) constitue un frein à la pénétration de la ZCIT. Elle est une grande pourvoyeuse de l'eau à l'atmosphère, conditionnant pour cela le recyclage des précipitations (précipitations abondantes dans le Mayombe et le Chaillu);

- le réseau hydrographique du Congo a une influence sur la répartition des pluies. La présence de nombreux cours d'eau favorise l'évapotranspiration et accentue les processus convectifs. La combinaison des effets du relief, de la végétation et de la proximité de zones fraîches (cours d'eau) influe sur la variabilité pluviométrique du Congo ; à ces facteurs géographiques locaux-s'ajoute le rôle prépondérant de la circulation atmosphérique ;

 les vents enregistrés dans l'espace du Congo sont les alizés émis provenant des cellules anticycloniques de Sainte-Hélène et des Mascareignes;

les mécanismes pluviogènes au Congo engendrent trois types de pluies: les pluies de lignes de grain, plus régulières dans l'espace et dans le temps; les pluies de perturbation (orographique) et les pluies de thermoconvection;

- les températures de surface océanique (TSO) fluctuent d'une saison à l'autre, influençant le rythme des pluies par le contrôle de l'humidité et de la stabilité des basses couches de l'atmosphère ;

63

- les variations saisonnières et annuelles de l'upwelling équatorial entrainent un refroidissement saisonnier des eaux de surface océanique ; refroidissement qui influence les caractéristiques physiques du flux océanique (alizé) ;

- l'action conjuguée des vents et des Températures de Surface Océanique (TSO) entretient la qualité de l'évaporation au-dessus de l'océan et l'intensité des échanges d'énergie et d'humidité avec l'atmosphère. Les cellules de Hadley favorisent l'ascendance de l'air en altitude au-dessus de la ZCIT (zone de convergence des alizés aux basses couches) vers les hautes pressions tropicales (Mahé, 1991) ;

les mécanismes de la dynamique atmosphérique qui expliquent les fluctuations du Congo se manifestent par l'intermédiaire:

- de la convection le long de l'Équateur météorologique reprise par l'air en altitude audessus de la ZCIT vers les hautes pressions tropicales ;
- du balancement de la ZCIT dans les deux hémisphères ;
- de la convergence des alizés au niveau de la ZCIT ;
- de l'organisation du champ de pression ;
- de l'action des perturbations et des facteurs inhibiteurs des pluies.

Ces éléments de la circulation aux basses latitudes déterminent dans le temps et dans l'espace du Congo les variations saisonnières-et interannuelles des précipitations.

Chapitre 3: La variabilité pluviométrique au Congo

Il est question dans ce chapitre d'étudie la variabilité pluviométrique actuelle du Congo. L'étude de la variabilité pluviométrique sera faite à différences échelles spatio-temporelles. Les échelles temporelles retenues sont le mois, la saison, l'année, l'inter-annuelle, la décennie et l'inter-décennie.

Les méthodes utilisées sont les analyses multivariées. Elles ont servi à délimiter les régions à variabilité pluviométrique homogène, à calculer les indices pluviométriques régionaux à partir des régions homogènes définies préalablement, à déterminer la tendance pluviométrique des différentes régions homogènes, à apprécier la tendance à partir des tests paramétriques et non paramétriques.

3.1. Les structures pluviométriques

Les ACPRV appliquées sur les séries pluviométriques des différentes stations pluviométriques ont permis de déterminer à l'échelle annuelle et saisonnière, trois régions à variabilité homogènes à savoir :

- CP1 (Sud-Congo) constitué par les stations suivantes : Pointe-Noire, Dolisie, Nkayi,
 Sibiti, Mouyondzi et Brazzaville ;
- CP2 (Centre-Congo) constitué par les stations suivantes: Djambala, Mpouya,
 Gamboma et Makoua
- CP3 (Nord-Congo) constitué par les stations suivantes : Impfondo, Ouesso et Souanké.

Les composantes principales citées ci-dessus sont fondées sur la pluviométrie moyenne annuelle. La régionalisation est donc caractérisée par un découpage zonal avec des limites pluviométriques correspondantes approximativement aux limites latitudinales. Cette régionalisation (zonation latitudinale) épouse celle des grandes tentatives guinéennes (*Moron*, 1994). Elle coïncide avec la délimitation des régimes pluviométriques du Congo (équatorial au nord, sub-équatorial au Centre et tropical humide au Sud) calqué sur une évolution latitudinale des stations pluviométriques (*Samba-Kimbata*, 1991).

À partir de ces composantes principales, les indices pluviométriques annuels et saisonniers ont été calculés.

Trois indices pluviométriques sont trouvés : indice pluviométrique Sud-Congo, indice pluviométrique Centre-Congo et indice pluviométrique Nord-Congo.

 Les ACPRV appliquées aussi bien sur les séries annuelles et saisonnières des précipitations révèlent trois composantes principales : CPI (première composante principale, Sud-Congo); CP2(deuxième composante principale, Centre-Congo) et CP3(troisième composante principale, Nord-Congo). de ces trois composantes principales découlent trois indices pluviométriques annuels et 21 indices pluviométriques saisonniers.

3.2. Régimes pluviométriques du Congo

Les critères de différenciation des régimes pluviométriques des principales composantes principales (figure 16) sont les suivants : l'intensité des cumuls mensuels (avec un seuil de différenciation d'au moins 100 mm entre mois humides et mois secs), l'allure du profil pluviométrique (permettant de distinguer les régimes uni-modaux et bi-modaux) et enfin la longueur de la saison des pluies (avec un seuil de différenciation d'au moins 300 mm entre saison des pluies et saison sèche).

Les régimes pluviométriques du Congo, représentés par la figure 15, traduisent les résultats suivants :

1. L'indice Nord-Congo (composante principale 3)

- L'indice Nord-Congo, enregistre 9 mois pluvieux contre 3 mois secs. On note la présence de deux saisons : une saison de pluie qui se reparti de mars à novembre avec une moyenne mensuelle supérieure à 100 mm et une saison sèche de trois mois, allant de décembre à février avec une moyenne mensuelle inferieure à 100 mm.
- Le profil pluviométrique de l'indice Nord-Congo a une allure uni modal, il pleut presque toute l'année, avec cependant une récession pluviométrique, caractérisant une saison sèche de trois mois (Décembre à Février).

-

2. L'indice Centre-Congo (composante principale 2) :

 l'indice-Centre-Congo, indique que 8 mois sont pluvieux avec une moyenne pluviométrique supérieure à 100 mm, contre 4 mois secs, enregistrant une moyenne pluviométrique inférieure à 100 mm; Le profil pluviométrique de l'indice Centre-Congo est bi-modal, avec deux saisons de pluies (Mars-Avril-Mai et Octobre-Novembre-Décembre), entrecoupées par une grande saison sèche (Juin-Juillet-Aout-Septembre).

3. L'indice Sud-Congo (composante principale 1) :

- L'indice Sud-Congo, indique comme pour l'indice Centre-Congo que 8 mois sont pluvieux avec une moyenne pluviométrique supérieure à 100 mm, contre 4 mois voire 5 mois secs, enregistrant une moyenne pluviométrique inférieure à 100 mm. Notons que pour l'indice Sud-Congo, le mois de mai et d'Octobre tendent à être sec.
- Le profil pluviométrique de l'indice Sud-Congo est aussi bi-modal, avec deux saisons de pluies (Mars-Avril-Mai et Octobre-Novembre-Décembre), entrecoupées par une grande saison sèche (Juin-Juillet-Aout-Septembre).
- La longueur de la première saison des pluies est de 2 mois et demi et celle de la deuxième saison des pluies est aussi de 2 mois et demi.

Il se pose ici le problème du raccourcissement de la longueur des saisons des pluies et de l'allongement de la saison sèche.

En somme, les régimes pluviométriques du Congo se regroupent en deux classes : uni-modal pour l'indice Nord-Congo et bi-modal pour les indices Centre-Congo et Sud-Congo. On note cependant une variation temporelle du maximum pluviométrique entre les deux saisons de pluies pour les deux composantes (CP2 et CP1). La première composante a son maximum pluviométrique pendant la saison MAM en mars, tandis que la deuxième composante principale a son maximum en avril. Au cours de la deuxième saison des pluies (OND), les deux composantes principales enregistrent leur maximum pluviométrique au mois de novembre. Pendant les saisons dites sèches (JJAS pour la CP1 et la CP2) et DJF (pour la CP3) la première composante (Sud-Congo) et la deuxième composante (Sud-Congo) enregistrent leur minimum pluviométrique durant le mois de juillet, tandis que la troisième composante enregistre son minimum pluviométrique au cours du mois de janvier.







Figure 16: Les régimes pluviométriques moyens mensuels du Congo à partir des trois composantes principales (CP1, CP2 et CP3) sur la période 1950-2005

3.3. Variabilité inter annuelle des précipitations

3.3.1. Variabilité annuelle

L'évolution inter annuelle des précipitations annuelles au Congo (figure 17) traduit que :

- L'indice Sud-Congo (figure 17a) enregistre cinq (5) périodes : 1950-1958,1959-1969, 1970-1983, 1984-2000 et 2001-2005. La période 1950-1958 révèle une alternance des années humides et des années sèches, avec une périodicité d'une année sur deux. Les années humides sont : 1950, 1951, 1952,1954, 1955, 1957. Par contre les années sèches sont : 1953, 1957 et 1958. La période 1959 et 1969 est dominée par des années humides. La période 1970-1983 est caractérisée par une alternance des années humides et des années avec une périodicité de deux ans (période considérée de normale). La période 1984-2000 est humide, avec cependant deux années sèches à savoir : 1992 et 1996. La période postérieure à 2000 est sèche.
- L'indice Centre-Congo (figure 17b) enregistre deux périodes dans l'ensemble : la période 1950-1980 (humide), avec cependant 9 années sèches contre 18 années humides. La période 1981-2005 (sèche) avec cependant 8 années humides contre 17 années sèches.

La tendance des précipitations de l'indice Centre-Congo, illustrée par la courbe polynomiale d'ordre 6 associée à une régression linéaire est à la baisse significative à partir de l'année 1980.

 L'indice Nord-Congo(figure 17c), indique deux périodes distinctes : 1950-1970 (humide) avec cependant 6 années sèches contre 11 années humides et la période 1971-2005(sèche) avec cependant 10 années humides contre 23 années sèches.

La tendance des précipitations de l'indice Nord-Congo est à la baisse significative à partir de l'année 1971 avec un coefficient de détermination R^2 = 36%.



(a)



(b)



Figure 17: Evolution inter annuelle des précipitations annuelles de l'indice Sud-Congo(a), de l'indice Centre-Congo(b) et l'indice Centre-Congo(c), période (1950-2005). En ordonnée, les anomalies filtrées et standardisées des précipitations.

En somme, l'évolution inter annuelle des précipitations du Congo montre deux types de changements. Le premier type est temporel. En effet, la variabilité des précipitations évolue dans le temps. D'une composante principale à l'autre, la succession des périodes (séquences) sèches ou humides n'est pas synchrone. Il existe donc une opposition dans la succession de périodes. L'indice Sud-Congo indique cinq périodes, l'indice Centre- Congo en indique deux et l'indice Nord-Congo indique aussi deux périodes. L'opposition des périodes (séquences) sèches ou humides est beaucoup visible entre l'indice Sud-Congo et l'indice Centre-Congo d'une part et entre l'indice Sud-Congo et l'indice Nord-Congo d'autre part. En effet, les 1970-1983 au niveau de l'indice Sud-Congo traduisent une périodes 1950-1958 et alternance des années humides et sèches, tandis qu'elles indiquent des périodes humides pour l'indice Centre-Congo et l'indice Nord-Congo. Par contre, la succession des périodes (séquences) sèches ou humides est synchrone entre l'indice Centre-Congo et l'indice Nord-Congo. En effet, la période antérieure à 1970 est humide, tandis que la période postérieure à 1970 est sèche. La tendance à la baisse des précipitations est significative pour la CP2 en 1980 et significative pour la CP3 en 1970.

Le second type de changement qui affecte les précipitations des trois composantes principales est spatial. Ce changement intervient autour des années 1970 et 1980. La période antérieure à 1970 est humide pour la CP2 et la période postérieure est sèche, tandis que pour la CP3, la période avant 1980 est humide et la période postérieure à 1980 est sèche. On note un écart de 10 ans dans la variabilité des précipitations de ces deux composantes principales.
3.3.2. La variabilité saisonnière des précipitations

3.3.2. 1. La variabilité des précipitations durant les saisons JF et DJF

La variabilité des précipitations saisonnière de janvier-Février (JF) et DJF (figure 18), révèle que :

- L'indice Sud-Congo (figure 18a) enregistre trois périodes distinctes (1950-1973), (1974-1992) et (1993-2005). La période 1950-1973 est déficitaire avec en moyenne 14 années sèches contre 9 années humides. La période (1974-1992) est humide avec en moyenne 14 années humides contre 5 années sèches. La période (1993-2005) est sèche avec en moyenne 9 années sèches contre 2 années humides ;
- l'indice Centre-Congo (figure 18b) indique également trois périodes: 1950-1961 (sèche) avec en moyenne 7 années sèches contre 5 années humides ; la période 1962-1988 (humide) avec en moyenne 15 années humides contre 10 années sèches. La période 1989-2005 (sèche) avec en moyenne 11 années sèches contre 5 années humides.

L'indice Centre-Congo indique une tendance à la baisse à partir de l'année 1980.

 L'indice Nord-Congo (figure 18c) révèle deux périodes : 1950-1972 humides avec en moyenne 15 années humides contre 8 années sèches. La période 1973-2005 est sèche avec en moyenne 22 années sèches contre 9 années humides.

La tendance des précipitations de l'indice Nord-Congo est à la baisse à partir de l'année 1980.

Dans l'ensemble, l'analyse de l'évolution des précipitations du Congo de 1950 à 2005 montre l'existence de deux grandes périodes : une période antérieure à 1980 humide et une période postérieure à 1980 sèche. Il se dégage cependant une variabilité spatiotemporelle pour les trois indices pluviométriques. L'année 1980 constitue une année d'inflexion pour la CP2 et la CP3.





(b)



Figure 18: Evolution saisonnière des précipitations de JF de l'indice Sud-Congo(a), de l'indice Centre-Congo(b) et l'indice Centre-Congo(c), période (1950-2005). En ordonnée, les anomalies filtrées et standardisées des précipitations.

3.3.2. 2. La variabilité saisonnière des précipitations durant la saison MAM

L'évolution des précipitations saisonnière du Congo en Mars-Avril-Mai (MAM) (figure 19) indique que :

- L'indice Sud-Congo (figure 19 a), révèle quatre périodes : deux périodes humides (1950-1969 et 1984-1995) et deux périodes sèches (1970-1983 et 1995-2005). La première période humide compte 14 années humides contre 5 années sèches. La deuxième période humide enregistre 9 années humides contre 2 années sèches. La première période sèche indique 14 années sèches contre 3 années humides. La deuxième période sèche révèle 7 années sèches contre 3 années humides.

La tendance des précipitations de l'indice Sud-Congo de 1950 à 2005 est à la baisse significative à partir de 1970 avec un coefficient de détermination R² de l'ordre 40%.

l'indice Centre-Congo (figure 19 b), enregistre quatre périodes : deux périodes humides (1950-1970 et 1990-2000) et deux périodes sèches (1971-1989 et 2001-2005). La période 1950-1970 enregistre 16 années humides contre 5 années sèches. La période 1990-2000 compte 7 années humides contre 4 années sèches. La période 1971-1989 révèle 14 années humides contre 5 années sèches. La période 2001-2005 indique 3 années humides contre 2 années sèches.

La tendance des précipitations de l'indice Centre-Congo durant la saison MAM est à la baisse non significative, avec un coefficient de détermination R² d'environ 17%.

L'évolution des précipitations de l'indice Nord-Congo (figure 19 c), indique deux périodes 1950-1969 humides avec 15 années humides contre 3 années sèches et la période 1970-2005 sèche, comptant 22 années sèches contre 12 années humides. La tendance de l'évolution des précipitations de l'indice Nord-Congo en MAM est à la baisse significative avec un coefficient de détermination R² de 33%.







(b)



Figure 19: Evolution saisonnière des précipitations de MAM (CP1, CP2 et CP3) au Congo, période (1950-2005). CP1, CP2 et CP3 représentant la première composante principale, la deuxième composante principale et la troisième composante principale.

La variabilité des précipitations des trois indices pluviométriques est à la baisse, avec l'année 1970 marquant le passage de la période humide à la période sèche. On note la présence d'une périodicité de la variabilité pluviométrique à tendance décennale, marquant une variabilité spatiale du Sud vers le Nord du Congo avec quatre périodes pour la CP1 et la CP2 à deux périodes pour la CP3.

3.3.2. 3. La variabilité inter annuelle durant les saisons JJA et JJAS

L'évolution inter annuelle des précipitations saisonnières de JJA et JJAS (figure 20), montre :

- pour la CP1 (figure 20 a) quatre périodes : période (1950-1972, 1973-1992, 1994-2000 et 2000-2005). Deux périodes caractérisent une baisse des précipitations : 1950-1972 et 1994-2000. Par contre, les deux autres montrent une hausse des précipitations : 1973-1992 et 2000-2005. La tendance des précipitations de la CP1 est à une hausse non significative à partir de l'année 1980 ;
- l'évolution des précipitations de la CP2 (figure 20 b) indique deux périodes de déficit pluviométrique: 1950-1958 et 1998-2005 et une période d'excédent pluviométrique : 1959-1997. L'étude de la tendance des précipitations de la CP2 pendant la saison JJAS montre traduit une baisse non significative à partir de l'année 1980 ;
 - l'évolution inter annuelle de la CP3 (figure 20 c) révèle quatre périodes. Deux périodes de hausse pluviométrique : 1950-1968 et 1990-2000 et deux périodes de baisse pluviométriques : 1969-1989 et 2001-2005. La première période humide enregistre 12 années humides contre 7 années sèches ; la deuxième période humide compte 7 années humides contre 3 années sèches. Tandis que, la première période sèche enregistre 11 années sèches contre 6 années humides. La deuxième période sèche compte 5 années sèches. Les précipitations de la CP3 accusent une tendance à la baisse non significative.





(b)



Figure 20: Evolution saisonnière des précipitations de JJAS (CP1 et CP2) et JJA(CP3) au Congo, période (1950-2005). CP1, CP2 et CP3 représentant la première composante principale, la deuxième composante principale et la troisième composante principale.

3.3.3. 4. La variabilité inter annuelle durant les saisons Septembre-Octobre-Novembre(SON) et Octobre-Novembre-Décembre(OND)

L'évolution saisonnières des précipitations de Septembre-Octobre-Novembre(SON) pour la CP3 (figure 21 c) et d'Octobre-Novembre-Décembre(OND) pour les CP1 (figure 21 a) et CP2 (figure 21 b) traduit :

- la CP1 (figure 21 a) enregistre deux périodes d'excédent pluviométrique : 1950-1955
 et 1976-1998 contre deux périodes de déficit pluviométrique : 1956-1975 et 2000-2005.La tendance des précipitations de la CP1 en SON est à la stabilité ;
- l'évolution des précipitations de la CP2 (figure 21 b), indique deux périodes : 1950-1979 caractérisant un excédent pluviométrique avec 19 années humides contre 7 années sèches. La période 1980-2005 matérialise un déficit pluviométrique avec 17 années sèches contre 7 années humides. L'étude de la tendance des précipitations de la CP2 révèle une baisse non significative à partir de 1980 ;
- la CP3 (figure 21 c) révèle deux périodes : 1950-1968 humide avec 12 années humides contre 3 années sèches et la période 1969-2005 sèche avec 27 années sèches contre 10 années humides. La tendance des précipitations de la CP3 en OND est à la baisse significative à partir de l'année 1980 avec un coefficient de détermination R² de 41%.

En définitive, l'évolution saisonnière des précipitations du Congo montre une variabilité spatiale du Sud vers le Nord. La tendance est non significative au Sud (indice Sud-Congo) et au Centre (indice Centre-Congo) du Congo et significative au Nord (indice Nord-Congo). La variabilité des précipitations des trois indices pluviométriques révèle une périodicité décennale à pluri décennale avec l'année 1980 marquant le passage d'une période humide à une période sèche.











Figure 21: Evolution saisonnière des précipitations d'OND (CP1 et CP2) et SON (CP3) au Congo, période (1950-2005). CP1, CP2 et CP3 représentant la première composante principale, la deuxième composante principale et la troisième composante principale

3.4. Etude de la variabilité inter décennale des précipitations au Congo de 1950 à 2005

3.4.1. La variabilité inter décennale des précipitations annuelles

L'évolution inter décennale des précipitations annuelles du Congo (figure 22) montre deux phases : les décennies humides et les décennies sèches. La décennie sèche pour la CP1 (figure 22 a) : 1970 ; tandis que les décennies humides sont : 1960, 1980, 1990 et 2000. Pour la deuxième composante CP2 (figure 22b) est humide la décennie 1960, peut légèrement humides les décennies 1950 et 1970. Les décennies 1980, 1990 et 2000 sont sèches. Pour la CP3 (figure 22c) les décennies humides sont 1950 et 1960. Les décennies 1970, 1980, 1990, et 2000 sont par contre sèches.

L'étude de la tendance des précipitations annuelles montre une tendance à la stabilité pour la première composante, tandis que la deuxième et la troisième composante montrent une tendance à la baisse significative des précipitations.

En somme, l'évolution décennale des précipitations annuelles du Congo indique pour la CP1 5 décennies humides contre une décennie sèche, 3 décennies humides contre 3 décennies sèches pour la CP2. La CP3 enregistre 2 décennies humides contre 4 décennies sèches. A l'échelle décennale, les précipitations annuelles du Congo confirme une baisse du Sud vers le Nord. Le centre (indice Centre-Congo) et le nord (indice Nord-Congo) connaissent la baisse la plus prononcée avec respectivement 3 à 4 décennies sèches. L'année 1970 marque le passage des décennies humides aux décennies sèches.



(a)





Figure 22: Evolution décennale des précipitations annuelles au Congo, période (1950-2005). CP1, CP2 et CP3 représentant la première composante principale, la deuxième composante principale et la troisième composante principale.

3.4.2. La variabilité inter décennale des précipitations saisonnières 3.4.2.1. La variabilité inter décennale des précipitations de DJF et JF

L'évolution inter annuelles des précipitations saisonnières de DJF(CP3) et JF (CP1 et CP2) par décennies (figure 23) révèle pour la CP1 (figure 23a) que les décennies 1950, 1970, 1990 et 2000 sont sèches, tandis que les décennies 1960 et 1980 sont humides.



(a)



(b)



Figure 23: Evolution décennale des précipitations saisonnières de JF (CP1 et CP2) et DJF (CP3), période (1950-2005). CP1, CP2 et CP3 représentant la première composante principale, la deuxième composante principale et la troisième composante principale

La deuxième composante principale CP2 (figure 23b) montre que les décennies 1950, 1990 et 2000 sont sèches, par contre les décennies 1960, 1970 et 1980 sont humides. L'évolution décennale de la troisième composante (figure 23c) révèle que les décennies 1970, 1980, 1990 et 2000 sont sèches, tandis que les décennies 1950 et 1960 sont humides. Cette évolution traduit une baisse continuelle des précipitations du Congo après la décennie 1980. Mais la baisse est précoce pour la deuxième composante et la troisième composante.

L'étude de la tendance des précipitations saisonnières décennales de JF et DJF, montre une tendance à la baisse significative pour les trois composantes : CP1, CP2 et CP3.

3.4.2.2. La variabilité inter décennale des précipitations de MAM

L'évolution inter annuelle des précipitations saisonnières de MAM par décennies, (figure 24) indique pour la CP1 (figure 24a) que les décennies 1950, 1970, 1990 et 2000 sont sèches, tandis que les décennies 1960 et 1980 sont humides. La deuxième composante principale CP2 (figure 24b) montre que les décennies 1970, 1980 et 2000 sont sèches, par contre les décennies 1960, 1990 sont humides. L'évolution décennale de la troisième composante (figure 24c) révèle que les décennies 1970, 1980, 1990 et 2000 sont sèches, tandis que les décennies 1950 et 1960 sont humides. Cette évolution traduit une baisse continuelle des précipitations au Congo après les décennies 1980. Mais la baisse est précoce pour la deuxième composante et la troisième composante. Notons de même que la baisse est très prononcée pour la troisième composante.

L'étude de la tendance des précipitations saisonnières décennales de MAM, montre comme les saisons JF et DJF, une tendance à la baisse significative des précipitations des trois composantes.



(a)



(b)



(c)

Figure 24: Evolution décennale des précipitations saisonnières de MAM, période (1950-2005). CP1, CP2 et CP3 représentant la première composante principale, la deuxième composante principale et la troisième composante principale.

3.4.2.3. La variabilité inter décennale des précipitations de JJA et JJAS

L'évolution inter annuelles des précipitations saisonnières de JJA(CP3) et JJAS (CP1 et CP2) par décennies (figure 25) traduit pour la CP1 (figure 25a) et CP2 (figure 25b) que les décennies 1950, 1970, 1990 et 2000 sont sèches, tandis que les décennies 1960 et 1980 sont humides. L'évolution décennale de la troisième composante (figure 25c) révèle que les décennies 1970, 1980 et 2000 sont sèches, tandis que les décennies 1950, 1960 et 1990 sont humides. Cette évolution traduit une baisse continuelle des précipitations du Congo après les décennies 1980. L'étude de la tendance des précipitations saisonnières décennales de JJA(CP3) et JJAS (CP1 et CP2), montre une tendance à la hausse des précipitations saisonnières de JJAS pour la première composante, tandis que la deuxième accuse une tendance à la baisse significative. La troisième composante accuse une tendance à la baisse significative des précipitations durant la saison JJA.



(a)







Figure 25: Evolution décennale des précipitations saisonnières de JJA(CP3) et JJAS (CP1 et CP2), période (1950-2005). CP1, CP2 et CP3 représentant la première composante principale, la deuxième composante principale et la troisième composante principale.

3.4.2.4. La variabilité décennale des précipitations de SON et OND

La variabilité décennale des précipitations saisonnières de SON (CP3) et OND (CP1 et CP2) (figure 26) montre pour CP1 (figure 26a) que les décennies 1950, 1970, 2000 sont sèches, par contre les décennies 1960, 1980 et 1990 sont humides. La deuxième composante principale CP2 (figure 26b) montre que les décennies 1960, 1980, 1990 et 2000 sont sèches, tandis que les décennies 1950 et 1970 sont humides.

L'évolution décennale de la troisième composante (figure 26c) révèle que les décennies 1960, 1970, 1980, 1990 et 2000 sont sèches, tandis que la décennie 1950 est humide. Cette évolution traduit une baisse continuelle des précipitations du Congo après les décennies 1980. Ceci s'est fait également remarqué au cours de la troisième composante principale de la saison MAM qui est la première saison pluvieuse au Congo. Un fait est à remarquer au cours des saisons SON et OND, la baisse commence depuis la décennie 1960 et est continuelle. Cette décennie correspond à celle de la baisse sahélienne dont les impacts sur les écosystèmes sont démontrés par plusieurs auteurs. Au Congo, les impacts de cette baisse se sont déjà remarqués sur les écoulements de deux grands fleuves à savoir : le Fleuve Congo et le Kouilou-Niari (*Ibiassi et al., 2013*), mais aussi sur la navigation fluviale du Fleuve Congo (*Pandi et al., 2009*).

L'étude de la tendance des précipitations saisonnières décennales de SON et OND, montre une tendance à la baisse significative des précipitations des trois composantes.



(a)







Figure 26: Evolution décennale des précipitations saisonnières de SON (CP3) et OND (CP1 et CP2), période (1950-2005). CP1, CP2 et CP3 représentant la première composante principale, la deuxième composante principale et la troisième composante principale.

En définitive, l'étude de la variabilité décennale des précipitations saisonnières au cours des six (6) dernières décennies traduit une variabilité spatio-temporelle aussi bien durant la période humide que pendant la période sèche. En effet, il se dégage un écart-considérable entre les décennies humides (supérieure à la moyenne) et les décennies sèches (inférieures à la moyenne).

Les décennies humides sont de l'ordre de 3/6 pour la CP1 et la CP2 à 2/6 pour la CP3. Le degré de la baisse en pourcentage est passé dans l'ensemble de 60% (décennies 1950-1960) durant la période humide à 10% (décennie 2000) au niveau de la CP1 et à 75% (décennie 2000) au niveau de la CP2 à -60% (décennie 2000) au niveau de la CP3, Pendant la période sèche, soit une baisse de 50% au niveau de la CP1, de 60 pour la CP2 et 70% au niveau de la CP3. Ceci montre un important glissement vers le Nord (illustré par la CP2 et la CP3) %, traduisant donc une baisse de la pluviométrie du Sud-Congo au Centre-Congo et au Nord-Congo durant les différentes décennies. Ceci aussi bien à l'échelle annuelle qu'à l'échelle saisonnière. Ce constat est en accord avec les résultats obtenus sur la variabilité inter annuelle des précipitations de la CP1, CP2 et la CP3. En effet, la variabilité inter annuelle signale une diminution de la pluviométrie à partir de 1970, subdivisant donc la période 1950-2005 en deux sous périodes : 1950-1970 (humide) et 1971-2005 (sèche). La baisse est plus prononcée au niveau de la CP2 et la CP3, illustrant là aussi un glissement de la pluviométrie du Sud-Congo.

3.5. La recherche des ruptures dans les séries chronologiques des précipitations au Congo de 1950 à 2005

Afin de déceler la présence ou l'absence de rupture sur les séries des précipitations annuelles et saisonnières des composantes principales : CP1, CP2 et CP3 du Congo, les tests de recherche de rupture suivants : Pettitt, Buishand, Lee et Heghinian, Hubert sont appliqués. Nous retenons comme critère que la rupture est jugée significative si au moins un test le prouve.

3.5.1. La recherche des ruptures dans les séries des précipitations annuelles

La recherche des ruptures par les tests suivants : Pettitt, Buishand, Lee et Heghinian, Hubert sur les séries des précipitations annuelles des trois composantes principales CP1, CP2 et CP3 (figures 27, 28 et 29) révèle les résultats suivants : une absence des ruptures au sein de la CP1 pour tous les tests (figure 27). Les tests de Buishand et de Pettitt révèlent la présence d'une rupture significative en 1982, sur les précipitations annuelles de la CP2 au seuil de 90 et de 95%. Les autres tests ne montrent aucune rupture (figure 28). Les tests appliqués sur les précipitations annuelles de la CP3 montrent la présence d'une cassure significative en 1970 aux trois seuils de confiance (figure 29). Notons cependant que le test de Lee et Heghinian montre la présence d'une rupture en 1964, tandis que celui d'Hubert détecte une rupture en 1956.







Figure 27: Tests de Pettitt, Buishand, Lee et Heghinian sur les précipitations annuelles de la CP1







Figure 28 : Tests de Buishand, Pettitt, Lee et Heghinian sur précipitations la CP2









Figure 29: Test de Buishand, Pettitt, de Lee et Heghinian sur la CP3

3.5.2. La recherche des ruptures dans les séries des précipitations saisonnières

3.5.2.1. La recherche des ruptures dans les séries des précipitations de JF (Janvier-Février) et DJF (Décembre-Janvier-Février)

La recherche des ruptures par les tests suivants : Pettitt, Buishand, Lee et Heghinian, Hubert sur les séries des précipitations saisonnières de JF (composantes principales CP1 et CP2) et de DJF CP3) illustrée par les figures 30, 31 et 32, montre l'absence de rupture au sein de la CP2(figure 31), tandis que les tests de Lee et Heghinian et celui de Hubert révèlent la présence d'une rupture significative en 1997, sur les précipitations de JF de la CP1(figure 30). Le test de Buishand et de Pettitt par contre ne montre aucune rupture au sein de la CP1. Les tests appliqués sur les précipitations saisonnières de DJF de la CP3 (figure 32) montrent la présence d'une rupture significative en 1970 pour le test de Buishand et Pettitt au niveau des trois seuils de confiance et en 1966 pour les tests de Lee et Heghinian et celui d'Hubert.







Figure 30: Test de Buishand, Pettitt et de Lee et Heghinian pour la saison JF de la CP1



Figure 31: Test de Buishand, Pettitt et de Lee et Heghinian pour la saison JF de la CP2









Figure 32: Test de Buishand, Pettitt et de Lee et Heghinian pour la saison DJF de la CP3

3.5.2.2. La recherche des ruptures dans les séries des précipitations de MAM (Mars-Avril-Mai)

La recherche des ruptures sur les séries des précipitations saisonnières de MAM par les tests suivants : Pettitt, Buishand, Lee et Heghinian, Hubert (figures 33, 34, 35), indique la présence d'une rupture significative en 1970, sur les précipitations de la CP1 (figures 33), pour le test de Buishand et Pettitt et en 1997 pour les tests de Lee et Heghinian et celui. Les tests de Pettitt, Buishand, Lee et Heghinian, appliqués sur les précipitations de MAM de la CP2 (figures 34), traduisent la présence d'une cassure significative en 1970. Les principaux tests appliqués sur les précipitations de MAM de la CP3 (figures 35), montrent la présence d'une rupture significative en 1970 pour Pettitt, Buishand, tandis que Lee et Heghinian montre la présence d'une rupture significative en 1964.



Figure 33: Test de Buishand, Pettitt et de Lee et Heghinian pour la saison MAM de la CP1







Figure 34 : Test de Buishand, Pettitt et de Lee et Heghinian pour la saison MAM de la CP2







Figure 35 : Test de Buishand, Pettitt et de Lee et Heghinian pour la saison MAM de la CP3

3.5.2.3. La recherche des ruptures dans les séries des précipitations de JJA (Juin-Juillet-Aout) et JJAS (Juin-Juillet-Aout-Septembre)

La recherche des ruptures sur les précipitations saisonnières de JJA (CP3) et JJAS (CP1 et CP2) par les tests suivants : Pettitt, Buishand, Lee et Heghinian, Hubert (figure 36, 37, 38) révèle les résultats suivants : une absence de ruptures sur les précipitations de la CP1 (figure 36) pour les tests de Buishand, Pettitt et celui de Lee et Heghinian. Les tests appliqués sur les précipitations de JJAS de la CP2 (figure 37), indique une absence de rupture pour le test de Lee et Heghinian, par contre le test de Buishand et de Pettitt révèle la présence d'une rupture significative en 1982 aux seuils de confiance 90 et 95%. Les tests appliqués sur les séries des précipitations de JJA de la CP3 (figure 38), montre une rupture significative en 1958 pour le test de Buishand, Pettitt ne révèlent aucune rupture significative sur les précipitations de JJA.



1950 1953 1956 1959 1962 1965 1968 1971 1974 1977 1980 1983 1986 1989 1992 1995 1998 2001 2004 Période





Figure 36: Tests de Buishand, Pettitt et de Lee et Heghinian pour la saison JJAS de la CP1



Figure 37: Tests de Buishand, Pettitt et de Lee et Heghinian pour la saison JJAS de la CP2







Figure 38: Tests de Buishand, Pettitt et de Lee et Heghinian pour la saison JJA de la CP3

3.5.2.4. La recherche des ruptures dans les séries des précipitations de SON (Septembre-Octobre-Novembre) et OND (Octobre-Novembre-Décembre)

La recherche des ruptures par les tests de : Pettitt, Buishand, Lee et Heghinian, Hubert sur les séries des précipitations saisonnières de SON (CP3) et OND (CP1 et CP2) (figure 39, 40, 41), montre l'absence d'une rupture sur les précipitations de OND de la CP2 (figure 40). Les tests de recherche de rupture appliqués sur les précipitations d'OND de la CP1 (figure 39), révèle l'absence de ruptures par les tests de Buishand et de Pettitt, seul le test de Lee et Heghinian montre la présence d'une rupture significative en 1998 sur les précipitations saisonnières d'OND. La recherche des ruptures effectuées sur les précipitations saisonnières de SON de la CP3 (figure 41), indique la présence d'une rupture significative en 1966 pour le test de Buishand et de Pettitt et en 1959 pour le test de Lee et Heghinian.



Figure 39: Tests de Buishand, Pettitt et de Lee et Heghinian pour la saison SON de la CP1






Figure 40: Tests de Buishand, Pettitt et de Lee et Heghinian pour la saison OND de la CP2







Figure 41: Tests de Buishand, Pettitt et de Lee et Heghinian pour la saison SON de la CP3

Conclusion du chapitre 3

L'étude de la variabilité pluviométrique au Congo fait ressortir les résultats suivants :

- les analyses multivariées (ACPRV) montrent trois zones cohérentes aussi bien à l'échelle annuelle que saisonnière : CP1 (Sud-Congo), CP2 (Centre-Congo) et CP3 (Nord-Congo). Ces trois composantes principales révèlent trois régimes pluviométriques différents : équatorial pour la CP3, sub-équatorial pour la CP2 et tropical humide pour la CP1 ;
- les trois composantes principales montrent une tendance générale à la baisse significative de la pluviométrie aussi bien à l'échelle annuelle, saisonnière que décennale. Notons cependant qu'à l'échelle annuelle, deux types de changements affectent les précipitations. Le premier type est celui qui affecte la répartition spatiale des précipitations. Les trois composantes principales montrent une évolution asynchrone. La CP1 accuse un déficit pluviométrique de 1950 à 1960 tandis que la CP2 et la CP3 accusent un excédent pluviométrique. Le deuxième type de changement est celui qui affecte la CP1, la CP2 et la CP3 au cours de la période 1970-2009. Ces trois composantes principales enregistrent une baisse significative des précipitations ;
- les précipitations saisonnières (JF, DJF, MAM, JJA, JJAS et OND) montrent également deux types de changements : le premier affecte la répartition spatiale des précipitations au cours de la période 1960-1970: les trois composantes principales ont une évolution asynchrone. Elle est excédentaire pour la CP2 et la CP3, tandis qu'elle est à la stabilité pour la CP1. Le deuxième type de changement est celui survenu au cours de la période 1970-2005. Il marque le passage d'une période humide avant 1970 à une période sèche après cette année. On note cependant une répartition spatiale des précipitations entre les trois composantes principales. Les précipitations sont déficitaires pour la CP2 et la CP3, tandis qu'elles sont stationnaires pour la CP1 ;

- l'évolution décennale des précipitations annuelles montre également deux types de changements : le premier type est celui de la répartition spatiale des précipitations au cours de la période 1950-1970. Les trois composantes ont une évolution asynchrone. Les précipitations sont excédentaires pour les décennies 1950, 1960 et 1970 pour la CP2 et la CP3, tandis qu'elles sont à la stabilité pour la CP1. Le deuxième type de changement est celui qui affecte la répartition spatiale des précipitations au cours des décennies 1980, 1990 et 2000. Les décennies 1980, 1990 et 2000 sont déficitaires, elles montrent le passage des décennies 1950, 1960 et 1970 humides aux décennies 1980, 1990 et 2000 sèches pour la CP2 et la CP3. La CP1 a une évolution à la stabilité ;
- l'évolution décennale des précipitations saisonnières montre également deux types de changements : le premier type est celui de la répartition spatiale des précipitations. Au cours des saisons JF, DJF, MAM, JJA, JJAS, SON et OND, on note une alternance des décennies sèches et des décennies humides. Les décennies 1950 ,1990 et 2000 sont déficitaires, tandis que les décennies 1960, 1970 et 1980 sont excédentaires pour la CP1 et la CP2, par contre, la CP3 accuse un excédent pluviométrique pour les décennies 1950, 1960 et un déficit pour les décennies 1970, 1980, 1990 et 2000. Le deuxième type de changement est celui qui affecte la répartition temporelle des trois composantes au cours des saisons JF, DJF, MAM, JJA, JJAS et OND. La période avant 1970 est excédentaire et la période postérieure à 1970 est déficitaire ;
- les tests de recherche de rupture suivants : Pettitt, Buishand, Lee et Heghinian, appliqués aux précipitations du Congo conformément aux critères que nous nous sommes fixés, révèlent les résultats suivants : absence de rupture sur la CP1 des précipitations annuelles, présence de rupture significative en 1982 sur la CP2 et présence de rupture en 1964 et en 1970 pour la CP3 ;

112

- la saison JF montre une rupture significative en 1997 pour la CP1, la CP2 par contre ne traduit aucune rupture significative. Durant la saison DJF, la CP3, montre la présence de deux ruptures significatives à savoir: en 1966 et en 1970;
- la saison MAM indique la présence de deux ruptures significatives en 1970 et en 1997. La CP2 montre la présence d'une rupture significative en 1970. La CP3 indique la présence d'une rupture significative en 1986 ;
- la saison JJAS, montre la présence d'une rupture significative en 1989 pour la CP1 et trois ruptures significatives pour la CP2 : 1961, 1982 et 1990 ;
- la saison JJA révèle la présence d'une rupture significative pour la CP3 en 1958 ;
- la saison OND montre la présence d'une rupture en 1998 pour la CP1, aucune rupture pour la CP2;
- la saison SON montre la présence de deux ruptures significatives pour la CP3 en 1959 et 1966.

Chapitre 4 : Dynamique de l'océan

L'objectif de ce chapitre est de déterminer la dynamique océanique de la période 1950-2005. La dynamique océanique est exprimée à travers les champs de température de surface océanique grâce auxquels quatre indices océaniques reconnus ont été calculés : AMO (Atlantic Multi-décennal Oscillation), NAO (North Atlantic Oscillation), SOI (Southern Oscillation Index) et Nino3_4 (Indices de températures de surface océaniques).

Pour atteindre cet objectif, les données utilisées sont les données mensuelles de quatre indices: AMO (Océan atlantique Nord, entre les latitudes $0 \circ N$ et $60 \circ N$, et les longitudes $7.5 \circ W$ et $75 \circ W$), NAO (Zone nord-Atlantique extratropicale), SOI (Tropical South Pacific) et Nino3_4 (Pacifique tropical oriental entre les latitudes $5 \circ N$ et $5 \circ S$, et entre les longitudes $150 \circ W$ et le Pacifique tropical central respectivement entre les latitudes $5 \circ N$ et $5 \circ S$ et les longitudes $160 \circ E$ et $150 \circ W$), données en points de grilles de $2.5 \circ sur 2.5 \circ$. Les analyses sont portées sur :

- l'étude de la variabilité inter annuelle des indices océaniques, à partir de la méthode des moyennes glissantes sur 5 ans, et l'étude de tendance à partir de la régression linéaire et la tendance polynomiale d'ordre 6;
- l'étude de la variabilité décennale des indices climatiques au pas de temps annuel et saisonnier, faite à partir des anomalies centrées réduites à la moyenne et multipliées par 100. La décennie 2000 compte 6 années au lieu de 10 années. Sur les figures de l'évolution décennale apparaitront 2000_2009 au lieu de 2000_2005. Ceci pour les raisons d'harmonisation.

4.1. Variabilité inter annuelle des indices océaniques

L'évolution inter annuelle des indices océaniques (SOI, NINO3.4, AMO et NAO) à l'échelle annuelle (figure 42) montre que :

l'indice AMO (Atlantic Multi-décennal Oscillation), (figure 42a) enregistre trois périodes: les périodes 1950-1962 et 1991-2005 caractérisant une hausse (réchauffement) des températures de surface océanique et la période 1963-1992, illustrant une évolution à la baisse (refroidissement) des températures de surface océaniques.

La tendance générale de l'indice AMO est à la hausse à partir des années 1980, caractérisant un réchauffement ;

- l'indice NINO3.4 (Indices de températures de surface océaniques) (figure 42b),
 indique une évolution inter annuelle caractérisée par deux périodes : la période 1950-1978 déficitaire(refroidissement) et la période 1979-2005 excédentaire(réchauffement). La tendance générale de l'évolution inter annuelle de NINO3.4 de 1950 à 2005 est à la hausse(rechauffement) àpartir des années 1970 ;
- l'évolution inter annuelle de l'indice SOI (Southern Oscillation Index) (figure 42c),
 révèle, deux périodes : la période antérieure à 1970 caractérisée par une alternance
 des anomalies positives et négative avec une tendance à la hausse et la période
 postérieure à 1970, caractérisée par prédominance des anomalies négatives,
 caractérisant baisse.

Notons que la tendance générale de l'indice SOI est à la baisse non significative à partir de 1968.

En résumé, les évènemnes ENSO et LNSO suivants peuvent être établis :

 ENSO: 1950, 1954-1956, 1960, 1964, 1967-1969, 1972, 1974-1976, 1989-1990, 1997, 2000, 2001;









Figure 42: L'évolution inter annuelle des indices océaniques annuels

LNSO: 1951-1953, 1957-1959, 1961, 1963, 1965-1966, 1970-1971, 1973, 1977-1978, 1980-1988, 1991-1996, 1998-1999, 2002-2007.

L'occurrence de la variabilité des ENSO dans le temps apparaît nettement avec une période de retour de 2 à 3 ans. Avant 1960, les ENSO sont rares, ils sont frequents après 1960. L'évenement majeur de 1982-1983 se fait remarquer, considéré comme le plus important du XXe siècle (Wright, 1988, 1989). Pour expliquer l'irrégularité de l'alternance entre les deux phases, il faut évoquer plusieurs modes possibles interagissant entre eux et prendre en compte des forcages stochastiques (Philander, 1990). Cet auteur démontre clairement que l'existence de boucle de retroactions positives via le couplage océan-atmosphère est nécessaire pour expliquer l'amplification et la persistance des anomalies ;

l'évolution inter annuelle de l'indice NAO (North Atlantic Oscillation), (figure 41d)
 montre deux périodes :

la période 1950-1979, déficitaire (baisse), caractérisée par une prédominance des anomalies négatives avec une période de retour de 2 à 3 ans et deux années d'intensités majeures 1958 et 1968. Par contre la période 1980-2005 est excédentaire (hausse) et se caractérisée par une prédominance des anomalies positives avec une période de retour de 3 à 5 ans.

L'évolution inter annuelle des indices océaniques montre dans l'ensemble deux grandes périodes 1950-1979, marquant une évolution à la baisse de la NAO et une évolution à la hausse de la SOI d'une part et d'autre part une tendance à la baisse des indices de températures de surface océanique(AMO et NINO3.4). La deuxième période est la période 1980-2005, caractérisant une évolution à la hausse de la NAO et une évolution à la baisse de la SOI d'une part et d'autre part une tendance à la hausse des indices de température de surface océanique(AMO et NINO3.4). Ces deux grandes périodes des indices océaniques à l'échelle annuelle coorespondent aux deus grandes périodes de l'évolution inter annuelle des précipitations annuelles : 1950-1979 marquant une période humide(hausse des précipitations) et 1980-2005 indiquant une période sèche(baisse des précipitations). Ces résultats coincident avec ceux trouvés en Afrique de l'Ouest par Janicot et al. (1996 et 2001). Ceux-ci affirment une baisse des précipitations au cours de la moitié du deuxième siècle de l'ère chrétienne et pensent à une persistance de longues périodes anormalement sèches ou pluvieuses en relation avec une augmentation de la variabilité interannuelle de l'ENSO et, en particulier, du nombre d'occurrences de ses phases chaudes ; une contribution positive à l'échelle décennale du changement des TSMs globales sur la téléconnexion ENSO-Sahel.

4.2. Variabilité saisonnière des indices océaniques

4.2.1. Variabilité des indices océaniques durant la saison JF et DJF

L'évolution inter annuelle des indices océaniques pendant les saisons janvier-fevrier (JF), et DJF, illustrée par la figure 43, indique que :

l'indice AMO (figure 43a) est caractérisée par trois périodes : 1950-1962 et 1995-2005, excédentaires (réchauffement) et la période 1963-1994, déficitaire (refroidissement) ;

la tendance générale de l'indice AMO au cours de la saison JF et DJF est à la hausse significative à partir de 1980 ;

l'évolution inter annuelle de NINO3.4(figure 43b) indique une évolution à la hausse(réchauffement) sur l'ensemble de la période 1950-2005. On compte 12 à 14 années froides sur 60. La période de retour d'une année froide après une année

chaude est de l'orde de 3 à 7 ans. La tendance de l'évolution inter annuelle de l'indice NINO3.4 est à la hausse;

- l'évolution inter annuelle de l'indice SOI en JF et DJF(figure 43c) indique deux périodes 1950-1979 caractérisant une hausse et la période 1980-2005 marquant une baisse. On note cependant une rareté des ENSO de grande intensité, exceptée celle de 1982-1983 déjà perceptible à l'échelle annuelle;
- l'indice NAO durant les saisons JF et DJF(figure 42d) révèle trois phases : 1950-1970 et 1988-2005 excédentaire(hausse) et 1971-1987 déficitaire(baisse). La tendance générale de l'indice NAO est à la hausse en 1980, hausse significative durant la saison JF et non significative au cours de la saison DJF.





(a)





(b)







Figure 43: L'évolution inter annuelle des indices océaniques au cours des saisons JF et DJF

4.2.2. Variabilité inter annuelle des indices océaniques durant la saison MAM

L'évolution inter annuelle des indices océaniques au cours de la saison MAM (figure 44), momtre que :

- l'indice AMO (figure 44a), enregistre trois périodes :1950-1970 et 1971-1996 excédentaire(réchauffement) et la période 1997-2005 déficitaire(réfroidissement). La tendance générale de l'évolution de l'indice AMO en MAM est à la hausse significative à partir de 1980, comme pendant la saison JF ;
- l'indice SOI en MAM(figure 44b), montre une alternance des années chaudes et des années froides durant la période 1950-1979 de période de retour de 2 à 5 ans, de faible intensité avec cependant une tendance à la hausse. La période 1980-2005 est à la baisse(refroidissement). La tendance de l'indice SOI de 1980-2005 est à la baisse non significative à partir de 1980;
- l'indice NINO3.4(figure 44c) revèle deux périodes 1950-1979 déficitaire(réfroidissement) avec une de période de retour de 2 à 5 ans des anomalies positives et négatives. La période 1980-2005 est excédentaire(réchauffement) avec une forte intensité des TSO matérialisée par des années excédentaires suivantes : 1982-1983, 1987, 1992-1993 et 1998.

La tendance générale l'indice NINO3.4 en MAM est à la hausse(réchauffement) à partir de l'année 1980. Cette tendance est similaire à celle de la saison JF ;

l'indice NAO (figure 44d) indique une évolution en deux phases : une déficitaire(1950-1979) et l'autre excédentaire(1980-2005). La période de retour des années déficitaires et excédentaires est de 2 à 5 ans avant 1980 et de 1 à 2 ans après 1980.La tendance générale de l'indice NAO en MAM est à la hausse(qugmentation) à partir de l'année 1980, tandis avec les années excédentaires suivantes : 1990, 1992, 2001-2005.







(c)



Figure 44: L'évolution inter annuelle des indices océaniques au cours de la saison MAM

4.2.3. Variabilité inter annuelle des indices océaniques durant les saisons JJA et JJAS

L'évolution inter annuelle des indices océaniques pendant les saisons JJA et JJAS(figure 45) est la suivante :

- l'indice AMO indique une période excédentaire(réchauffement) de 1950 à 1960, suivie par une période déficitaire(baisse) de 1961 à 1995 et enfin une période excédentaire(réchauffement) de 1996 à 2005. Il est à noter que les années 1974 et 1999 montrent des extremes respectivement de refroidissement et de rechauffement. La tendance générale de l'évolution de l'indice AMO en JJA et JJAS est à la hausse à partir de l'année 1980, tendance similaire à celle de JF et DJF et opposée à celle de MAM ;
- l'indice SOI en JJA et JJAS, traduit une alternance des anomalies positives et négatives de période de retour de 2 à 5 ans durant la période 1950-1977, avec une prédominance des anomalies positives traduisant une hausse. La période 1978-2005 indique une baisse significative à partir de 1980;
- l'indice NAO en JJA et JJAS montre également une alternance des années excédentaires et déficitaires durant la période 1950-1968. Cépendant, la période de retour est de 2 à 7 ans. La tendance générale de l'évolution de l'indice NAO en JJA et JJAS durant cette période est à la baisse. Pendant la période 1969-2005, la tendance de l'indice NAO est à la stabilité, tandis qu'elle était à la baisse en JF et à la hausse en MAM ;
- L'indice NINO3.4 indique une alternance des années chaudes et des années froides de 1950 à 2005. La période de retour des années chaudes et des années froides est de 1 à 2 ans.











(b)









Figure 45: L'évolution inter annuelle des indices des températures de surface océaniques au cours des saisons JJA et JJAS

4.2.4. Variabilité inter annuelle des indices océaniques durant les saisons SON et OND

Au cours des saisons SON et OND, les indices océaniques montrent l'évolution inter annuelle suivante :

 l'indice AMO (figure 46a) indique trois phases comme pour les saisons précédentes : les périodes escédentaires(réchauffement) 1950-1962 et 1994-2005 et la période déficitaire(réfroidissement) 1963-1993.

La tendance générale de l'indice AMO en SON et OND est à la hausse(réchauffement) à partir de l'année 1980 ;

- l'indice NINO3.4 traduit une alternace des années chaudes et des années froides de période de retour de 2 à 3 ans. D'une manière générale, de l'évolution inter annuelle des NINO3.4 en SON et OND est au réchauffement non sig,ificative à partir de l' années 1970;
- l'indice SOI revèle une alternance des anomalies positives et des anomalies négatives avec une période de rétour de 2 à 5 ans. La tendance générale de l'évolution de l'indice SOI est à la baisse non significative à partir de l'année 1980;
- l'indice NAO indique une alternance des années de hausse et des années de baisse de période de retour de 2 à 5 ans. l'indice NAO traduit une tendance générale en SON et OND à la baisse non significative après l'année 1980, tendance similaire en JF et opposée à celle de MAM et JJAS.





(a)



(b)









Figure 46: L'évolution inter annuelle des indices des températures de surface océaniques au cours des saisons SON et OND

(d)

4.3. Evolution décennale des indices océaniques

4.3.1. Evolution décennale des indices océaniques à l'échelle annuelle

L'évolution décennale des indices océaniques déterminées à partir des anomalies centrées réduites multipliées par 100 representées par la figure 47, montre qu'à l'échelle annuelle :

- l'indice AMO de 1950 à 2005 a une évolution inter annuelle qui montre que 2 décennies sur 6 sont déficitaires (réfroidissemnt) et 2 décennies sur 6 sont excédentaires (réchauffement). Les décennies 1960 et 1990 sont faiblement excédentaires. Les décennies 1970 et 2000 montrent respectivement un refroidissement maximum et un réchauffement maximum de l'indice AMO. La tendance générale de l'évolution décennale de l'indice AMO à l'échelle annuelle est à la hausse après la décennie 1970;
- l'indice SOI indique que 2 décennies sur 6 sont excédentaires (hausse), contre 4 décennies sur 6 qui sont déficitaires (baisse). Notons que les décennies 1990 et 1970 montrent des maxima d'une part de refroidissement et d'autre part de réchauffement. La tendance générale de l'évolution décennale de l'indice SOI à l'échelle annuelle est à la baisse à partir de la décennie 1970 ;
- l'évolution décennale l'indice NINO3.4 montre que 2 décennies sur 6 sont déficitaires (refroidissement) contre 4 décennies sur 6 qui sont excédentaires (rechauffement). La décennie 1970 traduit le maximum de refroidissement, tandis que la décennie 1990 quant à elle est caractérise le maximum de réchauffement;
- l'indice NAO a une évolution décennale qui revèle que 3 decennies sur 6 sont déficitaires (baisse), contre 3 décennies sur 6 qui sont excédentaires (hausse).
 La tendance générale de l'évolution décennale de l'indice NAO est à la hausse à partir de la décennie 1980.











Figure 47: L'évolution decennale des indices océaniques au cours de l'échelle annuelle

4.3.2. Evolution décennale des indices océaniques à l'échelle saisonnière

4.3.2.1. Evolution décennale des indices océaniques pendant les saisons JF et DJF

L'évolution décennnale des indices océaniques pendant les saisons JF et DJF (figure 48), traduit les résultats suivants :

l'indice AMO a enregistré trois (3) decénnies sur six (6) qui sont déficitaires (baisse), contre 3 decénnies sur 6 qui sont excédentaires (hausse). La decénnie 1970 enregistre les températures les plus faibles (-25%) et les décennies 1950 et 2000 enregistrent les températures les plus fortes(12%).

La tendance générale de l'évolution décennale de l'indice AMO en JF et DJF est à la baisse à partir de la décennie 1960 ;

- l'évolution décennale de l'indice SOI indique que 3 décennies sur 6 sont excédentaires(hausse) : 1960, 1970 et 2000, contre 3 décennies sur 6 qui sont déficitaires (baisse) : 1950, 1980 et 1990. L'indice SOI en JF et DJF a une tendance à la baisse significative à partir de la décennie 1980 ;
- l'indices Nino3.4 revèle une évolution décennale qui est à la hausse généralisée, avec la décennie 1990 la plus chaude ;
- l'évolution décennale de l'indice NAO en JF et DJF, montre que 2 décennies sur 6 sont déficitaires (baisse):1960 et 1970, contre 4 décennies sur 6 qui sont excédentaires (hausse): 1950, 1980, 1990 et 2000.
 La tendance générale de l'évolution de l'indice NAO durant les saisons JF et DJF est

à la hausse significative à partir de la décennie 1980.









(b)





(c)







4.3.2.2. Evolution décennale des indices océaniques pendant la saison MAM

L'évolution décennale des indices océaniques pendant la saison MAM (figure 49), traduit que :

 l'indice AMO en MAM enregistre deux décennies sur 6 qui sont déficitaires (réfroidissement):1970 et 1980 contre 4 décennies sur 6 qui sont excédentaires (réchauffement):1950, 1960, 1990 et 2000.

Notons que les décennies 1970 et 2000 représentent les extrêmes de réfroidissement et de réchauffement de l'AMO au cours de la saison MAM.

La tendance générale de l'indice AMO en MAM est au réchauffement qui est non significatif(avec un coéfficient de regression de 8%) à partir de la décennie 1970 ;

- l'indice SOI par contre au cours de la saison MAM montre une évolution décennale à la baisse générale et significative (coefficient de détermination de l'ordre de 56%);
- l'indice Nino 3.4 au cours de la saison MAM indique que 4 décennies sur 6 sont déficitaires (réfroidissement) : 1950, 1960, 1970 et 2000, contre 2 décennies sur six qui sont excedentaires (réchauffement): 1980 et 1990. Il est à noter que les décennies 1970 et 1990 caractérisent d'une part le maximum de réfroidissement durant MAM et d'autre part, le maximum de réchauffement.

L'indice Nino 3.4 durant la saison MAM a une tendance générale au réchauffement significative à partir de la décennie 1970 ;

l'indice NAO au cours de MAM enregistre trois (3) décennies sur 6 sont négatives:
 1950, 1960 et 1970 et trois (3) décennies sur 6 sont positives:
 1980, 1990 et 2000. La décennie 1950 caractérise le maximum de baisse et la décennie 2000, le maximum de hausse.

La tendance générale de l'évolution décennale de l'indice NAO en MAM traduit une hausse significative (coefficient de détermination de l'ordre de 43%) à partir de la décennie 1980.







(c)



Figure 49:L'évolution décennale des indices océaniques au cours de la saison MAM

4.3.2.2. Evolution décennale des indices océaniques pendant les saisons JJA et JJAS

L'évolution décennale des indices océaniques pendant les saisons JJA et JJAS(figure 50), traduit que:

- l'indice AMO enregistre trois (3) décennies sur six (6) de réfroidissement et trois(3) décennies sur six(6) de réchauffement. Les décennies qui caracterisent le maximum de refroidissement de l'indice AMO en JJA et JJAS sont respectivement : 1950 et 2000, tandis que la décennie 1970 caractérise le maximum de réchauffement ;
 La tendance générale de l'évolution décennale de l'indice AMO durant les saisons JJA et JJAS est au réchauffement significative(coefficient de régression de l'ordre de 30%) à partir dedécennie 1970 ;
- l'indice SOI enregistre 4 décennies sur 6 déficitaires, contre 2 décennies sur 6 excédentaires. La période antériure à 1970 est excédentaire, tandis que la période postérieure à 1970 est déficitaire.

L'indice SOI pendant les saisons JJA et JJAS traduit une tendance à la baisse significative (coefficient de régression de 78%) à partir de la décennie 1970 ;

l'indice Nino3.4 indique que 2 décennies sur 6 sont déficitaires(réfroidissement) : 1950 et 1970, contre 4 décennies sur 6 qui sont excédentaires (réchauffement) : 1960, 1980, 1990 et 2000. La période posteriuere à 1970 est caractérisée par un rechauffement de Nino3.4, tandis que la période antériuere à 1970 matérialise un réfroidissement.

La tendance de l'évolution décennale de indices Nino3.4 durant les saisons JJA et JJAS est au réchauffement significative(coefficient de régression de l'ordre de 70%) à partir de la décennie 1970 ;

l'indice NAO durant les saisons JJA et JJAS traduit que cinq (5) décennies sur six (6) sont déficitaires(baisse), contre une (1) décennie sur six (6) qui est excédentaire (hausse).



significative (coefficient de régression de 38%).

L'indice NAO pendant les saisons JJA et JJAS montre une tendance à une baisse non





(c)





Figure 50: L'évolution décennale des indices océaniques au cours des saisons JJA et JJAS

4.3.2.4. Evolution décennale des indices océaniques pendant les saisons SON et OND

L'évolution décennale des indices océaniques pendant les saisons SON et OND (figure 51), indique que:

- l'indice AMO enregistre trois (3) décennies sur six (6) caractérisant le réfroidissement : 1970, 1980 et 1990, contre trois (3) décennies sur six(6) montrant un réchauffement : 1950, 1960 et 2000 ;
- l'évolution decennale de la SOI enregistre montre trois (3) décennies sur six (6) déficitaires (baisse) : 1960, 1980 et 1990, contre trois (3) décennies sur six(6) qui sont excédentaires (hausse) : 1950, 1970 et 2000. La décennie 1970 caractérise le maximum de hausse, tandis que les décennies 1980 et 1990 caractérisent les maxima de baisse de l'indice SOI.

L'indice SOI pendant les saisons SON et OND est à la baisse significative à partir de la décennie 1970 ;

la variabilité decennale de Nino3.4 durant les saisons SON et OND indique deux(2) décennies sur six(6) qui sont déficitaires(réfroidissement) :1950 et 1970, contre quatre (4) décennies sur six(6) qui sont excédentaires (réchauffement) : 1960, 1980, 1990 et 2000. La décennie 1970 enregistre le maximum de réfroidissement, par contre les décennies 1990 et 2000 enregistrent les maxima de réchauffement.

L'indice NINO3.4 connait une tendance au réchauffement(hausse) très significative(coefficient de régression de 74%) à partir de la décennie 1970 ;

l'indice NAO a une évolution decennale qui montre deux (2) décennies sur six (6) déficitaires(baisse) : 1960 et 2000 et quatre (4) décennies sur six (6) excédentaires (hausse) : 1950, 1970, 1980 et 1990. Deux décennies 1960 et 2000, caractérisent la baisse la plus prononcée, par contre la décennie 1950 caractérise le maximum de hausse de la NAO.

L'évolution décennale de la NAO au cours des saisons SON et OND a une tendance à la baisse significative (coefficient de régression de 48 %) à partir de la décennie 1980.









(b)









(d)

Figure 51:L'évolution décennale des indices océaniques au cours des saisons SON et OND

Conclusion du chapitre quatrième

L'évolution inter annuelle des indices océaniques montre que :

- l'indice AMO enregistre deux phases bien distinctes : la période antérieure à 1962 et la période postérieure à 1995, caractérisée par une évolution à la hausse (réchauffement) et la période 1963-1995, caractérisée par une évolution à la baisse (refroidissement);
- l'évolution inter annuelle de l'indice SOI, par contre, montre deux périodes : la période antérieure à 1970 caractérisée par une tendance à la hausse et la période postérieure à 1970, caractérisée par une évolution à la baisse.
- L'indice Nino3.4, montre deux périodes : 1950-1972 qui est déficitaire (refroidissement) et la période 1973-2005 qui est excédentaire (réchauffement) ;
- l'évolution inter annuelle de l'indice NAO deux phases : 1950-1980, déficitaire, caractérisée par une prédominance des anomalies négatives avec une période de retour de 2 à 3 ans et deux années d'intensités majeures 1958 et 1968. Par contre la période 1981-2005 est excédentaire et se caractérise par une prédominance des anomalies positives avec une période de retour de 3 à 5 ans.

L'évolution saisonnière des indices océaniques revèle que :

- l'indice AMO en JF et DJF est caractérisée par trois périodes : 1950-1962 et 1995-2005, excédentaires (réchauffement) et la période 1963-1994, déficitaire (refroidissement);
- l'évolution inter annuelle de l'indice SOI pendant les saisons JF et DJF est quasi stable sur l'ensemble de la période. On note une rareté des ENSO de grande intensité, exceptée celle de 1982-1983 déjà perceptible à l'échelle annuelle;
- l'indice AMO en MAM, indique deux périodes :1950-1970 et 1971-1996 excédentaire(réchauffement) et la période 1997-2005 déficitaire(réfroidissement);

- l'évolution inter annuelle de l'indice SOI en MAM, montre une alternance des années excédentaires et des années déficitaires de période de retour de 2 à 5 ans, de faible intensité ;
- l'indice AMO en SON et OND revèle trois périodes: les périodes excédentaires
 1950-1962 et 1994-2005 et la période déficitaire 1963-1993.

L'évolution decennale des indices océaniques indique que :

l'indice SOI est caractérisée par 2 décennies sur 6 qui sont excédentaires, contre 4 décennies sur 6 qui sont déficitaires;

- l'indice AMO a enregistré trois (3) decénnies sur six (6) qui sont déficitaires (refroidissement), contre 3 decénnies sur 6 qui sont excédentaires (rechauffement). La decénnie 1970 enregistre les températures les plus faibles (-25%) et les décennies 1950 et 2000 enregistrent les températures les plus fortes(12%);

- l'indice Nino3.4 au cours de la saison MAM montrent que 4 décennies sur 6 sont déficitaires (réfroidissement) : 1950, 1960, 1970 et 2000, contre 2 décennies sur six qui sont excedentaires (réchauffement): 1980 et 1990 ;
- l'indice SOI enregistre une évolution décennale caractérisée par trois (3) décennies sur six (6) sont déficitaires: 1960, 1980 et 1990, contre trois (3) décennies sur six(6) qui sont excédentaires: 1950, 1970 et 2000. La décennie 1970 caractérise le maximum de hausse, tandis que les décennies 1980 et 1990 caractérisent le maximum de réfroidissement.

Ces résultats traduisent dans l'ensemble une évolution en phase entre la dynamique océanique (representé par les indices de températures de surface océaniques) et la variabilité des précipitations du Congo de 1950 à 2005. En effet, la phase de rechauffement des indices océaniques correspondent à la période humide des précipitations et la phase de refroidissemt des indices océaniques coincide avec la période sèche des précipitations au Congo.
Chapitre 5 : Analyse de l'influence de la dynamique océanique sur la variabilité pluviométrique du Congo

Ce présent chapitre recherche les relations entre la variabilité pluviométrique au Congo et la dynamique océanique, notamment la relation entre la variabilité pluviométrique de trois composantes principales (CP1, CP2, CP3) et les quatre indices océaniques (AMO, SOI, NAO et l Nin3.4. Pour apprécier la part des indices océaniques sur les périodes humides ou sèches d'une part et sur les décennies humides ou sèches d'autre part. Les données utilisées sont les anomalies centrées réduites des indices océaniques et des indices des précipitations. Les méthodes d'analyse ont consisté d'une part à apprécier l'évolution comparée des indices océaniques à l'échelle annuelle et à l'échelle saisonnière à partir des annomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005) puis multipliées par 100. La decennie 2000 ne comporte que 6 ans au lieu de 10 ans. Pour les raisons d'harmonisation, sur figures apparaitront la decennie 2000_2009.

La notion de l'évolution en phase signifie que l'augmentation des indices océaniques NAO et SOI correspond à la baisse des précipiations et la baisse des indices océaniques NAO et SOI correspond à la hausse des précipiations. La notion de l'évolution en opposition de phase traduit qu'une hausse des indices océaniques NAO et SOI correspondant à une hausse des précipitations et une baisse des indices océaniques correspond à une baisse des précipitations.

De meme La notion de l'évolution en phase entre l'indice AMO et Nino3.4 et les précipitations signifie qu'une augmentation des indices océaniques AMO et Nino3.4 correspond à la hausse des précipiations et la baisse des indices océaniques AMO et Nino3.4

correspond à la baisse des précipiations. La notion de l'évolution en opposition de phase traduit qu'une hausse des indices AMO et Nino3.4 correspondant à une baisse des précipitations et une baisse des indices océaniques AMO et Nino3.4 correspond à une hausse des précipitations.

Les corrélations canoniques sont calculées entre les indices pluviométriques(variables dépendantes) et les indices océaniques(variables indépendantes). La significativité du degré de rélation est approuvée par les tests de Bravais Pearson, Kendall et Spearman au seuil de confiance 10% et 5%. Les corrélations sont jugées significatives si $R^2 \ge 25$ % c'est-à-dire $R \ge 50\%$. Le degré de significativité est jugé :

- Faiblement significative si R² est compris entre 25 et 30% ;
- Moyennement significative si R² est compris en 30 et 45% ;
- Fortement significative si R² est compris entre 45 et 60% ;
- Très fortement significative si $R^2 > 60\%$.

5.1. Comparaison entre l'évolution décennale des indices océaniques et l'évolution des indices pluviométriques

Afin de déceler l'influence océanique sur l'évolution décennale des précipitations au Congo, les anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2009) puis multipliées par 100 sont calculées pour chaque indice pluviométrique (CP1, CP2 et CP3) et pour chaque indice de océanique (AMO, SOI, Nino3.4, NAO). Ceci a permis de ressortir les décennies séches et humides pour le cas des précipitations et les décennies chaudes et froides pour le cas des indices océaniques océaniques et faire une comparaison.

Notons que les concepts de l'évolution en phase et de l'évolution en opposition en phase seront utilisées pour comparer les indices océaniques et les indices pluviométriques. Toute fois, il est important de signaler que l'évolution en phase signifie que les deux paramètres évoluent dans le meme sens et l'évolution en opposition en phase signifie que les deux paramètres évoluent dans le sens contraire.

5.1.1. Comparaison entre l'évolution décennale des indices océaniques et l'évolution decennale des indices pluviométriques à l'échelle annuelle

Dans ce qui suit, il sera entrepris une comparaison conjointe de l'évolution décennale des indices océaniques (AMO, NAO, SOI et NINO3.4) et des indices pluviométriques (ISC : Indice Sud Congo, ICC : Indice Centre Congo et INC : Indice Centre Congo) au pas de temps annuel.

5.1.1.1. Comparaison entre l'évolution décennale de l'indice AMO et les indices pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3)

L'évolution décennale de l'indice AMO et de l'indice pluviométrique Sud-Congo(CP1) (figure 52a), montre qu'au cours des décennies 1950, 1960, 1990 et 2000, les précipitations de la CP1 ont une évolution en phase avec celle de l'indice AMO. En effet, les précipitations sont à la hausse et l'indice AMO aussi. La décennie 1970 est caractérisée par une évolution à la baisse des précipitations de la CP1 quasi identique avec le réfroidissement de l'indice AMO. Au cours de la décennie 1980, les précipitations de la CP1 ont une évolution en opposition de phase avec celle de l'AMO. Les précipitations sont à la hausse, tandis que l'AMO est à la baisse (réfroidissement).

L'évolution décennale de l'indice oceanique AMO et de l'indice pluviométrique Centre-Congo(CP2)(figure 52b), illustre deux périodes distinctes : la période antérieure à 1970, caractérisée par une évolution à la hausse des précipitations de la CP2, eb phase avec celle de l'indice AMO qui montre un réchauffement ; la période postérieure à 1970 par contre montre une évolution en opposition de phase entre l'indice pluviométrique CP2 et l'indice AMO. Les pécipitations sont caractérissées par une évolution à la hausse, tandis que l'indice AMO a une évolution à la baisse(réfroidissement) et vice-versa.

L'évolution décennale de l'indice pluviométrique Nord-Congo (CP3) et celle de l'indice AMO (figure 52c), montre qu' au cours de la période 1950-1960, les précipitations de la CP3 connaissent une hausse qui est synchronne avec le rechauffement de l'AMO. Pendant les décennies 1970, 1980, les précipitations de la CP3 connaissent une baisse synchrone avec le réfroidissement de l'AMO. Les décennies 1990 et 2000 par contre sont caractérisées par une évolution en opposition de phase. Les précipitations de la CP3 connaissent une baisse tandis que l'indice AMO connaît un réchauffement.



(a)



(b)



(c)

Figure 52: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice AMO, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100

5.1.1.2. Comparaison entre l'évolution décennale de l'indice océanique SOI et les indices pluviométriques Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3)

L'évolution décennale comparée de l'indice SOI et les indices pluviométriques Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) reprèssentée par la figure 53, montre que :

- l'indice SOI et l'indice pluviométrique Sud-Congo(figure 53a) ont une évolution en opposition de phase au cours de la décennie 1950. En effet, les précipitations de la CP1 sont à la hausse tandis que l'indice SOI est à la hausse. Par contre, les décennies 1960, 1970, 1980, 1990 et 2000, traduisent une évolution en phase entre les précipitations de la CP1 et l'indice SOI. En effet, soient les précipitations sont la hausse et l'indice SOI est à la baisse(1960, 1980,1990 et 2000), soeint les précipitations sont à la baisse et l'indice SOI à la hausse(1970);

- l'évolution décennale de l'indice climatique SOI et de l'indice pluviométrique Centre-Congo(figure 53b), indique une opposition de phase durant les decennies 1950, 1970, 1990 et 2000. La hausse des précipitations s'oppose à la hausse de l'indice SOI(1950,1970) et la baisse des précipitations est en opposition avec la baisse de l'indice SOI (1990, 2000). Cependant durant la decennie 1960, l'indice Centre-Congo a une évolution en phase avec l'SOI. La hausse des précipitations correspond à la baisse de l'SOI ;

- l'indice SOI et de l'indice pluviométrique Nord-Congo(figure 53c) révèlent une évolution decennale similaire durant les decennies 1960 et 1970. Notons cependant une exception au cours des décennies 1950, 1980, 1990 et 2000 qui marquent une opposition de phase entre la hausse des précipitations la CP3 et la hausse de l'indice SOI(1950) et entre la baisse des précipitations de la CP3 et la baisse de l'indice SOI(1980, 1990 et 2000).



(a)



(b)



Figure 53: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice SOI, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100

5.1.1.3. Comparaison entre l'évolution décennale de l'indice Nino3.4 et les indices pluviométriques Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3)

L'évolution décennale comparée de Nino3.4 et les indices pluviométriques Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) à l'échelle annuelle (figure 54), montre que :

- durant de la décennie 1950, l'indice Nino3.4 est en opposition de phase avec les précipitations de la CP1(figure 54a). Les précipitations de la CP1 sont à la hausse, tandis que l'indice Nino3_4 est à la baisse (refroidissement). Les autres décennies ont une évolution synchrone entre les précipitations de la CP3 et l'indice Nino3.4. La hausse des précipitations est synchronne avec la hausse de Nino3.4(1960, 1980, 1990 et 2000) ou encore la baisse des précipitations est synchrone avec la baisse de Nino3.4(1970);
- l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP2(figure 54b) au cours des décennies 1960 et 1980 sont caractérisés par une évolution synchone, à savoir une évolution à la hausse des précipitations synchrone avec le réchauffement des températures de surface océanique. Les décennies 1950, 1970, 1990 et 2000 sont caractérisées par une évolution en opposition de phases entre les précipitations de la CP2 et l'indice Nino3_4. En effet, les précipitations de la CP2 sont à la hausse, tandis que l'indice Nino3_4 est à la baisse(1950, 1970); ou encore les précipitations sont à la baisse tandis que Nino3.4 est à la hausse(1990 et 2000);
- l'évolution de l'indice pluviométrique Nord-Congo et celle de l'indice Nino3_4(figure 54c) montrent une évolution en phase entre la hausse de l'indice Nord-Congo et la hausse de NINO3.4(1960) d'une part et d'autre part la baisse de l'indice Nino3_4 correspondant à la baisse de l'indice Nord-Congo (1970). Par contre, les decennies 1950,1980,1990 et 2000 révèlent une opposition de phase entre d'une part la hausse de la CP3 et la baisse de Nino3.4(1950) et d'autre part entre la



baisse des précipitations de l'indice Nord-Congo et la hausse de Nino3.4 (1980, 1990





(b)



Figure 54: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice Nino3.4, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100

5.1.1.4. Comparaison entre l'évolution décennale de l'indice NAO et les indices pluviométriques Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3)

L'évolution décennale comparée de l'indice NAO et des indices pluviométriques Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) (figure 55), indique :

- l'indice NAO et des précipitations de la CP1 au cours des décennies 1950 et 1960 ont une évolution synchrone. Les précipitations sont à la hausse et l'indice NAO est à la baisse. Au cours de la décennie 1970, les précipitations de la CP1 ont une évolution à la baisse en opposition avec la baisse et l'indice NAO. De meme, les décennies 1980, 1990 et 2000 sont caractérisées par une évolution en opposition de phase entre la hausse des précipitations de la CP1 et celle de l'indice NAO ;
- l'indice NAO et les précipitations de la CP2 ont une évolution en phase généralisée sur l'ensemble des decennies, exception pour la decennie 1980. En effet, la hausse des précipitations correspond à la baisse de la NAO(1950, 1960, 1970), et la baisse des précipitations correspond à la hausse de la NAO(1990 et 2000) ;
- l'indice NAO et les précipitations de la CP3 ont une évolution presque semblable à celle de la NAO et les précipitations de la CP2. La nuance se situe au niveau de la décennie 1970, qui illustre une baisse des précipitations en opposition avec la baisse de la NAO. Les décennies 1950, 1960, 1980 et 2000 montrent par contre une évolution en phases entre la NAO et les précipitations de la CP3. En effet, les précipitations sont à la baisse et l'indice NAO est à la hausse(1990,2000), ou encore les précipitations sont à la hausse et l'indice NAO est à la baisse(1950, 1960).



(a)







Figure 55: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice NAO, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100

5.1.2. Comparaison entre l'évolution décennale des indices océaniques et de l'évolution des indices pluviométriques du Congo à l'échelle saisonnière

Afin d'apprécier l'influence de l'océan sur la variabilité pluviométrique du Congo, une comparaison de l'évolution décennale des indices océaniques (AMO, NAO, SOI et NINO3.4) et des indices pluviométriques (ISC : Indice Sud Congo, ICC : Indice Centre Congo et INC : Indice Centre Congo) au pas de saisonnier sera faite durant les saisons (JF, DJF, MAM, JJA, JJAS, SON et OND).

5.1.2.1. Evolution décennale comparée de l'indice AMO avec les indices pluviométriques pendant la saison JF et DJF

L'évolution décennale comparée de l'indice AMO et les indices pluviométriques Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) au cours de la saison JF et DJF (figure 56), illustre que :

- l'indice AMO et les précipitations de la CP1 ont une évolution décennale synchrone au cours des décennies 1960, 1970 et 1990. En effet, la hausse précipitations est synchrone au réchauffement et/ou la baisse des précipitations est en phase avec le réfroidissement de l'indice AMO. Cependant, au cours des décennies 1950, 1980 et 2000, on note une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP1 et l'indice AMO. Tantôt les précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice AMO est à la hausse (decennie 1950), tantôt les précipitations sont à la hausse tandis que l'indice AMO est à la baisse (decennie 1980) ;
- l'indice AMO et les précipitations de la CP2 montre que pendant les décennies 1950, 1970, 1980 et 2000, les précipitations sont en opposition de phase avec l'évolution de l'indice AMO. Les précipitations sont tantôt à la baisse, tandis que l'indice AMO est à la hausse (cas des décennies 1950 et 2000), tantôt les précipitations sont à la hausse, tandis que l'indice AMO est à la baisse (cas des décennies 1970 et 1980).



(a)







Figure 56: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice AMO pendant JF et DJF, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100

Pendant les décennies 1960 et 1990, les précipitations de la CP2 ont une évolution décennale synchrone avec celle de l'indice AMO. La hausse des précipitations est synchrone avec le réchauffement de l'indice AMO, ou encore la baisse des précipitations est synchrone avec le refroidissement de l'indice AMO; l'indice AMO et les précipitations de la CP3 au cours des saisons JF et DJF, montre que pendant les décennies 1950, 1960, 1970, 1980 et 1990, les précipitations est d'une part synchrone avec le réchauffement de l'indice AMO (1950, 1960), la baisse des précipitations est d'autre part synchrone avec le refroidissement de l'indice AMO (1970, 1980, 1990). Au cours de la décennie 2000, les précipitations de la CP3 montrent une évolution décennale en opposition avec l'évolution de l'indice AMO. En effet, la baisse des précipitations est en opposition avec le réchauffement de l'indice AMO.

5.1.2.2. Evolution décennale comparée de l'indice Nino3_4 et les indices pluviométriques pendant les saisons JF et DJF

L'évolution décennale comparée de l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP1, CP2 en JF et CP3 au cours de la saison DJF (figure 57), révèle que :

- l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP1 pendant les décennies 1950, 1970, et 2000, ont une évolution décennale en opposition de phase. Les précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice Nino3_4 est au réchauffement (cas des décennies 1950, 1970 et 2000). Pendant les décennies 1960 et 1980, les précipitations ont une évolution synchrone à celle de l'indice Nino3_4. En effet, la hausse les précipitations est en relation positive avec le réchauffement de l'indice Nino3_4;
- l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP2 durant les décennies 1950, 1990, et 2000, traduisent une évolution décennale en opposition de phase. Les précipitations sont à la baisse, par contre l'indice Nino3_4 est à la hausse (décennies 1950, 1990 et 2000).



(a)





Figure 57: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice Nino3.4 pendant JF et DJF, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100

- Au cours des décennies 1960, 1970 et 1980, les précipitations ont une évolution synchrone à celle de l'indice Nino3_4. En effet, durant ces décennies, les précipitations sont à la hausse et l'indice Nino3_4 est aussi à la hausse (réchauffement);
- l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP3 pendant les décennies 1950 et 1960 ont une évolution décennale synchrone. Les précipitations sont à la hausse et l'indice Nino3_4 est aussi à la hausse. Au cours des décennies 1970, 1980, 1990 et 2000, les précipitations ont une évolution en opposition de phase avec celle de l'indice Nino3_4. En effet, les précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice Nino3_4 est à la hausse (réchauffement).

5.1.2.3. Evolution décennale comparée de l'indice NAO aux indices pluviométriques pendant la saison JF et DJF

L'évolution décennale comparée de l'indice NAO aux indices des précipitations de la CP1, CP2 pendant la saison JF et CP3 durant de la saison DJF (figure 58), traduit que :

 l'indice NAO et les précipitations de la CP1 pendant les décennies 1950, 1960,1990 et 2000, ont une évolution décennale en phase.

L'évolution à la hausse précipitations de la décennie (1960) correspond à la baisse tandis de l'indice NAO qui est à la hausse, ou encore la baisse des précipitations des décennies (1950, 1990 et 2000) correspond à la hausse et l'indice NAO. Au cours des décennies 1970 et 1980, les précipitations ont une évolution non synchrone à celle de l'indice NAO. En effet, la baisse des précipitations de la décennie 1970 est opposée à la baisse de la NAO, de même, la hausse des précipitations de la décennie est opposée à la hausse de la NAO ;



(a)







Figure 58: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice NAO pendant JF et DJF, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100

- l'indice NAO et les précipitations de la CP2 pendant les décennies 1950, 1960,1970,
 1990 et 2000, ont une évolution décennale en phase. En effet, d'une part, la baisse des
- précipitations des décennies 1950, 1990 et 2000 correspond à la hausse de l'indice NAO et d'autre part, la hausse des précipitations de la décennie 1990 correspond à la baisse de la NAO. Pendant la décennie 1980, les précipitations ont une évolution non synchrone à celle de l'indice NAO. En effet, les précipitations sont à la hausse, tandis que l'indice NAO est aussi à la hausse ;
- l'indice NAO et les précipitations de la CP3 durant les décennies 1960,1980, 1990 et 2000, ont une évolution décennale en phase. Les précipitations sont tantôt à la baisse, et l'indice NAO est à la hausse (décennies 1980, 1990 et 2000) ou encore, les précipitations sont tantôt à la hausse et l'indice NAO est à la baisse (décennie 1960). Pendant les décennies 1950 et 1970, les précipitations ont une évolution en opposition de phase avec celle de l'indice NAO. En effet, les précipitations sont à la hausse tandis que l'indice NAO est aussi à la hausse (décennie 1950) ou encore, les précipitations sont à la baisse et l'indice NAO.

5.1.2.4. Evolution décennale comparée de l'indice SOI aux indices pluviométriques pendant la saison JF et DJF

L'évolution décennale comparée de l'indice SOI aux indices des précipitations de la CP1, CP2 pendant la saison JF et CP3 au cours de la saison DJF (figure 59), indique que :

 l'indice SOI et les précipitations de la CP1 pendant les décennies 1970, 1980 et 2000, ont une évolution décennale en phase.

D'une part, la baisse des précipitations des décennies 1970 et 2000 correspond à la hausse de l'indice SOI, et d'autre part, la hausse des précipitations de la décennie 1980 correspond à la hausse et l'indice SOI. Au cours des décennies 1950, 1960 et 1990, les précipitations ont une évolution non synchrone à celle de l'indice SOI. En

effet, durant les décennies 1950 et 1990, les précipitations sont à la baisse et l'indice NAO est également à la baisse. De même, durant la décennie 1960, les précipitations sont à la hausse et l'indice SOI est aussi à la hausse ;

- l'indice SOI et les précipitations de la CP2 pendant les décennies 1950, 1960, 1970 et 1990, ont une évolution décennale en opposition de phase. Les précipitations sont à la baisse et l'indice SOI est aussi à la baisse (décennies et 1990), ou encore les précipitations sont à la hausse et l'indice SOI est aussi à la hausse (décennies 1960 et 1970). Au cours des décennies 1980 et 2000, les précipitations de la CP2 et l'indice NAO ont une évolution en phase. La hausse des précipitations de la décennie 1980 correspond à la baisse de l'indice NAO et la baisse des précipitations de la décennie 2000 est en phase avec la hausse de la NAO ;
- l'indice SOI et les précipitations de la CP3 pendant les décennies 1950, 1970 et 2000, ont une évolution en phase. Les précipitations sont tantôt à la baisse, et l'indice SOI est à la hausse (décennies 1970 et 2000), les précipitations sont tantôt à la hausse et l'indice SOI est à la baisse (décennie 1950). Par contre, pendant les décennies 1960, 1980 et 1990, les précipitations ont une évolution non synchrone à celle de l'indice SOI. Durant la décennie 1960, la hausse des précipitations est non synchrone avec la hausse de l'indice SOI et pendant les décennies 1980 et 1990, la baisse des précipitations est opposée à la baisse de l'indice SOI.











Figure 59: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice SOI pendant JF et DJF, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100

5.1.2.2. Comparaison entre l'évolution décennale des indices océaniques et de l'évolution des indices pluviométriques du Congo durant la saison MAM

5.1.2.2.1. Evolution décennale comparée de l'indice AMO aux indices pluviométriques pendant la saison MAM

L'évolution décennale comparée de l'indice AMO aux indices pluviométriques Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) au cours de la saison MAM (figure 60), montre que :

 l'indice AMO et les précipitations de la CP1 ont une évolution décennale synchrone au cours des décennies 1950, 1960 et 1970.

En effet, la hausse ou la baisse des précipitations est synchrone au réchauffement ou au réfroidissemnt de l'indice AMO. Cependant, pendant les décennies 1980, 1990 et 2000, on note une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP1 et l'indice AMO, Tantôt les précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice AMO est à la hausse(decennies 1990 et 2000), tantôt les précipitations sont à la hausse tandis que l'indice AMO est à la baisse(decennie 1980) ;

- l'indice AMO et les précipitations de la CP2 ont une évolution décennale synchrone durant des décennies 1950, 1960, 1970, 1980 et 1990. En effet, la hausse ou la baisse des précipitations est synchrone au rechauffement ou au refroidissemnt de l'indice AMO. Cependant, pendant la décennie 2000, on note une évolution en opposition entre les précipitations de la CP1 et l'indice AMO. Les précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice AMO est à la hausse ;
- l'indice AMO et les précipitations de la CP3 ont une évolution décennale synchrone au cours des décennies 1950, 1960, 1970 et 1980. Tandis que durant les decennies 1990 et 2000, on note une évolution en opposition de phase.







(b)



Figure 60: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice MAO pendant MAM, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100

Par contre, au cours des décennies 1990 et 2000, on note une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP3 et l'indice AMO. En effet, pendant la décennie 1990, les précipitations sont à la hausse, tandis que l'indice AMO est à la baisse, par contre, durant la décennie 2000, les précipitations sont à la baisse tandis que l'indice AMO est à la hausse.

En effet, la hausse des précipitations des decennies 1950, 1960 est synchrone au rechauffement de l'indice AMO. De meme, la baisse des précipitations des decennies 1970 et 1980 est en phase avec le refroidissement de l'AMO. Par contre, au cours des décennies 1990 et 2000, on note une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP3 et l'indice AMO. En effet, pendant la décennie 1990, les précipitations sont à la hausse, tandis que l'indice AMO est à la baisse, par contre, durant la décennie 2000, les précipitations sont à la baisse tandis que l'indice AMO est à la baisse.

5.1.2.2.2. Evolution décennale comparée de l'indice SOI aux indices pluviométriques pendant la saison MAM

L'évolution décennale comparée de l'indice SOI aux indices pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) au cours de la saison MAM (figure 61), indique que :

l'indice SOI et les précipitations de la CP1 ont une évolution décennale non synchrone au cours des décennies 1950, 1970, 1990 et 2000. En effet, la hausse des précipitations est non synchrone à la hausse de l'indice SOI (décennies 1950) et la baisse des précipitations est en opposition de phase avec le refroidissement de l'indice SOI (decennies 1990 et 2000). Par contre, durant les décennies 1960, et 1980, on note une évolution en phase entre les précipitations de la CP1 et l'indice SOI. Les précipitations sont à la hausse, et l'indice SOI est à la baisse;











(c)

Figure 61: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice SOI pendant MAM, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100

- l'indice SOI et les précipitations de la CP2 ont une évolution décennale non synchrone durant les décennies 1950, 1970, 1980 et 2000. En effet, la hausse des précipitations est non synchrone à la hausse de la SOI (décennie 1950) et la baisse des précipitations est en opposition à la baisse de l'indice SOI (décennies 1970, 1980 et 2000). Durant les décennies 1960, et 1990, l'évolution des précipitations de la CP2 est en phase avec celle de l'indice SOI. Les précipitations sont à la hausse et l'indice SOI est à la baisse ;
- l'indice SOI et les précipitations de la CP3 ont une évolution décennale synchrone au cours de la décennie 1960. En effet, la hausse des précipitations est synchrone avec le la baisse de l'indice AMO (décennie 1960). Cependant, durant les décennie 1950, 1970, 1980, 1990 et 2000, les précipitations de la CP3 et l'indice SOI ont une évolution en opposition de phase. Les précipitations sont à la hausse tandis que l'indice SOI est à la hausse(décennie 1950) ; et l'indice SOI est à la baisse tandis que les précipitations sont aussi à la baisse(décennies 1980, 1990 et 2000).

5.1.2.2.3. Evolution décennale comparée de l'indice Nino3_4 aux indices pluviométriques pendant la saison MAM

L'évolution décennale comparée de l'indice Nino3_4 aux indices pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) au cours de la saison MAM (figure 62), révèle que :

l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP1 ont une évolution décennale synchrone au cours des décennies 1970, 1980 et 2000.
En effet, la hausse des précipitations est synchrone au réchauffement de l'indice Nino3_4 (décennie 1980) et la baisse des précipitations est en phase avec le refroidissemnt de l'indice Nino3_4 (1970 et 2000).

Il est à noter que durant les décennies 1950, 1960, et 1990, on note une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP1 et l'indice Nino3_4. D'une part, les précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice Nino3_4 est à la hausse(decennie 1990), et d'autre part, les précipitations sont à la hausse tandis que l'indice Nino3_4 est à la baisse (decennies 1950, 1960) ;

l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP2 ont une évolution décennale synchrone au cours des décennies 1970, 1990 et 2000. En effet, la hausse des précipitations est synchrone au réchauffement de l'indice Nino3_4 (décennie 1990) et la baisse des précipitations est en phase avec le refroidissement de l'indice Nino3_4 (décennies 1970 et 2000).

Notons cependant que durant les décennies 1950, 1960, et 1980, une évolution en opposition de phase s' éffectue entre les précipitations de la CP2 et l'indice Nino3_4. Tantôt les précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice Nino3_4 est à la hausse (décennie 1980), tantôt les précipitations sont à la hausse tandis que l'indice Nino3_4 est à la baisse (décennies 1950, 1960) ;

- l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP3 ont une évolution décennale synchrone au cours des décennies 1970 et 2000. En effet, la baisse des précipitations est synchrone avec le refroidissemnt de l'indice Nino3_4. Par contre, pendant les décennies 1950,1960,1980 et 1990, les précipitations de la CP3 et l'indice Nino3_4 traduisent une évolution en opposition de phase. Les précipitations sont à la hausse durant les décennies 1950 et 1960, tandis que l'indice Nino3_4 est à la baisse. Par contre, les précipitations sont à la baisse durant les decennies 1950 et 1960, tandis que l'indice Nino3_4 est à la baisse.











Figure 62 : Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice Nino3.4 pendant MAM, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100.

5.1.2.2.4. Evolution décennale comparée de l'indice NAO aux indices pluviométriques pendant la saison MAM

L'évolution décennale comparée de l'indice **NAO** aux indices pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) au cours de la saison MAM (figure 63), montre que :

- l'indice NAO et les précipitations de la CP1 ont une évolution décennale synchrone au cours des décennies 1950,1960, 1970 et 2000. En effet, la hausse des précipitations durant les decennies 1950 et 1960 est synchrone avec la baisse de l'indice NAO et la baisse des précipitations durant les décennies 1990 et 2000 est en phase avec la hausse de l'indice NAO. Pendant les décennies 1970 et 1980, on note une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP1 et l'indice NAO. Tantôt les précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice NAO est à la baisse(décennies 1970), tantôt les précipitations sont à la hausse tandis que l'indice NAO est à la hausse (1980) ;
- l'indice NAO et les précipitations de la CP2 ont une évolution décennale non synchrone au cours des décennies 1970 et 1990. La baisse des précipitations est non synchrone avec la baisse de l'indice NAO (decennie 1970) et la hausse des précipitations est également non synchrone avec la hausse de l'indice NAO (décennie 1990). Notons cependant que les décennies 1950, 1960, 1980 et 2000, traduisent une évolution en phase entre les précipitations de la CP2 et l'indice NAO. Tantôt les précipitations sont à la baisse, et l'indice NAO est à la hausse (cas des decennies 1980 et 2000), tantôt les précipitations sont à la hausse et l'indice NAO est à la baisse(cas des decennies 1950 et 1960) ;
- l'indice NAO et les précipitations de la CP3 montrent une évolution décennale non synchrone pendant la décennie 1970. En effet, la baisse des précipitations est non synchrone avec la baisse de l'indice NAO. Par contre, durant les décennies 1950,

1960,1980, 1990 et 2000, les précipitations de la CP3 accusent une évolution en phase avec celle de l'indice NAO. D'une part, les précipitations sont à la baisse, et l'indice NAO est à la hausse (décennies 1980 et 1990), d'autre part, les précipitations sont à la hausse et l'indice NAO est à la baisse(décennies 1950 et 1960).







Figure 63: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice NAO pendant MAM, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100

5.1.2.3. Comparaison entre l'évolution décennale des indices océaniques et de l'évolution des indices pluviométriques du Congo durant les saisons JJA et JJAS

5.1.2.3.1. Evolution décennale comparée de l'indice AMO aux indices pluviométriques pendant les saisons JJA et JJAS

L'évolution décennale comparée de l'indice AMO aux indices pluviométriques Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) au cours de la saison JJA et JJAS (figure 64), traduit que :

- l'indice AMO et les précipitations de la CP1 ont une évolution décennale en phase au cours de la décennie 1970. En effet, la baisse des précipitations est synchrone avec le refroidissement de l'indice AMO. Cependant, au cours des décennies 1950, 1960, 1980, 1990 et 2000, on note une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP1 et l'indice AMO. Tantôt les précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice AMO est à la hausse (cas des décennies 1950, 1990 et 2000), tantôt les précipitations sont à la hausse tandis que l'indice AMO est à la baisse (cas des décennies 1950, 1990 et 2000);
- l'indice AMO et les précipitations de la CP2 ont une évolution décennale en opposition de phase avec les précipitations de la CP2 durant les six decennies. D'une part, les précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice AMO est à la hausse (décennies 1950, 1990 et 2000), d'autre part, les précipitations sont à la baisse tandis que l'indice AMO est à la baisse (décennies 1960, 1970,1980) ;
- l'indice AMO et les précipitations de la CP3 durant la saison JJA ont une évolution décennale en phase pendant les décennies 1950, 1970, 1980 et 1990. En effet, la baisse des précipitations est synchrone avec le refroidissement de l'indice AMO et vice versa. Cependant, au cours des décennies 1960, et 2000, une évolution en

opposition de phase se fait remarquer entre les précipitations de la CP3 et l'indice AMO. En effet, les précipitations sont d'une part à la baisse, tandis que l'indice AMO est à la hausse (décennie 2000), d'autre part les précipitations sont à la hausse tandis que l'indice AMO est à la baisse(décennie 1960).





Figure 64: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice MAO pendant JJA et JJAS, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100

5.1.2.3.2. Evolution décennale comparée de l'indice SOI aux indices pluviométriques pendant la saison JJA et JJAS

L'évolution décennale comparée de l'indice SOI aux indices pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) au cours de la saison JJA et JJAS (figure 65), montre que :

- l'indice SOI et les précipitations de la CP1 ont une évolution décennale en phase durant les décennies 1990 et 2000. En effet, la baisse des précipitations est synchrone avec la baisse de l'indice SOI. Cependant, pendant les décennies 1950, 1960, 1970 et 1980, il s'établit une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP1 et l'indice SOI. Soit les précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice SOI est à la hausse(decennies 1950, 1970), soit les précipitations sont à la hausse tandis que l'indice SOI est à la baisse (décennies 1960 et 1980) ;
- l'indice SOI et les précipitations de la CP2 ont une évolution décennale synchrone au cours des décennies 1970, 1990 et 2000. En effet, d'une part la baisse des précipitations est en phase avec la baisse de l'indice SOI (décennies 1990 et 2000), et d'autre part la hausse des précipitations est en phase avec la hausse de l'indice SOI (décennie 1970). Cependant, au cours des décennies 1950, 1960 et 1980, on note une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP2 et l'indice SOI. Tantôt les précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice SOI est à la hausse(décennies 1950), tantôt les précipitations sont à la hausse tandis que l'indice SOI est à la baisse(décennies 1960, 1980) ;
- l'indice SOI et les précipitations de la CP3 ont une évolution décennale synchrone au cours des décennies 1950 et 2000. En effet, la baisse des précipitations est en phase avec la baisse de l'indice SOI (décennie 2000), de même que l'augmentation des précipitations est en phase avec la hausse de l'indice SOI (décennie 1950). Cependant, au cours des décennies 1960, 1970 et 1990, on note une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP3 et l'indice SOI. Tantôt les

précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice SOI est à la hausse (cas de la décennie 1970), tantôt les précipitations sont à la hausse tandis que l'indice SOI est à la baisse(cas des décennies 1960, 1990).



Figure 65: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice SOI pendant JJA et JJAS, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100.

5.1.2.3.3. Evolution décennale comparée de l'indice Nino3_4 aux indices pluviométriques pendant la saison JJA et JJAS

L'évolution décennale comparée de l'indice Nino3_4 aux indices pluviométriques Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) au cours de la saison JJAS (figure 66), révèle que :

- l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP1 ont une évolution décennale synchrone au cours des décennies 1950, 1960, 1970 et 1980. En effet, la baisse des précipitations est d'une part synchrone avec le refroidissemnt de l'indice Nino3_4 (décennies 1950, 1970) et d'autre part, la hausse des précipitations est en phase avec le réchauffement de l'indice Nino3_4 (décennies 1960, 1980). Cependant, au cours des décennies 1990 et 2000, on note une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP1 et l'indice Nino3_4. Les précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice Nino3_4 est à la hausse ;
- l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP2 ont une évolution décennale synchrone durant les décennie 1950 et 1960. En effet, d'une part la baisse des précipitations est synchrone avec le refroidissement de l'indice Nino3_4 (décennie 1950) et d'autre part, la hausse des précipitations est en phase avec le réchauffement de l'indice Nino 3_4 (décennies 1960 1980). Cependant, au cours des décennies 1970, 1990 et 2000, on note une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP2 et l'indice Nino3_4. Tantôt les précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice Nino3_4 est à la hausse (décennies 1990, 2000), tantot les précipitations sont à la hausse tandis que l'indice Nino3_4 est à la baisse (décennies 1970);
- l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP3 ont une évolution décennale synchrone au cours des décennies 1960, 1970 et 1990. En effet, d'une part, la baisse des précipitations est en phase avec le réfroidissement de l'indice Nino3_4 (décennie 1970) et d'autre part, la hausse des précipitations est synchrone avec le réchauffement de l'indice Nino3_4 (décennies 1960, 1990). Cependant, durant les décennies 1950, 1980 et 2000, on note une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP3 et l'indice Nino3_4. Les précipitations sont à la baisse durant les decennies 178





(b)



Figure 66: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice Nino3.4 pendant JJA et JJAS, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100

5.1.2.3.4. Evolution décennale comparée de l'indice NAO aux indices pluviométriques pendant la saison JJA et JJAS

L'évolution décennale comparée de l'indice NAO aux indices pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) au cours de la saison JJAS(figure 67), traduit que :

- l'indice NAO et les précipitations de la CP1 ont une évolution décennale non synchrone au cours des décennies 1950, 1990 et 2000. En effet, la baisse des précipitations est non synchrone avec la baisse de l'indice NAO. Cependant, au cours des décennies 1960, 1970 et 1980, on note une évolution en phase entre les précipitations de la CP1 et l'indice NAO. Tantôt les précipitations sont à la baisse et l'indice NAO est à la hausse(cas de la décennie 1970), tantôt les précipitations sont à la hausse et l'indice NAO est à la baisse (cas des décennies 1960, 1980);
- l'indice NAO et les précipitations de la CP2 ont une évolution décennale en opposition de phase au cours des décennies 1950, 1970, 1990 et 2000. En effet, la baisse des précipitations des decennies 1950, 1990 et 2000 est opposée à la baisse de l'indice NAO et la hausse des précipitations durant la décennie 1970 est non synchrone avec le la hausse de l'indice NAO. Cependant, au cours des décennies 1960 et 1980, on note une évolution en phase entre les précipitations de la CP2 et l'indice NAO. Les précipitations sont à la hausse et l'indice NAO est à la baisse ;
- l'indice NAO et les précipitations de la CP3 durant la saison JJA ont une évolution décennale non synchrone au cours des décennies 1960, 1980 et 2000. En effet, la baisse des précipitations est non synchrone avec la baisse de l'indice NAO (décennie 1980 et 2000) et la hausse des précipitations de la décennie 1960 est non synchrone à la hausse de l'indice NAO. Cependant, au cours des décennies 1950, 1970 et 1990, on note une évolution en phase entre les précipitations de la CP3 et l'indice NAO. D'un coté les précipitations sont à la hausse, et l'indice NAO est à la baisse (décennies
1950 et 1990) et de l'autre coté les précipitations sont à la baisse et l'indice NAO est



à la hausse (décennie 1970).



(a)





Figure 67: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice NAO pendant JJA et JJAS, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100.

5.1.2.4. Comparaison entre l'évolution décennale des océaniques et l'évolution des indices pluviométriques du Congo durant la Saison SON et OND

5.1.2.4.1. Evolution décennale comparée de l'indice AMO aux indices pluviométriques pendant les saisons SON et OND

L'évolution décennale comparée de l'indice AMO aux indices pluviométriques Sud-Congo (CP1) et Centre-Congo (CP2) durant la saison OND, et Nord-Congo (CP3) au cours de la saison SON(figure 68), montre que :

- l'indice AMO et les précipitations de la CP1 ont une évolution décennale synchrone au cours de la décennie 1970. En effet, la baisse des précipitations est synchrone avec le refroidissement de l'indice AMO. Cependant, au cours des décennies 1950, 1960, 1980, 1990 et 2000, on note une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP1 et l'indice AMO. Tantôt les précipitations sont à la baisse, tandis que l'indice AMO est à la hausse (décennies 1950, 2000), tantôt les précipitations sont à la hausse tandis que l'indice AMO est à la baisse (décennies 1950, 2000), tantôt les précipitations sont à la hausse tandis que l'indice AMO est à la baisse (décennies 1960, 1980, 1990);
- l'indice AMO et les précipitations de la CP2 ont une évolution décennale synchrone au cours des décennies 1950, 1960, 1980 et 1990. En effet, la baisse des précipitations est synchrone avec le refroidissement de l'AMO (décennies 1960, 1980 et 1990) et la hausse des précipitations est synchrone avec le rechauffement de l'indice AMO (décennie 1950). Cependant, au cours des décennies 1970 et 2000, on note une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP2 et l'indice AMO. D'une part, les précipitations sont à la hausse et l'indice AMO est à la baisse(decennie 1970) et d'autre part, les précipitations sont à la baisse et l'indice AMO est à la hausse(decennie 2000) ;











(c)

Figure 68: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice MAO pendant SON et OND, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100 - l'indice AMO et les précipitations de la CP3 pendant la saison SON, montrent une évolution décennale synchrone au cours des décennies 1950, 1960, 1970, 1980 et 1990. En effet, la baisse des précipitations des decennies 1960, 1970, 1980 et 1990 est synchrone au refroidissement de l'indice AMO et la hausse des précipitations de la decennie 1950 est synchrone avec le rechauffement de l'indice AMO. Par contre, au cours de la décennie 2000, on note une évolution en opposition de phase entre les précipitations de la CP3 et l'indice AMO. Les précipitations sont à la baisse tandis que l'indice AMO est à la hausse(réchauffement).

5.1.2.4.2. Evolution décennale comparée de l'indice SOI aux indices pluviométriques pendant les saisons SON et OND

L'évolution décennale comparée de l'indice SOI aux indices pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) au cours de la saison OND(figure 69), indique que :

- l'indice SOI et les précipitations de la CP1 ont une évolution décennale synchrone au cours de la période 1950-2009. En effet, d'une part les précipitations sont à la baisse et l'indice SOI est à la hausse (décennies 1950, 2000) et d'autre part, les précipitations sont à la hausse et l'indice SOI et à la baisse (décennies 1960, 1980 et 1990);
- l'indice SOI et les précipitations de la CP2 montrent une évolution décennale synchrone au cours de la décennie 2000. En effet, les précipitations de la CP2 durant la décennie 2000 sont à la baisse et l'indice SOI est à la hausse. Par contre, au cours des décennies 1950, 1960 1970 et 1990, les precipitations de la CP2 ont une évolution non synchrone avec l'indice SOI;



(a)





Figure 69: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice SOI pendant SON et OND, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100

- l'indice SOI et les précipitations de la CP3 ont une évolution décennale non synchrone au cours des décennies 1950, 1960, 1980 et 1990. En effet, l' évolution à la baisse des précipitations de la CP3 des decennies 1960, 1980 et 1990 est en opposition de phase avec la baisse de l'indice SOI et l'évolution à la hausse des précipitations des decennies 1950 est en opposition de phase avec la hausse de l'indice SOI. Par contre, au cours des décennies 1970 et 2000, les precipitations ont une évolution synchronne avec celle de l'indice SOI. L'évolution à la baisse des précipitations de la CP3 au cours des décennie 1970 et 2000 est en phase avec la hausse de l'indice SOI.

5.1.2.4.3. Evolution décennale comparée de l'indice Nino3_4 aux indices pluviométriques pendant les saisons SON et OND

L'évolution décennale comparée de l'indice Nino3_4 aux indices pluviométriques Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) au cours de la saison SON et OND (figure 70), traduit que :

l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP1 ont une évolution décennale non synchrone au cours de la décennie 2000. Durant cette décennie, les précipitations de la CP1 sont à la baisse tandis que l'indice Nino3_4 est au réchauffement ;
Durant les decennies 1950, 1960, 1970, 1980 et 1990, les précipitations de la CP1 ont une évolution synhrone avec l'évolution de l'indice Nino3_4. Au cours des décennies 1950, 1970, la baisse des précipitations de la CP1 est en phase avec le refoidissement(baisse de l'indice Nino3_4) et au cours des décennies 1960, 1980 et 1990, la hausse des précipitations de la CP1 est en phase avec le refoidissement (hausse de l'indice Nino3_4) ;



(a)







Figure 70: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice Nino3.4 pendant SON et OND, période 1950-2005. Les données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100.

- l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP2 ont une évolution décennale non synchrone au cours de la période 1950-2009. En effet, l'évolution à la baisse des précipitations des décennies 1960, 1980, 1990 et 2000 est en opposition de phase avec la hausse (réchauffement) de l'indice Nino3_4. Par contre, l'évolution à la hausse des précipitations des décennies 1950, 1970 est en opposition de phase avec le refroidissement (baisse) de l'indice Nino3_4;
- l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP3 montrent une évolution décennale non synchrone au cours des décennies 1950, 1960, 1980, 1990 et 2000. En effet, l' évolution à la hausse des précipitations de decennie 1950, est en opposition de phase avec la baisse (réfroidissement) de l'indice Nino3_4. De meme, l'évolution à la baisse des précipitations de la CP3 durant les decennies 1960, 1980, 1990 et 2000 est en opposition de phase avec le refroidissement (baisse) de l'indice Nino3.4.

5.1.2.4.4. Evolution décennale comparée de l'indice NAO aux indices pluviométriques pendant la saison OND

L'évolution décennale comparée de l'indice NAO aux indices pluviométriques Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3) au cours de la saison SON et OND (figure 71), montre que :

l'indice NAO et les précipitations de la CP1 ont une évolution décennale non synchrone au cours des décennies 1970, 1980, 1990 et 2000. En effet, la baisse des précipitations de la CP1 au cours de la decennie 2000 est en opposition de phase avec la baisse de l'indice NAO et la hausse des précipitations durant les décennies 1970, 1980 et 1990 est en opposition de phase avec la hausse de l'indice NAO. Cependant, au cours des décennies 1950, 1960 les précipitations de la CP1 ont une évolution en phase avec l'indice NAO. En effet, durant la décennie 1950, les précipitations de la CP1 ont une évolution en phase avec l'indice NAO. En effet, durant la décennie 1950, les précipitations de la CP1



CP1 sont à la baisse et l'indice NAO est à la hausse et pendant la décennie 1960, les précipitations de la CP1 sont à la hausse et l'indice NAO est à la baisse;

189

Figure 71: Evolution décennale comparée entre l'indice pluviométrique Sud-Congo (CP1), Centre-Congo(CP2), et Nord-Congo (CP3) et l'indice NAO pendant SON et OND, période 1950-2005. Les

données sont des anomalies standardisées par rapport à la moyenne (1950-2005), multipliées par 100.

(c)

l'indice NAO et les précipitations de la CP2 ont une évolution décennale non synchrone au cours des décennies 1950, 1960, 1970 et 2000. En effet, la baisse de l'indice NAO est non synhrone avec la baisse des précipitations durant les décennies 1960 et 2000. La hausse de l'indice NAO pendant les decennies 1950, 1970 est également en opposition de phase avec la hausse des précipitations.

Notons cependant qu'au cours de la décennie 1990, les précipitations de la CP2 ont une évolution en phase avec celle de l'indice NAO. Les précipitations sont à la baisse et l'indice NAO est à la hausse ;

 l'indice NAO et les précipitations de la CP3 ont une évolution décennale synchrone non durant les décennies 1950, 1960, 1980 et 2000. En effet, la baisse de l'indice NAO durant les décennies 1960, 1980 et 2000 est non synhrone avec la baisse des précipitations de la CP3. De même, durant la décennie 1950, l'évolution à la hausse des précipitations est en opposition de phase avec la hausse de l'indice NAO ;

Par contre, au cours des décennies 1970 et 1990, les précipitations de la CP1 et l'indice NAO montrent une évolution en phase. Les précipitations sont à la baisse, et l'indice NAO est à la hausse.

5.2. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques

Pour déterminer le degré de relation des indices océaniques (AMO, NAO, SOI et NINO3.4) et des indices pluviométriques (ISC : Indice Sud Congo, ICC : Indice Centre Congo et INC : Indice Centre Congo), des corrélations canoniques seront calculées entre trois périodes : 1950-2005, 1950-1970 et 1971-2005 au premier abord au pas annuel et second abord au pas de temps saisonnier(JF, DJF, MAM, JJA, JJAS, SON et OND).

5.2.1. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques à l'échelle annuelle **de** 1950 à 2005

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations du Congo et les indices océaniques à l'échelle annuelle (tableau 3), montre les résultats suivants : les corrélations sont non significatives entre la NAO, l'AMO, l'SOI et les précipitations des trois composantes principales (CP1, CP2, CP3). Par contre, les corrélations entre Nino3.4 et les précipitations de la deuxième composante principale (CP2) sont positives et significatives (26%) et négatives et significatives avec les précipitations de la troisième composante principale(CP3) (- 27%).

En définitive, les résultats ci-dessus traduisent : l'implication de la hausse ou de la baisse de Nino3.4 sur la hausse ou la baisse des précipitations annuelles de la CP3 ; l'implication directe de la baisse ou la hausse de l'SOI sur la hausse ou la baisse des précipitations annuelles de la CP3 durant les saisons JF et DJF. En outre, l'implication directe de la NAO, la SOI, Nino3.4 et l'AMO sur la baisse ou la hausse des précipitations de la CP1, et la CP2 n'est pas prouvée.

Corrélations entre les composantes principales							
	CPI	CP2	CP3				
СРІ	1.000						
CP2	0.604	1.000					
CP3	0.019	0.342	1.000				
Co	orrélations entre les	s indices océaniques					
	NAO	NINO3_4	SOI	AMO			
NAO	1.000						
NINO3_4	-0.064	1.000					
SOI	-0.009	-0.921	1.000				
AMO	-0.306	0.083	-0.075	1.000			
Corréla	ations entre les com	posantes principales et les	indices océaniques				
	CPI	CP2	CP3				
NAO	0.068	-0.140	-0.235				
NINO3_4	-0.197	-0.131	-0.272				
SOI	0.141	0.103	0.263				
AMO	0.105	-0.115	0.133				

Tableau 3: Résultats des corrélations(R²) entre les indices océaniques et les indices pluviométriques à l'échelle annuelle

5.2.2. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques à l'échelle saisonnière

5.2.2.1. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques durant les saisons JF et DJF

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations du Congo et les indices océaniques pendant les saisons JF et DJF (tableau 4), montre des résultats suivants :

- l'indice AMO a des corrélations non significatives avec les précipitations de la CP1 et de la CP2. Par contre, l'indice AMO a une corrélation positive et significative avec la CP3 de l'ordre de 30%. Cette corrélation est jugée fortement significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman. Ces résultats traduisent que les précipitations de la première et la deuxième composante principale sont faiblement influencées par l'AMO. Par contre, les précipitations de la CP3 sont fortement influencées par l'AMO ;
- l'indice SOI a des corrélations non significatives avec la CP1 et la CP3. Cependant, il a une corrélation positive et significative avec la CP2 (25%).

- l'indice NAO a des corrélations non significatives avec les trois composantes principales (CP1, CP2, CP3);
- l'indice Nino3.4 a des corrélations non significatives avec les précipitations de la CP1 et la CP3. Par contre, il a une corrélation négative de l'ordre de 25% jugée moyennement significative avec la CP2 au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman.

Tableau4: Résultats des corrélations canoniques entre les indices océaniques et les indicespluviométriques pendant les saisons JF et DJF

Corrélations entre les composantes principales								
	CP1	CP2		CP3				
CP1	1.000							
CP2	0.512	1.000						
CP3	-0.137	0.173		1.000				
Corrélations entre les indices océaniques								
	AMO	SOI	NAO	NINO3_4				
AMO	1.000							
SOI	-0.039	1.000						
NAO	0.057	0.266	1.000					
NINO3_4	0.158	-0.871	-0.300	1.000				
Corrélatio	ns entre les composante	es principales et l	es indices océani	ques				
	CP1	CP2	CP3					
AMO	-0.073	-0.110	0.302					
SOI	-0.015	0.257	0.093					
NAO	0.114	0.138	-0.105					
NINO3_4	0.004	-0.251	-0.096					

Il convient de signaler à la lumière de ces résultats les faits suivants : la baisse ou la hausse des précipitations de JF et DJF de la CP2 est influencée par la hausse ou la baisse de SOI et de Nino3.4. De même, la baisse des précipitations de la CP3 est influencée par la baisse de l'AMO et la hausse des précipitations JF et DJF de la CP3 est influencée par la hausse de l'AMO.

5.2.2.2. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques durant la saison MAM

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations au Congo et les indices océaniques pendant la saison MAM (tableau 5), indique les résultats suivants :

- l'indice AMO a des corrélations non significatives avec les précipitations de la CP1 et de la CP2. Cependant, l'indice AMO entretient une corrélation positive et significative avec la CP3 de l'ordre de 26%. La corrélation est jugée significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman.
- l'indice SOI a des corrélations non significatives avec la CP1 et la CP2. Cependant,
 l'indice SOI a une corrélation positive et significative avec la CP3 de l'ordre de 33%;
- l'indice NAO et les précipitations des trois composantes principales CP1, CP2 et CP3 ont des corrélations non significatives ;
- l'indice Nin3.4 a aussi des corrélations jugées non significatives avec les précipitations des trois composantes principales CP1, CP2 et CP3 aux seuils de confiance 5% et 1%.

 Tableau 5: Résultats des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques pendant la saison MAM

Corrélations entre les composantes principales							
	CP1	CP2	CP3				
CP1	1.000						
CP2	0.540	1.000					
CP3	0.113	0.146	1.000				
Cor	rélations entre les indice	s océaniques					
	AMO	SOI	NINO3_4	NAO			
AMO	1.000						
SOI	-0.312	1.000					
NINO3_4	0.321	-0.834	1.000				
NAO	-0.256	0.032	0.042	1.000			
Corrélations e	entre les composantes pr	incipales et les indic	es océaniques				
	CP1	CP2	CP3				
AMO	-0.005	0.209	0.268				
SOI	0.070	-0.159	0.335				
NINO3_4	-0.135	0.090	-0.238				
NAO	-0.028	-0.225	-0.185				

En somme, les corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques au cours de la saison MAM de 1950 à 2005 indique : une influence directe de la hausse de l'AMO sur la hausse des précipitations de la CP3 et une influence de la baisse de l'AMO sur la baisse des précipitations de la CP3. De même, ces résultats révèlent aussi l'influence directe la baisse de l'SOI sur la hausse des précipitations de la CP3 et précipitations de la CP3 et l'influence de la baisse de l'AMO sur la baisse des précipitations de la CP3. De même, ces résultats révèlent aussi l'influence directe la baisse de l'SOI sur la hausse des précipitations de la CP3 et l'influence de la baisse de la SOI sur la baisse des précipitations de MAM.

5.2.2.3. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques durant les saisons JJA et JJAS

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations au Congo et les indices océaniques pendant les saisons JJA et JJAS (tableau 6), traduit que :

 l'indice AMO a des corrélations non significatives avec les précipitations de la CP1 et de la CP2. Notons cependant que, l'indice AMO entretient une relation positive et moyennement significative avec les précipitations de la CP3 de l'ordre de 25%. Cette corrélation est jugée positive et significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman ;

Tableau 6: Résultats des corrélations entre les indices	océaniques et les indices pluviométriques pendant la
saison JJA et JJAS	

Cor	rélations entre le	s composantes prin	cipales					
		CP1	CP2	CP3				
CP1	1	1.000						
CP2	().448	1.000					
CP3	().238	0.227	1.000				
Corrélations entre les indices océaniques								
	AMO	SOI	NAO	NINO3_4				
AMO	1.000							
SOI	0.013	1.000						
NAO	-0.325	0.032	1.000					
NINO3_4	-0.001	-0.867	-0.042	1.000				
Corrélations entre	les composantes	principales et les ir	ndices océaniques					
	CP1	CP2		CP3				
AMO	0.160	-0.162	0	.254				
SOI	0.061	-0.036	0.063					
NAO	-0.142	-0.088	-0.	160				
NINO3_4	-0.156	-0.041	-0.	198				

 les indices SOI, NAO et Nin3_4 ont des corrélations non significatives avec les précipitations de la CP1, CP2 et CP3 aux seuils de confiance 5% et 1%.

En définitive, durant la période 1950-2005, la baisse des précipitations de la CP3 de JJA et JJAS est influencée par la baisse de l'AMO et la hausse des précipitations de la CP3 est influencée par la baisse de l'AMO traduit une influence sur la CP3.

5.2.2.4. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques durant les saisons SON et OND

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations au Congo et les indices océaniques pendant les saisons SON et OND (tableau 7), révèle que :

 l'indice AMO a des corrélations non significatives avec les précipitations de la CP1 et de la CP2. Cependant, l'indice AMO entretient une relation positive et significative avec la CP3 de l'ordre de 33%.

 Tableau
 7: Résultats des corrélations canoniques entre les indices océaniques et les indices

 pluviométriques pendant la saison SON et OND

0	Corrélations entre les com	posantes principales				
	CP1	CP2	CP3			
CP1	1.000					
CP2	0.298	1.000				
CP3	-0.195	0.046	1.000			
	Corrélations entre les in	ndices océaniques	•			
	AMO	SOI	NINO3_4	NAO		
AMO	1.000					
SOI	0.106	1.000				
NINO3_4	-0.042	-0.838	1.000			
NAO	-0.213	-0.168	0.116	1.000		
Corrélations et	ntre les composantes prin	ncipales et les indices oce	éaniques			
	CP1	CP2		CP3		
AMO	0.195	-0.111	0.332			
SOI	0.129	0.056	0.274			
NINO3_4	-0.081	0.037	-(0.171		
NAO	-0.202	0.013	0.1	0.117		

La corrélation est jugée positive et moyennement significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman ;

- l'indice SOI a des corrélations non significatives avec la CP1 et la CP2. Cependant, il a une corrélation positive et significative avec la CP3 de l'ordre de 27%. La corrélation est jugée positive et moyennement significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman ;
- l'indice NAO et l'indice Nin3_4 ont des corrélations non significatives avec les précipitations des trois composantes principales (CP1, CP2 et CP3).

En somme, les résultats ci-dessus indiquent une implication directe de la hausse de l'AMO sur la hausse des précipitations de la CP3 en SON et l'implication de la baisse de l'AMO sur la baisse des précipitations de la CP3. Signalons de meme l'influence directe de la hausse de l' SOI sur la baisse des précipitations de la CP3 et la baisse de l'SOI sur la hausse des précipitations de la CP3.

5.2.3.Recherche des corrélations entre les indices des températures de surface océanique et les indices pluviométriques de 1950-1970

5.2.3.1. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques de 1950-1970 (période humide) à l'échelle annuelle

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations du Congo et les indices océaniques durant la période 1950-1970 (période humide) à l'échelle annuelle (tableau 8), montre les résultats suivants :

- les indices AMO, SOI, et Nin3_4 ont des corrélations non significatives avec les précipitations de la CP1, CP2 et CP3. Les corrélations sont jugées non significatives au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman;
- l'indice NAO a une corrélation positive et significative avec les précipitations de la CP3 de l'ordre de 27%. La corrélation est jugée positive et significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman.

Ces résultats traduisent une faible influence du SOI, Nino3.4 et l'AMO sur l'évolution à la hausse des précipitations annuelles de la période humide de l'indice Sud-Congo et l'indice Centre. Par contre, la hausse des précipitations annuelles de la CP3 est influencée par la baisse de l'indice NAO.

Corrélations entre les composantes principales								
	CPI	CP2	CP3					
СРІ	1.000							
CP2	0.762	1.000						
CP3	-0.056	0.107	1.000					
Co	rrélations entre les	indices océaniques						
	NAO	NINO3_4	SOI	AMO				
NAO	1.000							
NINO3_4	-0.307	1.000						
SOI	0.185	-0.922	1.000					
AMO	-0.223	0.061	-0.182	1.000				
Corrélations entre	les composantes pr	incipales et les indic	es océaniques					
	CPI	CP2	CP3					
NAO	0.161	0.143	0.271					
NINO3_4	-0.110	-0.004	-0.240					
SOI	0.064	-0.120	0.203					
AMO	-0.120	-0.148	0.100					

 Tableau 8: Résultats des corrélations canoniques (\mathbf{R}^2) entre les indices océaniques et les indices pluviométriques échelle annuelle

5.2.3.2. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques de 1950-1970 à l'échelle saisonnière

5.2.3.2.1. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques de 1950-1970 durant les saisons JF et DJF

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations au Congo et les indices océaniques pendant les saisons JF et DJF (tableau 9), traduit que :

l'indice AMO a une corrélation négative et significative (-36%) avec les précipitations de la CP2. La corrélation est jugée non significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman ;
 Par contre, l'indice AMO et les précipitations de la CP1 et de la CP3 ont des corrélations non significatives ;

- l'indice SOI a des corrélations non significatives avec la CP1 et la CP3. Cependant,
 l'indice SOI a une corrélation positive et significative avec la CP2 de l'ordre de 49%.
 La corrélation est jugée positive et fortement significative au seuil de 5% par le test
 de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman ;
- l'indice NAO a des corrélations jugées non significatives avec les précipitations de la CP1 et la CP3. Par contre cet indice a une corrélation positive et significative avec la CP2 de l'ordre de 26%. Cette corrélation est jugée moyennement significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman ;
- l'indice Nin3_4 a une corrélation négative et significative avec la CP2 de l'ordre de (-50%). La corrélation est jugée fortement significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman. Par contre, il a des corrélations non significatives avec la CP1 et la CP3.

A l'issue de ces résultats, il nous revient de faire remarquer une influence positive de l'AMO, de SOI, et de NINO3.4 sur la hausse des précipitations de la CP2 durant la période humide. Par contre, les indices océaniques (AMO, SOI, NAO et NINO3.4) ont une faible influence sur la variabilité pluviométrique de la CP1 et la CP3 durant la période humide.

Corrélations entre les composantes principales								
	CP1	CP2	CP3					
CP1	1.000							
CP2	0.520	1.000						
CP3	-0.269	0.007	1.	000				
Corrélations entre les indices océaniques								
	AMO	SOI	NAO	NINO3_4				
АМО	1.000							
SOI	0.018	1.000						
NAO	0.189	0.436	1.000					
NINO3_4	0.122	-0.852	-0.416	1.000				
Corrélations e	entre les composantes p	principales et les indi	ces océaniques					
	CP1	CP2	CP3					
AMO	-0.026	-0.360	0.032					
SOI	0.113	0.498	-0.115					
NAO	0.200	0.266	0.	141				
NINO3_4	-0.171	-0.507	0.	009				

 Tableau
 9: Résultats des corrélations canoniques entre les indices océaniques et les indices

 pluviométriques pendant la saison JF et DJF

5.2.3.2.2. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques de 1950-1970 durant la saison MAM

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations au Congo et les indices océaniques pendant la saison MAM (tableau 10), donne des résultats suivants :

- l'indice AMO, NAO et Nin3_4 ont des corrélations non significatives avec les précipitations de la CP1, CP2 et CP3. Les corrélations sont jugées non significatives au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman ;
- l'indice SOI a une corrélation non significative avec la CP1, par contre, les corrélations entre l'indice SOI et les précipitations de la CP2 et la CP3 sont significatives (-28% et 34%) au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman.

En somme, au cours de la saison MAM de la période humide au Congo, il se dégage une influence positive de la SOI Sur la hausse des précipitations de la CP2 et de la CP3 et de l'AMO sur la hausse des précipitations de CP3. Cependant, on note une absence de l'implication directe de la NAO, l'AMO et NINO3.4 sur la CP1, la CP2 et la CP3.

Corrélations entre les composantes principales							
	CP1	CP2	CP3				
CP1	1.000						
CP2	0.676	1.000					
CP3	-0.040	-0.298	1.000				
	Corrélations entre les	s indices océaniques					
	AMO	SOI	NINO3_4	NAO			
AMO	1.000						
SOI	-0.420	1.000					
NINO3_4	0.446	-0.650	1.000				
NAO	-0.350	0.616	-0.212	1.000			
Corrélations	s entre les composantes p	principales et les indic	ces océaniques				
	CP1	CP2	CP3				
AMO	-0.186	0.174	0.225				
SOI	-0.025	-0.286	0.342				
NINO3_4	-0.153	0.079	-0.038				
NAO	0.172	-0.087	0.198				

Tableau 10: Résultats des corrélationscanoniques entre les indices océaniques et les indicespluviométriques pendant la saison MAM

5.2.3.2.3.Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques de 1950-1970 durant les saisons JJA et JJAS

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations au Congo et les indices océaniques pendant les saisons JJA et JJAS (tableau 11), indique les résultats suivants :

- les indices AMO et SOI, ont des corrélations non significatives avec les précipitations de la CP1, CP2 et CP3. Les corrélations sont jugées non significatives au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman;
- l'indice NAO et les précipitations de la CP1 et la CP2 ont des corrélations significatives avec respectivement 35% et 25%. Par contre la corrélation entre l'indice NAO et la CP3 est non significative ;
- l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP2 ont une corrélation significative au seuil de 5% de l'ordre de 25%. Cependant les corrélations entre l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP1 et la CP3 sont non significatives.

Corrélations entre les composantes principales							
	CP1	CP2	CP3				
CP1	1.000						
CP2	0.688	1.000					
CP3	0.397	0.137	1.0	000			
Corrélations entre les indices océaniques							
	AMO	SOI	NAO	NINO3_4			
AMO	1.000						
SOI	-0.129	1.000					
NAO	-0.359	0.191	1.000				
NINO3_4	0.085	-0.851	-0.299	1.000			
Corrélations e	ntre les composantes pr	incipales et les indice	s océaniques				
	CP1	CP2	(CP3			
AMO	-0.029	-0.120	0.0)76			
SOI	-0.097	-0.218	0.148				
NAO	0.355	0.256	0.0)59			
NINO3_4	0.061	0.255	-0.1	137			

Tableau11: Résultats des corrélationscanoniques entre les indices océaniques et les indicespluviométriques pendant la saison JJA et JJAS

Les résultats qui précédent renseignent sur une influence positive de la hausse de la NAO sur la baisse des précipitations de la CP1 et la CP2 de JJA ou JJAS, et une influence de la baisse (refroidissement) de NINO3.4 sur la baisse des précipitations de la CP2 durant la période humide. Par contre, l'influence de l'indice NAO, AMO, SOI et NINO3.4 sur la hausse des précipitations de la JJA et JJAS n'est pas prouvée.

5.2.3.2.4. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques de 1950-1970 durant les saisons SON et OND

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations du Congo et les indices océaniques pendant les saisons SON et OND (tableau 12), traduit que :

- l'indice AMO, et les précipitations de la CP1 et la CP2 ont des corrélations non significatives. Les corrélations sont jugées non significatives au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman ;
- Par contre la corrélation entre l'indice AMO et les précipitations de la CP3 est positive et significative (34%). La corrélation est jugée moyennement significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman;

Tableau	12:	Résultats	des	corrélations	canoniques	entre	les	indices	océaniques	et	les	indices
pluviomé	triqu	ies pendant	: la sa	ison SON et ON	ND							

Corrélations entre les composantes principales							
	CP1	CP2	CP3				
CP1	1.000						
CP2	0.329	1.000					
CP3	-0.244	0.029	1.00	00			
Corrélations entre les indices océaniques							
	AMO	SOI	NINO3_4	NAO			
AMO	1.000						
SOI	0.001	1.000					
NINO3_4	-0.106	-0.818	1.000				
NAO	-0.029	-0.216	0.206	1.000			
Corrélations e	ntre les composantes p	principales et les indi	ces océaniques				
	CP1	CP2	С	CP3			
AMO	0.154	-0.021	0.34	19			
SOI	0.391	0.191	0.09	95			
NINO3_4	-0.467	-0.018	-0.08	7			
NAO	-0.175	0.068	0.32	20			

- l'indice SOI et les précipitations de la CP2 et la CP3 ont des corrélations non significatives. Cependant la corrélation entre l'indice SOI et les précipitations de la CP1 est jugée positive et moyennement significative (39%);
- l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP2 et la CP3 ont des corrélations non significatives. Cependant la corrélation entre l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP1 est négative et significative de l'ordre de (-46%). La corrélation est jugée moyennement significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman ;
- l'indice NAO et les précipitations de la CP1 et de la CP2 ont des corrélations non significatives. Par contre, les corrélations entre l'indice NAO et les précipitations de la CP3 est significative de l'ordre de 32%. La corrélation est jugée moyennement significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman.

Les résultats des corrélations canoniques entre les indices océaniques et les indices pluviométriques du Congo en SON et OND durant la période humide (1950-1970) indique une influence de la baisse de NOA et de la hausse de l'AMO sur l'augmentation des précipitations de la CP3 de SON, et l'influence de la baisse de la SOI et de la hausse de Nino3.4 sur l'augmentation des précipitations de la CP1 pendant OND.

5.2.4.Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques de 1971-2005 (période sèche)

5.2.4.1. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques de 1971-2005 à l'échelle annuelle

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations du Congo et les indices océaniques pendant la période 1971-2005 (période sèche) d'après la rupture constatée sur les séries des précipitations des CP1, CP2 et CP3 (tableau 13), montre les résultats suivants :

- l'indice AMO a une corrélation significative avec la CP2 de l'ordre de (- 35%) au seuil de 5%. Cette corrélation est jugée négative et significative par le test de Bravais-Pearson. Par contre, l'indice AMO a des corrélations non significatives avec les précipitations de la CP1 et la CP3 ;
- l'indice SOI a des corrélations non significatives avec les précipitations de la CP1,
 CP2 et la CP3 ;
- l'indice NAO a une corrélation significative avec la CP3 de l'ordre de (-33%). Cette corrélation est jugée négative et significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman. Par contre, les corrélations entre l'indice NAO et les précipitations de la CP1 et la CP2 sont jugées non significatives ;
- l'indice Nin3_4 également a une corrélation significative avec la CP3 (-0,305). Cette corrélation est jugée négative et significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman. Par contre, les corrélations entre l'indice Nin3_4 et les précipitations de la CP1 et la CP2 sont jugées non significatives.

Tableau 13: Résultats des corrélationscanoniques entre les indices océaniques et les indicespluviométriques échelle annuelle, période de 1971 à 2005

Corrélations entre les composantes principales				
	CPI	CP2	CP3	
СРІ	1.000			
CP2	0.469	1.000		
CP3	-0.054	0.286	1.000	
Corrélations entre les indices océaniques				
	NAO	NINO3_4	SOI	AMO
NAO	1.000			
NINO3_4	-0.011	1.000		
SOI	-0.012	-0.924	1.000	
AMO	-0.219	0.141	-0.130	1.000
Corrélations entre les composantes principales et les indices océaniques				
	CPI	CP2	CP3	
NAO	0.086	-0.146	-0.339	
NINO3_4	-0.235	-0.173	-0.305	
SOI	0.160	0.154	0.225	
AMO	0.163	-0.350	-0.175	

En somme, l'analyse des corrélations canoniques entre les indices océaniques et les indices pluviométriques à l'échelle annuelle pendant la période sèche indique que la baisse des précipitations de la CP3 est liée à une hausse de la NAO et une baisse de Nino3.4. De même, la baisse des précipitations de la CP2 durant la période sèche est sous influence de l'évolution à la baisse AMO.

5.2.4.2. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques de 1971-2005 à l'échelle saisonnière

5.2.4.2.1. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques de 1971 à 2005 durant les saisons JF et DJF

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations de la CP1, CP2 et CP3 au Congo et les indices océaniques pendant les saisons JF et DJF (tableau 14), montre que :

 l'indice NAO, SOI et les TSO ont des corrélations non significatives avec les précipitations de la CP1, CP2 et CP3. Les corrélations sont jugées non significatives au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman;

Tableau14:Résultatsdes corrélationscanoniquesentrelesindicespluviométriques saisonsJF et DJF

Corrélations entre les composantes principales				
	CPI	CP2	CP3	
CPI	1.000			
CP2	0.217	1.000		
CP3	-0.878	-0.270	1.000	
Corrélations entre les indices océaniques				
	NAO	NINO3_4	SOI	AMO
NAO	1.000			
NINO3_4	0.515	1.000		
SOI	-0.096	0.208	1.000	
AMO	-0.125	-0.142	0.087	1.000
Corrélations entre les composantes principales et les indices océaniques				
	CPI	CP2	CP3	
NAO	-0.075	0.074	0.079	
NINO3_4	0.167	0.131	-0.168	
SOI	0.189	-0.056	-0.169	
AMO	-0.095	0.257	0.203	

l'indice AMO a une corrélation significative avec les précipitations de la CP2. Les corrélations sont jugées positives et significatives au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman. Cependant les corrélations entre l'indice AMO et les précipitations de la CP1 et la CP3 sont jugées non significatives.

En définitive, l'analyse des corrélations entre les indices océaniques et les indices des précipitations du Congo durant les saisons JF et DJF, révèle que la baisse des précipitations de la CP2 est liée à un refroidissement de l'AMO, par contre, l'implication directe de la baisse de Nino3.4, de la hausse de la SOI et de la NAO est non prouvée sur la baisse des précipitations de la CP1 et CP3 durant la période sèche.

5.2.4.2.2. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques de 1971-2005 durant la saison MAM

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations au Congo et les indices océaniques pendant la saison MAM (tableau 15), indique que :

Corrélations entre les composantes principales				
	CPI	CP2	CP3	
CPI	1.000			
CP2	-0.892	1.000		
CP3	-0.084	0.106	1.000	
Corrélations entre les indices océaniques				
	NAO	NINO3_4	SOI	AMO
NAO	1.000			
NINO3_4	0.364	1.000		
SOI	-0.166	0.240	1.000	
AMO	-0.214	0.024	0.027	1.000
Corrélations entre les composantes principales et les indices océaniques				
	CPI	CP2	CP3	
NAO	0.007	-0.102	0.122	
NINO3_4	-0.235	0.155	-0.121	
SOI	0.309	-0.405	-0.223	
AMO	-0.425	0.371	-0.06	3

Tableau 15: Résultats des corrélationscanoniques entre les indices océaniques et les indicespluviométriques saison MAM, période 1971-2005

 l'indice AMO a des corrélations significatives avec les précipitations de la CP1 et de la CP2 avec respectivement (-42%) et (37%). Ces corrélations sont jugées significatives au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson.

Par contre, l'indice AMO et les précipitations de la CP3 ont des corrélations non significatives ;

- l'indice SOI a également des corrélations significatives avec les précipitations de la CP1 et de la CP2 avec respectivement 30% et (-40%). Ces corrélations sont jugées significatives au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson. Par contre, l'indice SOI et les précipitations de la CP3 ont des corrélations non significatives ;
- les indices NAO et Nin3_4 ont des corrélations non significatives avec les précipitations de la CP1, CP2 et CP3.

En somme, les résultats ci-dessus indiquent une implication directe de la hausse de la SOI et de la baisse de l'AMO sur la baisse des précipitations de la CP1 et celle de la CP2 durant la période sèche du Congo. L'implication directe de la baisse de Nino3.4 et de la hausse de l' SOI n'est pas prouvée sur la baisse des précipitations de la CP1, CP2 et la CP3.

5.2.4.2.3.Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques de 1971-2005 durant les saisons JJA et JJAS

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations au Congo et les indices océaniques pendant les saisons JJA et JJAS (tableau 16), révèle que:

 l'indice NAO et les précipitations de la CP2 ont des corrélations significatives de l'ordre de (-34%). Cette corrélation est jugée moyennement significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman. Cependant l'indices NAO les précipitations de la CP1 et la CP3 ont des corrélations non significatives ;

l'indice AMO et les précipitations de la CP2 ont également une corrélation significative de l'ordre de (-29%). Cette corrélation est jugée moyennement significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman.
 Cependant l'indice AMO et les précipitations de la CP1 et la CP3 ont des corrélations non significatives ;

Tableau 16: Résultats des corrélationscanoniques entre les indices océaniques et les indicespluviométriques des saisons JJA et JJAS

Corrélations entre les composantes principales				
	CPI	CP2	CP3	
СРІ	1.000			
CP2	-0.027	1.000		
CP3	-0.874	0.072	1.000	
Corrélations entre les indices océaniques				
	NAO	NINO3_4	SOI AMO	
NAO	1.000			
NINO3_4	0.425	1.000		
SOI	0.246	0.272	1.000	
AMO	0.241	-0.220	0.274 1.000	
Corrélations entre les composantes principales et les indices océaniques				
	CPI	CP2	CP3	
NAO	0.128	-0.346	-0.228	
NINO3_4	0.055	-0.360	-0.207	
SOI	0.003	-0.228	-0.200	
AMO	0.034	-0.295	-0.013	

- l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP2 ont également une corrélation significative de l'ordre de (-36%). Cette corrélation est jugée moyennement significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman. Par contre l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP1 et la CP3 ont des corrélations non significatives ;
- l'indice SOI et les précipitations de la CP1, CP2 et CP3 ont des corrélations non significatives.

En définitive, il convient de signaler que la baisse des précipitations de la CP2 de JJAS et JJA durant la période sèche est sous influence de la hausse de la NAO, de la baisse de l'AMO et de Nino3.4. Par contre les indices océaniques SOI, NAO, Nino3.4 et l'AMO ne sont pas directement impliqués sur la baisse des précipitations de la CP1 et CP3 durant la période sèche.

5.2.4.2.4. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques de 1971-2005 durant les saisons SON et OND

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations au Congo et les indices océaniques pendant les saisons SON et OND (tableau 17), indique les résultats suivants :

 l'indice NAO et l'indice Nino3_4 et les précipitations de la CP1, CP2 et CP3 ont des corrélations non significatives ;

 Tableau 17: Résultats des corrélations canoniques entre les indices des océaniques et les indices pluviométriques saison OND, période 1971-2005

CP3				
1.000				
Corrélations entre les indices océaniques				
AMO				
1.000				
Corrélations entre les composantes principales et les indices océaniques				
CP3				
-0.222				
-0.025				
-0.076				
-0.328				

 l'indice SOI et les précipitations de la CP1 ont une corrélation fortement significative de l'ordre de 41% au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman. Par contre, l'indice SOI, et les précipitations de la CP2 et CP3 ont des corrélations non significatives avec les précipitations ;

l'indice AMO et les précipitations de la CP1 et CP2 ont des corrélations jugées non significatives au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman. Par contre, la corrélation entre l'indice AMO et les précipitations de la CP3 de l'ordre de (-32%) est jugée moyennement significative au seuil de 5% par le test de Bravais-Pearson, Kendall et Spearman.

En somme, les corrélations canoniques entre les indices océaniques et les indices pluviométriques durant les saisons SON et OND révèlent: l'implication de la baisse de l'AMO sur la baisse des précipitations de la CP3 ; l'implication de la hausse de la SOI sur la baisse des précipitations de la CP1. L'implication de la NAO et de Nino3.4 sur la baisse des précipitations de la CP1, CP2 et CP3 n'est pas prouvée.

Conclusion du chapitre 5

En définitive, l'évolution décennale comparée des indices pluviométriques du Congo et les indices océaniques révèlent durant la période humide (1950-1970) :

- une relation positive entre le réchauffement de l'AMO et l'augmentation des précipitations de la CP1 durant les décennies 1950 et 1960. De même, au cours de la décennie 1970, une relation positive s'établit entre le refroidissement de l'AMO et la baisse des précipitations de la CP1 ;
- l'indice AMO entretient également une relation positive avec la hausse des précipitations de la CP2 en 1950 et 1960. La relation est négative entre la hausse des précipitations de la décennie 1970 avec le refroidissement de l'AMO;
- une relation positive se dégage entre la hausse des précipitations de la CP3 et le réchauffement de l'AMO durant les décennies 1950 et 1960. Une relation positive se révèle aussi entre la baisse des précipitations de la CP3 et le refroidissement de l'AMO.

Durant la période sèche (1980-2005), les résultats suivants se révèlent :

- le réchauffement de l'AMO est en relation positive avec la hausse des précipitations de la CPI durant les décennies 1990 et 2000 et celle de la CP2 au cours de la décennie 1980. Une relation positive s'établit aussi entre la baisse des précipitations de la CP3 et le refroidissement de l'AMO pendant la décennie.... Par contre, une relation négative se relève entre la hausse des précipitations de la CP1 et le refroidissement de l'AMO durant la décennie 1980. La relation est aussi négative entre la hausse des précipitations de la CP2 et le refroidissement de l'AMO. La relation est aussi négative entre la baisse des précipitations de la CP2 et le refroidissement de l'AMO. La relation est aussi négative entre la baisse des précipitations de la CP3 et le réchauffement de l'AMO;
- l'indice NINO3.4 et les précipitations de la CP1, CP2 et la CP3 montre que :
 - Durant la période 1950-1970, la relation est positive entre le réchauffement de NINO3.4 et la hausse des précipitations de la CP1 au cours de la décennie 1960. Par contre, la relation est négative entre la hausse des précipitations de la CP1 et le refroidissement de NINO3.4. Une relation positive de dégage de même entre la hausse des précipitations de la CP2 et le réchauffement de NINO3.4 en 1960, tandis que la relation est négative entre la hausse des précipitations de la CP2 et le réchauffement la hausse des précipitations de la CP2 et le réchauffement de NINO3.4 urant la décennie 1950. La relation est positive entre le réchauffement de NINO3.4 durant la décennie 1960 et la hausse des précipitations de la CP3 et entre le

refroidissent de NINO3.4 de la décennie 1970 et la baisse des précipitations de la CP3 ;

- Au cours de la période 1980-2009, le réchauffement de l'indice NINO3.4 est positif avec la hausse des précipitations de la CP1 (décennies 1980, 1990 et 2000), de la CP2 (décennie 1980). Par contre, la relation est négative entre le réchauffement de NINO3.4 et la baisse de la CP3 (décennies 1980, 1990 et 2000). De même, la relation est négative entre la baisse des précipitations de la CP2 et le réchauffement de NINO3.4 (décennies 1990, 2000);
- l'indice SOI et les précipitations de la CP1, CP2 et la CP3 traduisent les relations suivantes :
 - durant la période 1950-1970, la relation est positive entre la baisse de l'indice SOI et la hausse des précipitations de la CP1 (décennie 1960) et entre la baisse des précipitations de la CP1 et la hausse de l'indice SOI (décennie 1970). La relation est aussi positive entre la hausse des précipitations de la CP2 et la baisse de l'indice SOI (décennie 1960) et entre la hausse des précipitations de la CP3 et la baisse de l'indice SOI (décennie 1960) et entre la baisse des précipitations de la CP3 et la hausse de l'indice SOI. Cependant, la relation est négative entre la hausse des précipitations de la CP1 et la hausse de la SOI (décennie 1950), entre la hausse des précipitations de la CP2 et la hausse de la SOI (décennie 1950). De même, la relation est négative entre la hausse des précipitations de la CP3 et la hausse des précipitations de la CP2 et la hausse de la SOI (décennie 1950), entre la hausse des précipitations de la CP2 et la hausse de la SOI (décennie 1950), entre la hausse des précipitations de la CP2 et la hausse de la soI (décennies 1950, 1970). De même, la relation est négative entre la hausse des précipitations de la CP3 et la hausse de la SOI (décennie 1950);
 - durant la période 1980-2009, la relation est positive entre la hausse des précipitations de la CP1 et la baisse de l'indice SOI durant les décennies 1980, 1990 et 2000. La relation est aussi positive entre la hausse des précipitations de la CP2 et la baisse de l'indice SOI (décennie 1980). Par contre, la relation est négative entre la baisse des précipitations de la CP2 et la baisse des précipitations de la CP2 et la baisse de la SOI (décennie 1990). De même, la relation est négative entre la baisse des précipitations de la CP3 et la baisse de la SOI (décennies 1980, 1990);
- l'indice NAO et les précipitations de la CP1, CP2 et la CP3 montrent les relations suivantes :
 - pendant la période 1950-1970, les relations positives sont celles entre la hausse des précipitations de la CP1 et la baisse de l'indice NAO (décennies 1950, 1960); entre la hausse des précipitations de la CP2 et la baisse de l'indice NAO (décennies 1950, 1960 et 1970); enfin celle entre la hausse des

précipitations de la CP3 et la baisse de l'indice NAO (décennies 1950 et 1960). Par contre, les relations négatives sont celles entre : la baisse des précipitations de la CP1 et la baisse de l'indice NAO (décennie 1970) ; entre la baisse des précipitations de la CP3 et la baisse de l'indice NAO (décennie 1970) ;

au cours de la période 1980-2005, les relations positives sont celles entre : la baisse des précipitations de la CP2 et l'augmentation de l'indice NAO (décennies 1980, 1990 et 2000) ; entre la baisse des précipitations de la CP3 et la hausse de l'indice NAO (décennies 1950, 1990 et 2000). Cependant, les relations négatives sont celles entre : la hausse des précipitations de la CP1 et la hausse de l'indice NAO (décennies 1980, 1990 et 2000).

L'analyse de corrélations canoniques entre les indices des précipitations au Congo et les indices océaniques montre un lien relativement fort aussi bien à l'échelle annuelle qu'à l'échelle saisonnière.

Si on considère toute la période d'analyse (1950-2005) :

- à échelle annuelle, les trois indices océaniques, qui sont non corrélés aux indices pluviométriques, sont l'oscillation nord-atlantique (ONA), l'oscillation australe(SOI) et l'AMO (l'Atlantique Multi-Décadaire Oscillation). Un seul indice océanique (Nin3_4) est significativement corrélé avec la CP2 et la CP3;
- A l'échelle saisonnière, durant la saison JF et DJF, trois indices océaniques sont significatives et corrélés aux indices des précipitations au Congo à savoir : AMO corrélée avec la troisième composante principale (CP3) durant la saison DJF, la SOI avec la deuxième composante principale (CP2) et Nin3_4 avec la deuxième composante principale (CP2) pendant la saison JF. Durant la saison MAM, deux indices climatiques sont significatives et corrélés aux indices des précipitations au Congo : AMO et la SOI avec la troisième composante principale (CP3). Au cours de la saison JJA et JJAS, seul un indice climatique : l'AMO est significative et corrélé à l'indice Nord-Congo (CP3). Pendant la saison SON et OND, deux indices climatiques sont significatives et corrélés à l'indice Nord-Congo : l'AMO et la SOI.

Si l'on considère la période 1950 à 1970, période dite humide :

- A l'échelle annuelle, un indice océanique à savoir la NAO est significativement et positivement corrélé à l'indice Nord-Congo (CP3) ;
- A l'échelle saisonnière, durant la saison JF et DJF, quatre indices océaniques sont corrélés significativement à l'indice Centre-Congo (CP2): AMO, la SOI, la NAO

et Nin3.4. Au cours de la saison MAM, un seul indice SOI est corrélé significativement à l'indice Sud-Congo (CP1). Pendant la saison JJAS, deux indices océaniques sont corrélés significativement aux indices pluviométriques du Congo à savoir : la NAO avec l'indice Sud-Congo (CP1) et l'indice Centre-Congo (CP2) et l'indice Nin3_4 avec l'indice Centre-Congo (CP2). Durant la saison OND, quatre indices climatiques sont significativement corrélés aux indices climatiques : l'AMO et la NAO à l'indice Nord-Congo (CP3) et la SOI et Nin3.4 à l'indice Sud-Congo (CP1).

Si l'on considère la période 1971-2005, période dite sèche :

- A l'échelle annuelle, trois indices océaniques sont significativement et négativement corrélés aux indices des précipitations du Congo à savoir : AMO à l'indice Centre-Congo (CP2) et la NAO et l'indice Nin3_4 à l'indice Nord-Congo (CP3);
- A l'échelle saisonnière, durant la saison JF et DJF, seul un indice océanique : AMO est significative et corrélé à l'indice Centre-Congo (CP2). Pendant la saison MAM, deux indices océaniques (AMO et SOI) sont significativement corrélés avec l'indice Sud-Congo (CP1) et l'indice Centre-Congo (CP2). Au cours des saisons JJA et JJAS, trois indices océaniques (NAO, AMO et Nin3_4) sont significatifs et corrélés à l'indice pluviométrique Centre-Congo (CP2). Pendant les saisons SON et OND, deux indices océaniques (SOI et AMO) sont significatifs et corrélés aux indices pluviométriques du Congo, à savoir : la SOI à l'indice Sud-Congo (CP1) et l'AMO à l'indice Nord-Congo (CP3) ;

L'analyse des corrélations entre les périodes sèches et humides et les indices océaniques révèle une constance dans la relation entre les indices et ces périodes. En effet, la NAO est toujours corrélée aux indices pluviométriques au Congo à l'échelle annuelle entre les deux périodes (humide et sèche). Au cours de la saison JF, l'AMO est toujours corrélée aux indices pluviométriques du Congo entre les deux périodes (humide et sèche), durant la saison MAM, la SOI est toujours corrélée aux indices pluviométriques du Congo entre les deux périodes (humide et sèche), durant la saison JJAS, la NAO et Nin3_4 sont toujours corrélée aux indices pluviométriques du Congo entre les deux périodes (humide et sèche) et enfin, pendant la saison OND, l'AMO et la SOI sont toujours corrélés aux indices pluviométriques du Congo entre les deux périodes (humide et sèche). Notons toutefois que malgré cette constante de l'influence des indices pluviométriques du Congo, bien que significatives, sont pour la majorité négatives durant la période 1971-2005, traduisant une opposition de phase. Ce qui

nous permet d'affirmer que pendant la période 1971-2005, quand les indices océaniques sont en mode positif, on observe une hausse de fréquence de l'air froid polaire dans les régions provoquant ainsi une diminution de la température et des précipitations. En revanche, quand les indices climatiques sont en mode négatif, on observe une hausse de fréquence de masse d'air chaud entrainant une hausse de la température et des précipitations. Ce phénomène est contraire au cours de la période dite humide (1950-1070).

On note de même une cohérence spatio-temporelle du lien entre les périodes de sècheresse/humidité et les indices océaniques. En effet, les indices AMO et SOI sont associés aux deux périodes humide et sèche. On peut alors utiliser ces deux indices océaniques pour prédire la succession des périodes sèches et humides au Congo. L'indice NAO est associé à la période sèche. L'indice NAO servirait ainsi à prédire les périodes de sécheresse au Congo. Quoi qu'il en soit, il ressort de ce chapitre que les quatre indices océaniques apparaissent comme les principaux facteurs de variabilité temporelle et spatiale des précipitations au Congo des deux périodes en raison du synchronisme des périodes humides et sèches observées avant et après 1970. Toutefois, une influence latitudinale de la ZCIT et l'intensité de la convection n'est pas à écarter dans causes de la variabilité des périodes humides et sèches au niveau des trois composantes principales. De même, à coté de l'influence de la NAO et la SOI sur la variabilité des précipitations du Congo de 1950 à 2005, il nous est important d'apprécier dans les chapitres qui suivront, l'influence des pressions de surface régionale sur la variabilité des précipitations des trois indices pluviométriques (CP1, CP2 et CP3).

Chapitre 6 : Dynamique atmosphérique

Ce présent chapitre analyse la dynamique atmosphérique à partir de la pression atmosphérique dont l'augmentation ou la diminution a un effet retro actif sur la baisse ou la hausse des précipitations. En effet, la diminution significative des précipitations au Congo à l'échelle annuelle, saisonnière et inter annuelle après 1970 amène à se poser la question de l'influence possible de l'augmentation des pressions de surface régionale sur les précipitations. Notons que, même si les précipitations sont des phénomènes localisés dans l'espace, leur genèse est influencée par l'évolution des pressions à des échelles spatiales beaucoup plus vastes. (*Norrant et Douguedroit, 2004).* Il sera entrepris dans ce chapitre l'analyse de l'évolution annuelle, saisonnière, inter annuelle et inter décennale de la pression à 1000 hPa au niveau de 30 points de grilles des latitude 5°N et 5°S et des longitudes 7,5°E et 20°E. Cette évolution sera appréciée à partir des anomalies centrées réduites assorties de la moyenne mobile sur 5ans. La tendance de la pression sera appréciée à partir de la régression simple et la tendance de régression linéaire. La signification de cette tendance sera attestée à partir de la méthode de régression linéaire. La signification statistique de la régression linéaire est donnée par l'équation : FO=R² (N-2) (1-R²),

Avec :

- R² (coefficient de détermination) ;
- N (taille de la série ou le nombre d'années). L'hypothèse nulle, qui traduit une absence de tendance significative est rejetée, si FO≥Fα pour 1 et (n-2) degré de liberté.
- La valeur de Fα est obtenue à partir de la table de distribution de Fisher-Snedecor
 (Meddi et Assani, 2010).
L'analyse de l'évolution décennale des pressions de surface régionale est faite à partir des anomalies standardisées par rapport à la moyenne 1950-2005 puis multipliées par 100. La décennie 2000 compte 6 années au lieu de 10 années. Sur les figures de l'évolution décennale apparaîtront 2000_2009 au lieu de 2000_2005. Ceci pour les raisons d'harmonisation.

6.1. Evolution inter annuelle de la préssion de surface de la basse troposphère (1000 hPa)

6.1.1. Evolution inter annuelle du geopotentiel à la surface de la basse troposphère (1000 hPa) à l'échelle annuelle

L'évolution inter annuelle de l'indice de la pression de surface à 1000hPa(figure 72), montre deux périodes distinctes : la période antérieure à 1975, caractérisée par des anomalies négatives de presssions de surface, et la période posterirure à 1975, caractérisée par des anomalies positives de pression de surface.

La tendance générale de l'évolution inter annuelle de la presssion de surface à 1000 hPa est à la hausse (augmentation) significative à partir de 1980.



Figure 72: Evolution inter annuelle de l'indice de presssion atmosphérique régionale à 1000 hPa, période : 1950-2005

6.1.2. Evolution inter annuelle du geopotentiel à la surface de la basse troposphère(1000 hPa) à l'échelle saisonnière

6.1.2.1. Evolution inter annuelle de la préssion de surface de la basse troposphère(1000 hPa) durant les saisons JF et DJF

L'évolution inter annuelle de l'indice de la pression de surface à 1000 hPa au cours de la saison JF et DJF (figure 73), montre deux périodes distinctes : la période antérieure à 1975, caractérisée par des anomalies négatives de pression de surface, et la période postériuere à 1975, caractérisée par des anomalies positives de pression de surface. Notons cependant une legère hausse de la pression de surface au cours de JF durant la période(1956-1960), et une alternance des anomalies positives et négatives durant la période 1995 et 2005.



Figure 73: Evolution inter annuelle de l'indice de presssion atmosphérique à 1000 hPa, période : 1950-2005

La tendance générale de l'évolution inter annuelle de la présssion de surface à 1000 hPa pendant la saison JF est à la hausse(augmentation) significative à partir de 1980. Cette tendance à la hausse de pression de surface régionale est similaire à celle enregistrée à l'échelle annuelle.

6.1.2.2. Evolution inter annuelle de la préssion atmosphérique de la basse troposphère(1000 hPa) durant la saison MAM

La figure figure 74, qui traduit l'évolution inter annuelle de l'indice de la pression de surface à 1000 hPa au cours de la saison MAM, montre deux périodes distinctes : la période antérieure à 1976, qui se caractérise par des anomalies négatives de presssions de surface, et la période postérieure à 1976, caractérisée par des anomalies positives de préssion de surface. Notons cependant une légère hausse de la pression de surface au cours de la saison MAM durant l'année 1957.

La tendance générale de l'évolution inter annuelle de la préssion de surface à 1000 hPa pendant la saison MAM est aussi à la hausse significative à partir de 1980 comme au cours de la saison JF.



Figure 74: Evolution inter annuelle de l'indice de presssion atmosphérique à 1000 hPa, durant la saison MAM ; période : 1950-2005

6.1.2.3. Evolution inter annuelle du geopotentiel à la surface de la basse troposphère(1000 hPa) durant les saisons JJA et JJAS

L'évolution inter annuelle de l'indice de la pression de surface régionale à 1000 hPa au cours des saisons JJA et JJAS (figure 75), révèle deux périodes à savoir : la période avant 1975, caractérisée par des anomalies négatives de pressions de surface, et la période après 1975, caractérisée par des anomalies positives de pression de surface.



Figure 75: Evolution inter annuelle de l'indice de presssion atmosphérique régionales de surface à 1000 hPa, pendant les saisons JJA et JJAS :période : 1950-2005

L'analyse de la tendance générale de l'évolution inter annuelle de la pression de surface à 1000 hPa pendant les saisons JJA et JJAS, montre une hausse(augmentation) significative des presssions de surface à partir de 1980, tandis qu'elle était à la baisse avant 1980. Cette tendance à la baisse est similaire à celle de l'évolution des pressions de surface au cours des saisons JF et MAM.

6.1.2.4. Evolution inter annuelle de la préssion atmosphérique de la basse troposphère(1000 hPa) durant les saisons SON et OND

L'analyse de l'évolution inter annuelle de l'indice de la pression de surface à 1000hPa durant les saisons SON et OND (figure 76), traduit deux périodes distinctes : la période avant 1976, caractérisée par la présence des anomalies négatives de pressions de surface atmosphérique, et la période après 1976, caractérisée par des anomalies positives de pression de surface traduisant une hausse de pression de surface.

Signalons cependant une legère baisse de la presssion de surface au cours de la saison OND durant l'année 2007, caractérisée par une anomalie négative.

La tendance générale de l'évolution inter annuelle de la pression de surface à 1000 hPa au cours de la saison OND est à la hausse significative à partir de 1980, tendance similaire à celle enregistrée au cours des saisons JF, DJF, MAM, JJA et JJAS.

En somme, l'évolution inter annuelle de la pression atmosprérique de surface régionale à 1000 hPa, montre deux périodes distinctes : une première période antérieure à 1980, caractérisée par des anomalies négatives, traduisant une baisse et une deuxième période postérieure à 1980, caractérisée par des anomalies positives traduisant une augmentation des pressions atmosphériques de surface régionales.





Figure 76: Evolution inter annuelle de l'indice de prèsssion atmosphérique à 1000hPa, pendant les saisons SON et OND : période : 1950-2005

La tendance de l'évolution des pressions de surface est à la hausse significative à partir de l'année 1980. Cette tendance est similaire à celle des précipitations et l'année de l'augmentation significative des presssions de surface régionales coincide avec l'année de rupture detectée par les tests au sein des séries chronologiques des précipitaions.

Nous allons rechercher par la suite l'évolution des pressions de surface régionales à l'échelle décennale au pas de temps annuel et saisonnier.

6.2. Evolution décennale de la pression atmosphérique régionale de surface à 1000 hPa

6.2.1. Evolution décennale de la pression atmosphérique régionale de surface à 1000 hPa à l'échelle annuelle

L'évolution décennale de la pression de surface à l'échelle annuelle à 1000 hPa (figure 77), indique que trois décennies sur six enregistrent les anomalies négatives(1950, 1960 et 1970), matérialisant une baisse de la pression de surface. Les trois autres décennies(1980, 1990 et 2000), enregistrent les anomalies positives de pression de surface, traduisant une augementation de la pression de surface régionale. La décennie qui enregistre la pression de surface la plus elevée est 1980, avec plus de 90% et la décennie qui enregistre la pression de surface la plus faible est 1970, avec plus de 90%.

La tendance générale de l'évolution décennale de la presssion de surface à l'échelle annuelle est à la hausse et significativement positive à partir de la décennie 1980 avec un coefficient de regession de 66%.



Figure 77 : Evolution décennale de la pression de surface à l'échelle annuelle à 1000 hPa, période 1950-2005

6.2.2. Evolution décennale de la pression atmosphérique régionale de surface à 1000 hPa à l'échelle saisonnière

6.2.2.1. Evolution décennale de la pression atmosphérique régionale de surface à 1000 hPa pendant les saisons JF et DJF

L'évolution décennale de la pression de surface de la saison JF et DJF à 1000 hPa(figure 78), reflète que trois décennies sur six enregistrent des anomalies négatives(1950, 1960 et 1970), Par contre les trois autres décennies(1980, 1990 et 2000), enregistrent des anomalies positives de pression atmosphériques de surface. La décennie 1980 enregistre la pression de surface atmosphérique la plus elevée avec plus de 90% et la décennie 1970 enregistre la pression de surface la plus faible, avec plus de 90%.

La tendance générale de l'évolution décennale de la pression de surface pendant les saisons JF et DJF est à la hausse et significativement positive à partir de la décennie 1980, hausse similaire à celle enregistrée à l'échelle annuelle.





Figure 78: Evolution décennale de la pression de surface pendant les saisons JF et DJF à 1000hPa, période 1950-2005

6.2.2.2. Evolution décennale de la pression atmosphérique régionale de surface à 1000 hPa pendant la saison MAM

L'analyse de l'évolution décennale de la pression de surface durant la saison MAM à 1000 hPa (figure 79), traduit que trois décennies sur six enregistrent des anomalies négatives (1950, 1960 et 1970), tandis que les décennies 1980, 1990 et 2000, enregistrent les anomalies positives de pression de surface. Notons que la décennie qui enregistre la pression de surface la plus elevée est 1980, avec plus de 90% et la décennie qui enregistre la pression de surface la plus faible est 1970, avec plus de 90%.

La tendance générale de l'évolution décennale de la pression de surface décennale pendant la saison MAM est à la hausse et significativement positive à partir de la décennie 1980, tendance similaire à celle enregistrée à l'échelle annuelle et au cours des saisons JF et DJF.



Figure 79: Evolution décennale de la pression de surface pendant la saison MAM à 1000hPa, période 1950-2005

6.2.2.3. Evolution décennale de la pression atmosphérique régionale de surface à 1000 hPa pendant les saisons JJA et JJAS

La figure 80, traduisant l'évolution décennale de la pression de surface des saisons JJA et JJAS à 1000hPa revèle que trois décennies sur six enregistrent des anomalies négatives(1950, 1960 et 1970), et trois autres décennies(1980, 1990 et 2000), enregistrent des anomalies positives de pression de surface. La décennie 1980, avec plus de 90% est celle enregistrant la pression de surface la plus élevée par contre la décennie 1970, avec plus de 90% enregistre la pression de surface la plus faible.

La tendance générale de l'évolution décennale de la pression de surface durant la saison JJAS est aussi à la hausse et significativement positive à partir de la décennie 1980 comme pendant les saisons JF, DJF et MAM.



Figure 80: Evolution décennale de la pression de surface pendant les saisons JJA et JJAS à 1000hPa, période 1950-2005

6.2.2.4. Evolution décennale de la pression atmosphérique régionale de surface à 1000 hPa pendant les saisons SON et OND

La figure 81, montrant l'évolution décennale de la pression de surface durant la saison OND à 1000 hPa indique que trois décennies sur six enregistrent des anomalies négatives(1950, 1960 et 1970), contre trois autres décennies (1980, 1990 et 2000), enregistrant des anomalies positives de pression de surface. Deux décennies 1980, avec plus de 90% et 1970, avec plus de 90% enregistrent d'une part les pressions les plus élevées d'autre part et les plus faibles.

La tendance générale de l'évolution décennale de la presssion de surface durant la saison OND est aussi à la hausse et significativement positive à partir de la décennie 1980 comme au cours des saisons JF, DJF, MAM, JJA et JJAS.





Figure 81: Evolution décennale de la pression de surface pendant les saisons SON et OND à 1000hPa, période 1950-2005

Conclusion du chapitre 6

L'évolution inter annuelle de la presssion atmosphérique de surface à 1000 hPa, montre aussi bien à l'échelle annuelle qu'à l'échelle saisonnière, les préssions atmosphériques de surface sont en augmentation significative à partir de l'année 1980 ; cette année coincide avec l'année de rupture des précipitations au niveau des trois indices des précipitations.

L'analyse de l'évolution décennale de la pression de surface montre que trois décennies sur six ont des pressions à la baisse (1950,1960,1970) et trois décennies sur six ont des pressions de surface à la hausse (1980, 1990 et 2000). Les décennies qui enregistrent les pressions à la baisse coincident avec les décennies humides au niveau des indices des précipitations, et les décennies qui enregistrent les pressions de surface à la hausse qui enregistrent les pressions de surface à la hausse des précipitations, et les décennies qui enregistrent les pressions de surface à la hausse, coincident avec les décennies des précipitations.

La tendance des pressions de surface aussi bien à l'échelle annuelle que saisonnière est à la hausse significative à partir de 1980, cette tendance à la hausse des pressions de surface après 1980 coincide avec la tendance à la baisse des précipitations au Congo. Ce qui nous amène à affirmer que la période sèche au Congo peut etre attribué à une augmentation des influence des pressions de surface au-dessus du Congo après 1980.

Dans le chapitre suivant, il sera question de chercher à confirmer ces résultats en appréciant le degré des relations entre la variabilité des précipitations au Congo et les presssions atmosphériques de surface régionales à partir des corrélations canoniques.

Chapitre 7 : Analyse de l'influence de la dynamique atmosphérique sur la variabilité pluviométrique au Congo

Dans ce chapitre il sera rechercher les relations entre la variabilité pluviométrique au Congo, notamment de trois indices pluviométriques(Sud-Congo, Centre-Congo et Nord-Congo et la circulation atmosphérique de la basse troposphère notamment la relation entre la variabilité inter annuelle et décennale du Géo potentiel à 1000 hPa et la variabilité pluviométrique inter annuelle et décennale des précipitations de trois composantes principales au Congo. Les données utilisées sont les anomalies centrées réduites des indices des précipitations et des pressions de surface régionales. Les méthodes d'analyses ont consisté d'une part à apprécier l'évolution comparée des indices pluviométriques et des indices des pressions de surface à l'échelle annuelle et à l'échelle saisonnière à partir des anomalies standardisées par rapport à la moyenne(1950-2005) puis multipliées par 100, d'autre part, les corrélations canoniques sont calculées entre les indices pluviométriques(variables dépendantes) et les indices des pressions de surface (variables indépendantes). Ceci va permettre de faire correspondre d'une part les décennies sèches avec l'augmentation des pressions de surface et d'autre part les decennies humides avec la baisse des pressions de surface régionale ou encore ressortir les paradoxes. La notion de l'évolution en phase signifie que l'augmentation des pressions de surface correspond à la baisse des précipiations et la baisse des pressions de surface correspond à la hausse des précipiations. La notion de l'évolution en opposition de phase traduit une hausse des pressions de surface régionale correspondant à une hausse des précipitations et une baisse des pressions de surface régionale correspond à une baisse des précipitations.La significativité du degré de relation est approuvée par les tests de Bravais Pearson, Kendall et Spearman au seuil de confiance 10% et 5%. La corrélation est jugée significative si $R^2 \ge 25\%$ ou $R \ge 50\%$. Le degré de significativité est jugé :

- Faiblement significative si R² est compris entre 25 et 30% ;
- Moyennement significative si R² est compris en 30 et 45% ;
- Fortement significative si R² est compris entre 45 et 60% ;
- Très fortement significative si $R^2 > 60\%$.

7.1. Evolution décennale comparée des pressions atmosphériques de surface à 1000 hPa et de la variabilité pluviométrique au Congo

Afin d'apprécier le degré de l'influence des pressions atmosphériques sur la variabilité pluviométrique décennale une comparaison sera faite entre l'indice de pressions atmosphériques régionale et les indices pluviométriques du Congo (ISC, ICC et INC). Ceci à l'échelle annuelle et à l'échelle saisonnière (JF, DJF, MAM, JJA, JJAS, SON et OND).

7.1.1. Evolution décennale comparée des pressions atmosphériques de surface à 1000 hPa et de la variabilité pluviométrique au Congo à l'échelle annuelle

L'évolution décennale comparée de l'indice de pression de surface régionale et les indices des précipitations annuelles de la première composante principale(CP1), la deuxième composante principale(CP2) et la troisième composante principale(CP3),(figure 82), montre que :

- l'indice Sud-Congo et les pressions de surface(figure 82a) ont une évolution synchrone : au cours des décennies 1950, 1960, la hausse des précipitations de ces

deux décennies est en phase avec la baisse des pressions de surface régionale, tandis qu'au cours des décennies 1070, 1980, 1990 et 2000, la hausse des précipitations est en opposition de phase avec la hausse des pressions de surface. En effet, au cours de la décennie 1970, les précipitations sont à la baisse tandis que les pressions de surface sont à la baisse. Durant les décennies 1980, 1990 et 2000, les précipitations et les pressions de surface sont à la hausse.

L'évolution à la hausse des précipitations des décennies 1950, 1960 est en relation étroite avec la baisse des pressions de surface régionale ;

- l'indice Centre-Congo(figure 82b) et les presssions de surface régionales durant les décennies 1950, 1960, 1970 et 2000 ont une évolution synchrone. La baisse des précipitations de la décennie 2000 est associée a une augmentation des pressions de surface régionale et la hausse des précipitations des décennies 1950, 1960 et 1970 est associée a une baisse des pressions de surface régionale. Cependant, durant les décennies 1980 et 1990, les précipitations de l'indice Centre-Congo et les pressions de surface régionale ont une évolution en opposition de phase. En effet, les précipitations sont à la hausse pendant que les pressions de surface régionale sont à la hausse ;
- l'indice Nord-Congo, et les pressions de surface régionale(figure 82c), ont une évolution en phase durant les decennies 1950, 1960, 1980, 1990 et 2000. La baisse des précipitations des decennies 1980, 1990 et 2000 est en phase avec la hausse des pressions de surface régionale et la hausse des précipitations des décennies 1950 et 1960 est en phase avec la baisse des pressions de surface régionale. Par contre, au cours de la décennie 1970, les précipitations de l'indice Nord-Congo et les pressions de surface régionale ont une évolution en opposition de phase car, les précipitations sont à la baisse tandis que les pressions de surface régionale sont à la baisse.











Figure 82: Evolution décennale comparée des précipitations de l'indice Sud-Congo, Centre-Congo et de l'indice Nord-Congo avec les pressions de surface régionale, période 1950-2005.

7.1.2.Evolution décennale comparée des pressions atmosphériques de surface à 1000 hPa et de la variabilité pluviométrique au Congo à l'échelle saisonnière

7.1.2.1. Evolution décennale comparée des pressions atmosphériques de surface à 1000 hPa et de la variabilité pluviométrique au Congo durant les saisons JF et DJF

L'évolution décennale comparée de l'indice de pression de surface régionale et les précipitations (figure 83) des saisons JF et DJF de la première composante principale(CP1), de la deuxième composante principale(CP2) et la troisième composante principale(CP3), montre :

- l'indice Sud-Congo et les pressions de surface(figure 83a). au cours des décennies 1950, 1970, 1980 et 1990 ont une évolution en opposition de phase. En effet, les précipitations sont d'une part à la baisse tandis que les pressions de surface régionales sont à la baisse(décennies 1950 et 1970) et d'autre part, les précipitations sont à la hausse tandis que les pressions de surface sont à la hausse (décennies 1960 et 2000, l'évolution des précipitations est synchrone avec celle des pressions de surface. En effet, l'évolution à la hausse des précipitations est en phase avec la baisse des précipitations au cours de la décennie 2000 est en phase avec la hausse des précipitations au cours de la décennie 2000 est en phase avec la hausse des pressions de surface régionale ;
- l'indice Centre-Congo(figure 83b), montre pendant les décennies 1960, 1970, 1990 et 2000, les précipitations ont une évolution en phase avec celle des pressions de surface régionales.

233









Figure 83 : Evolution décennale comparée des précipitations de l'indice Sud-Congo, Centre-Congo et de l'indice Nord-Congo avec les pressions de surface régionales au cours des saisons JF et DJF, période 1950-2005

- En effet, la hausse des précipitations des décennies 1960 et 1970 est en phase avec la baisse des pressions de surface régionale et la baisse des précipitations des décennies 1990 et 2000 est en phase avec l'augmentation des pressions de surface régionale. Par contre, pendant les décennies 1950 et 1980, l'évolution des précipitations est en opposition de phase avec celle des pressions de surface. En effet d'une part, l'évolution à la hausse des précipitations de décennie 1950 est en opposition de phase avec la baisse des précipitations de décennie 1950 est en opposition de phase avec la baisse des précipitations de surface régionale et d'autre part, la hausse des précipitations pendant la decennie 1980 est en opposition de phase avec la hausse pressions de surface régionale ;
- l'indice Nord-Congo(83c) montre qu'au cours des décennies 1950 et 1980, les précipitations ont une évolution en opposition de phase avec les pressions de surface régionales. Les précipitations de l'indice Nord-Congo sont à la baisse, tandis que les pressions de surface sont à la baisse décennie 1950) et les précipitations sont à la hausse tandis que les pressions de surface sont à la hausse (décennie 1980). Pendant les décennies 1960, 1970, 1990 et 2000, d'une part la hausse des précipitations est en phase avec la baisse des pressions de surface régionale(décennies 1960 et 1970) et d'autre part, la baisse des précipitations est en phase avec la hausse des précipitations est en phase avec la baisse des phase avec la baisse des phase avec bais des phase avec la b

7.1.2.1. Evolution décennale comparée des pressions atmosphériques de surface à 1000 hPa et de la variabilité pluviométrique au Congo durant la saison MAM

La figure 84 fait ressort les résultats d'évolution décennale associée de l'indice de pression de surface régionale à celle des précipitations saisonnières de la saison MAM des trois indices pluviométriques : Sud-Congo, Centre-Congo et Nord-Congo. Le constat se dégage :

- l'indice Sud-Congo et les pressions de surface au cours des décennies 1950, 1960 et 2000 ont une évolution synchrone. En effet, la hausse des précipitations est en phase avec la baisse des pressions de surface régionale(décennies 1950 et 1960), et la baisse des précipitations est liée à la hausse des préssions de surface(decennie 2000). Par contre, durant les décennies 1970, 1980, 1990, la hausse des précipitations est en opposition de phase avec la hausse des pressions de surface(1970) mais également, la baisse des précipitations est en opposition set en opposition de phase avec la hausse des pressions de surface(1970) mais également, la baisse des précipitations est en opposition de phase avec la baisse des pressions de surface régionales(1980, 1990);
- l'indice Centre-Congo et les pressions de surface pendant les decennies 1950, 1960, 1980 et 2000, ont une évolution synchrone. En effet, l'évolution à la baisse des précipitations durant les décennies 1980 et 2000 correspond à une évolution à la hausse des pressions de surface. De même, l'évolution à la hausse des précipitations des decennies 1950 et 1960 correspond à la baisse des pressions de surface régionales. Au cours des décennies 1970 et 1990 par contre, les précipitations de l'indice Centre-Congo sont en opposition de phase avec les pressions de surface régionale. En effet, pendant que les précipitations de la decennie 1970 sont en baisse, les pressions de surface sont également à la baisse. Les précipitations sont à la hausse durant la decennie 1990, les pressions de surface sont à la hausse ;

l'indice Nord-Congo et les pressions de surface traduisent pendant les décennies 1950, 1960, 1980, 1990 et 2000, une évolution en phase. D'une part, la hausse des précipitations est associée à une baisse des pressions de surface régionale(1950 et 1960) et d'autre part, la baisse des précipitations est en phase avec la hausse des pressions de surface régionale(décennies 1980, 1990 et 2000). Cependant la décennie 1970 c'est caractérisé par une baisse des précipitations et des pressions de surface.



(a)





Figure 84: Evolution décennale comparée des précipitations de l'indice Sud-Congo, Centre-Congo et de l'indice Nord-Congo avec les pressions de surface régionales au cours de la saison MAM, période 1950-2005

7.1.2.1. Evolution décennale comparée des pressions atmosphériques de surface à 1000 hPa et de la variabilité pluviométrique au Congo durant les saisons JJA et JJAS

La figure 85 représentant l'évolution décennale comparée de l'indice de pression de surface régionale et les indices pluviométriques au Congo traduit les résultats suivants :

- durant les décennies 1950, 1970 et 1980, l'indice Sud-Congo et les pressions de surface ont une évolution en opposition de phase. Pendant les décennies(1950,1970), la baisse des précipitations est en opposition de phase avec la baisse des pressions de surface régionale, tandis qu'au cours de la décennie 1980, la hausse des précipitations est en opposition de phase avec la hausse des pressions de surface. L'évolution à la baisse des précipitations des décennies 1950 et 1970 n'est pas en relation avec la baisse des pressions de surface régionale. Au cours des décennies 1960, 1990 et 2000, l'évolution des précipitations de l'indice Sud-Congo est synchrone avec celle des pressions de surface régionale. Les précipitations sont à la baisse durant les decennies 1990 et 2000 et les pressions de surface sont à la hausse. Pendant la décennie 1960 les précipitations sont à la hausse et les pressions de surface régionale sont à la baisse ;
- l'indice Centre-Congo, montre qu'au cours des décennies 1960, 1970, 1990 et 2000, l'évolution des précipitations est synchrone avec celle des pressions de surface. En effet, l'évolution à la hausse des précipitations de l'indice Centre-Congo au cours des décennies 1960, 1970 est en phase avec la baisse des pressions de surface régionale. De même, au cours des décennies 1990 et 2000, la baisse des précipitations est en relation avec la hausse des pressions de surface régionale. Au cours des décennies 1950 et 1980, les précipitations de l'indice Centre-Congo sont en











Figure 85 : Evolution décennale comparée des précipitations de l'indice Sud-Congo, Centre-Congo et de l'indice Nord-Congo avec les pressions de surface régionales au cours des saisons JJA et JJAS, période 1950-2005

- Les précipitations et les pressions de surface sont à la baisse au cours de la décennie 1950. Les précipitations et les pressions de surface sont à la hausse durant la décennie1980;
- l'indice Nord-Congo pendant la saison JJA, traduit une évolution en phase entre les précipitations et les pressions durant les décennies 1950, 1960, 1980 et 2000. La hausse des précipitations de l'indice Nord-Congo au cours des décennies 1950, 1960 correspond à la baisse des pressions de surface régionale et d'autre part, la baisse des précipitations des décennies 1980 et 2000, est en phase avec la hausse des pressions tandis que pendant la décennie 1970, les précipitations ont une évolution en opposition de phase avec les pressions de surface. Pendant la décennie 1970, les précipitations et les pressions de surface sont à la baisse. Pendant la décennie 1990, les précipitations sont à la baisse et les pressions de surface sont à la hausse.

7.1.2.1. Evolution décennale comparée des pressions atmosphériques de surface à 1000 hPa et de la variabilité pluviométrique au Congo durant les saisons SON et OND

L'analyse de l'influence de l'indice de pression de surface régionale sur l'indice pluviométrique des précipitations du Sud-Congo, Centre-Congo et Nord-Congo(figure 86), revèle :

- l'indice Sud-Congo et les pressions de surface ont une évolution en opposition de phase au cours des décennies 1950, 1970, 1980 et 1990. Au cours des décennies(1950,1970), la baisse des précipitations est en opposition de phase avec la baisse des presssions de surface régionale, tandis qu'au cours des décennies 1980 et 1990, la hausse des précipitations est en opposition de phase avec la hausse des pressions de surface. Les précipitations sont à la hausse pendant que les pressions de surfaces régionale sont à la hausse. durant les décennies 1980 et 1990, l'évolution des précipitations à la hausse n'est pas en relation avec la hausse des pressions de surface régionales.



(a)



(b)



Figure 86: Evolution décennale comparée des précipitations de l'indice Sud-Congo, Centre-Congo et de l'indice Nord-Congo avec les pressions de surface régionales au cours des saisons SON et OND, période 1950-2005

Au cours des décennies 1960 et 2000, les précipiations ont une évolution en phase avec les pressions de surface régionale. La hausse des précipitations de la décennie 1960 est en relation étroite avec la la baisse des pressions de surface, de meme, la baisse des précipitations de la décennie 2000 est en étroite relation avec la hausse des pressions de surface régionale ;

- l'indice Centre-Congo, montre que pendant les décennies 1950, 1970, 1980, 1990 et 2000, l'évolution des précipitations est en phase avec celle des pressions de surface régionale. En effet, les décennies 1980, 1990 et 2000 les précipitations ont une évolution à la baisse et les pressions de surface ont une évolution à la hausse. De meme, pendant la decennie 1950, les précipitations ont une évolution à la hausse et les pressions de surface ont une évolution à la hausse et les pressions de surface ont une évolution à la hausse et les pressions de surface ont une évolution à la hausse et les pressions de surface ont une évolution à la hausse et les pressions de surface ont une évolution à la baisse. Par contre, durant la décennie 1960, les précipitations et les préssions de surface ont une évolution en opposition de phase. La baisse des précipitations correspond à la baisse des pressions de surface;
- l'indice Nord-Congo avec les pressions de surface durant les décennies 1950, 1980,1990 et 2000 ont une évolution en phase. La hausse des précipitations de l'indice Nord-Congo au cours de la décennie 1950 est en relation avec la baisse des pressions de surface régionale. La baisse des précipitations des décennies 1980, 1990 et 2000, est en phase avec la hausse des pressions de surface régionale. Par contre, pendant les décennies 1960 et 1970, les précipitations ont une évolution en opposition de phase avec les pressions de surface régionales. Les précipitations et les pressions de surface régionale sont à la baisse.

7.2. Analyse des correlations entre les précipitations du Congo et les pressions de surface régionales à 1000 hPa

Pour déterminer le degré de relation entre l'indice des pressions et les indices pluviométriques (ISC : Indice Sud Congo, ICC : Indice Centre Congo et INC : Indice Centre Congo), des corrélations canoniques seront calculées durant trois périodes : 19502005, 1950-1970 et 1971-2005 au premier d'une part au pas de temps annuel et d'autre part au pas de temps saisonnier (JF, DJF, MAM, JJA, JJAS, SON et OND).

7.2.1.Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface régionales à 1000hPa à l'échelle annuelle de 1950 à 2005

L'analyse des correlations entre les indices de précipitations de la première composante principales(Indice-Sud Congo), de la deuxième composante principale(Indice-Centre Congo) et de la troisième composante principale(Indice-Nord Congo) et l'indice de pression de surface régionale des differents points de grille à l'échelle annuelle(tableau 18), montre les résultats suivants :

 Tableau 18 : Résultats des corrélations entre les précipitations des indices Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2) et

 Nord-Congo (CP3) et l'indice des pressions atmosphériques régionales à 1000 hPa à l'échelle annuelle, période 1950

 2005

	-	CPI	CP2	CP3	Pression_1000hPa
СРІ	Corrélation de Pearson	1	-0,091	-0,057	-0,103
	Signification bilatérale		0,510	0,677	0,454
CP2	Corrélation de Pearson	-0,091	1	0,273*	0,008
	Signification bilatérale	0,510		0,043	0,953
CP3	Corrélation de Pearson	-0,057	$0,273^{*}$	1	-0,501**
	Signification bilatérale	0,677	0,043		0,000
Pression_1000hPa	Corrélation de Pearson	-0,103	-0,402	-0,501**	1
	Signification bilatérale	0,454	0,953	0,000	

- Les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Sud-Congo sont négatives et non significatives au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Les valeurs sont relativement faibles.
- les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Centre-Congo sont négatives et non significatives au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-

Pearson. Les valeurs sont nulles. Une diminution des précipitations annuelles de l'indice Centre-Congo est très faiblement associée à une augmentation des présssions de surface régionales ;

 les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Nord-Congo sont négatives et significatives(-53%) au niveau 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson.
 Une diminution des précipitations annuelles de l'indice Nord-Congo est fortrment associée à une augmentation des présssions de surface régionales.

7.2.2. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface régionales à 1000hPa à l'échelle saisonnière

7.2.2.1. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface régionales à 1000hPa pendant les saisons JF et DJF

Le tableau 19, representant les correlations entre les indices des précipitations (de la composante principale 1 (Indice-Sud Congo), de la composante principale 2 (Indice-Centre Congo) et de la composante principale 3 (Indice-Nord Congo)) et l'indice de pression de surface régionale des differents points de grille pendant les saisons JF et DJF traduit les résultats suivants :

- les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Sud-Congo sont négatives et significatives(52%) au niveau 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson.
 Les valeurs sont relativement fortes. Une diminution des précipitations saisonnières de la saison JF de l'indice Sud-Congo est fortement associée à une augmentation régionale des pressions de surface ;
- les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Centre-Congo sont négatives et non significatives au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Les valeurs sont relativement faibles ;

 les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Nord-Congo sont négatives et significatives(53%) au niveau 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson.

Tableau 19: Résultats des corrélations entre les précipitations des indices Sud-Congo(CP1), Centre-Congo(CP2)et Nord-Congo(CP3) et l'indice des pressions de surface à l'échelle régionale au cours des saisons JF et DJF, à1000 hPa, période 1950-2005

		CP1	CP2	CP3
CP1	Corrélation de Pearson	1	0,215	-0,805**
	Signification bilatérale		0,116	0,000
CP2	Corrélation de Pearson	0,215	1	-0,197
	Signification bilatérale	0,116		0,150
CP3	Corrélation de Pearson	-0,805**	-0,197	1
	Signification bilatérale	0,000	0,150	
Pression	Corrélation de Pearson	-0,520**	0,012	0,533**
	Signification bilatérale	0,000	0,930	0,000

7.2.2.2. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface régionales à 1000hPa pendant la saison MAM

L'étude des correlations canoniques entre les indices de précipitations du Congo des trois composantes principales (Sud-Congo, Centre-Congo et Nord-Congo) et l'indice de pression de surface régionale pendant la saison MAM (tableau 20), indique que :

- Les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Sud-Congo sont négatives et significatives(56%) au niveau 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson.
 Les valeurs sont relativement fortes. Une diminution des précipitations saisonnières de la saison MAM de l'indice Sud-Congo est fortement associée à une augmentation régionale des présssions de surface ;
- les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Centre-Congo au cours de la saison MAM sont négatives et non significatives au niveau 0,01 et 0,05

d'après le test de Bravais-Pearson. Les valeurs sont relativement faibles de l'odre de 17 et 19%.

 Les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Nord-Congo sont négatives et non significatives au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson.

CP1 CP2 CP3 Pression MAM -0,642** 0,012 -0,566** Corrélation de Pearson Signification bilatérale 0.000 0.930 0.000 -0,642** Corrélation de Pearson 1 0,011 0,173 ,000, Signification bilatérale 0,935 0,207 Corrélation de Pearson 0,012 .011 -0,177 1 0,930 0,935 0,196 Signification bilatérale -0,566** 1 Corrélation de Pearson 0,173 -0,177 0,000 0,207 Signification bilatérale 0,196

Tableau 20: Résultats des corrélations entre les précipitations des indices Sud-Congo(CP1), Centre-Congo(CP2) et Nord-Congo(CP3) et l'indice des pressions de surface régionale au cours de la saison MAM, à 1000hPa, période 1950-2005.

7.2.2.3. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface régionales à 1000hPa pendant les saisons JJA et JJAS

L'analyse des correlations entre les indices de précipitations de la première composante principales(Indice-Sud Congo), de la deuxième composante principale(Indice-Centre Congo) et de la troisième composante principale(Indice-Nord Congo) et l'indice de pression de surface régionale des differents points de grille pendant les saisons JJA et JJAS, representée par le tableau 21, montre les résultats suivants : les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Sud-Congo sont négatives et significatives(-43%) au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Les valeurs sont moyennement fortes. Ce résultat traduit la baisse des précipitations de la saison JJA est sous l'influence de l'augmentation des pressions de surface régionale ;

Tableau 21: Résultats des corrélations entre les précipitations des indices Sud-Congo(CP1), Centre-Congo(CP2) et Nord-Congo(CP3) et l'indice des pressions de surface régionale au cours des saisons JJA et JJAS, à 1000hPa, période 1950-2005

	-	CP1	CP2	CP3
CP1	Corrélation de Pearson	1	-0,117	-0,052
	Signification bilatérale		0,395	0,707
CP2	Corrélation de Pearson	-0,117	1	0,032
	Signification bilatérale	0,395		0,815
CP3	Corrélation de Pearson	-0,052	0,032	1
	Signification bilatérale	0,707	0,815	
Pression	Corrélation de Pearson	-0,43	0,252	0,178
	Signification bilatérale	0,857	0,063	0,193

- les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Centre-Congo sont positives et non significatives au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Les valeurs sont faibles. Une diminution des précipitations saisonnières en JJAS de l'indice Centre-Congo est faiblement associée à une augmentation régionale des presssions de surface.
- les corrélations entre les pressions de surface régionales et l'indice Nord-Congo sont positives et non significatives au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson.

7.2.2.4. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface régionales à 1000hPa pendant les saisons SON et OND

Les résultats des correlations entre les indices de précipitations des trois composantes principales et l'indice de pression de surface régionale au cours de la saison OND (tableau 22), révèle que:

- les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Sud-Congo sont

négatives et significatives(50%) au niveau 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson.

Les valeurs sont relativement fortes. Une diminution des précipitations saisonnières de la saison OND de l'indice Sud-Congo est fortement associée à une augmentation régionale des présssions de surface et une augmentation des précipitations est associée à une diminution des préssions de surface régionale ;

Tableau 22: Résultats des corrélations entre les précipitations des indices Sud-Congo(CP1), Centre-Congo(CP2) et Nord-Congo(CP3) et l'indice des pressions de surface régionale au cours des saisons SON et OND, à 1000hPa, période 1950-2005

		CP1	CP2	CP3
CP1	Corrélation de Pearson	1	-0,703**	-0,094
	Signification bilatérale		0,000	0,493
CP2	Corrélation de Pearson	-0,703**	1	0,045
	Signification bilatérale	0,000		0,746
CP3	Corrélation de Pearson	-0,094	0,045	1
	Signification bilatérale	0,493	0,746	
Pression	Corrélation de Pearson	-0,500**	0,216	-0,159
	Signification bilatérale	0,000	0,114	0,247

с

orrelations entre les pressions de surface régionales et l'indice Centre-Congo sont positives et non significatives au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Les valeurs sont faibles(21%).

les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Nord-Congo au cours de la saison SON sont négatives et non significatives au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson((-15%).

7.2.3. Analyse des correlations entre pluies et pressions de surface de 1950 à 1970 (période humide)

7.2.3.1. Analyse des correlations pluies et pressions de surface de 1950 à1970 à l'échelle annuelle

L'analyse des correlations entre les indices de précipitations de la première composante principale (Indice-Sud Congo), de la deuxième composante principale(Indice-Centre Congo) et de la troisième composante principale(Indice-Nord Congo) et l'indice de pression de surface régionale des differents points de grille à l'échelle annuelle au cours de la période 1950 à 1970 (tableau 23), montre que :

Tableau 23: des corrélations entre les précipitations des indices Sud-Congo(CP1), Centre-Congo(CP2) et Nord-Congo(CP3) annuelles et l'indice des pressions de surface régionale, à 1000hPa, période 1950-1970

		СРІ	CP2	CP3	Pression_1000hPa
СРІ	Corrélation de Pearson	1	0,762**	-0,056	-0,477*
	Signification bilatérale	L	0,000	0,808	0,029
CP2	Corrélation de Pearson	0,762**	1	0,107	-0,522*
	Signification bilatérale	0,000		0,645	0,015
CP3	Corrélation de Pearson	-0,056	0,107	1	-0,543*
	Signification bilatérale	0,808	0,645		0,011
Pression_1000hPa	Corrélation de Pearson	-0,477*	-0,522*	-0,543*	1
	Signification bilatérale	0,029	0,015	0,011	

 les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Sud-Congo sont négatives et significatives(47%) au niveau 0,01 d'après le test de Bravais-Pearson. Une augmentation des précipitations annuelles de l'indice Sud-Congo durant la période 1950-1970, période qualifiée d'humide au Congo est associée à une diminution des présssions de surface régionales ;

- les correlations canoniques entre les pressions de surface régionales et l'indice
 Centre-Congo sont négatives et significatives(52%) au niveau 0,01 d'après le test de
 Bravais-Pearson. Une augmentation des précipitations annuelles de l'indice Centre Congo au cours de la période 1950-1970, est associée à une diminution des
 presssions de surface régionale.
- les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Nord-Congo sont négatives et significatives au niveau 0,01 d'après le test de Bravais-Pearson. Une augmentation des précipitations annuelles de l'indice Nord-Congo est associée à une diminution des pressions de surface.

7.2.3.3. Analyse des correlations Pluies et Pressions de surface de 1950 à 1970 (période humide) à l'échelle saisonnière

7.2.3.3.1. Analyse des correlations pluies et pressions de surface de 1950 à 1970 durant les saisons JF et DJF

Les corrélations canoniques entre les indices de précipitations des differents indices pluviométriques des composantes principales:indice-Sud Congo, indice-Centre Congo et l'indice-Nord Congo et l'indice de pression de surfac rerégionale pendant les saisons JF et DJF au cours de la période 1950 à 1970(tableau 24), indique les résultats suivants :

 l'indice des pressions de surface régionale et l'indice Sud-Congo ont des corrélations négatives et significatives au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson.
 Cette correlation signifie que les pressions de surface régionales ont une moindre influence sur les précipiations de l'indice Sud-Congo. Une diminution des précipitations saisonnières de JF de l'indice Sud-Congo au cours de la période 19501970 n'est pas associée à une augmentation régionale des présssions de surface ; une augmentation des précipitations n'est pas associée à une dimunition des pressions de surface régionales ;

Tableau 24: des corrélations entre les précipitations des indices Sud-Congo(CP1), Centre-Congo(CP2) et Nord-Congo(CP3) et l'indice des pressions de surface régionale au cours des saisons JF et DJF, à 1000hPa, période 1950-1970.

		СРІ	CP2	CP3	Pression_1000hPa
СРІ	Corrélation de Pearson	1	0,762**	-0,056	-0,477
	Signification bilatérale		0,000	0,808	0,029
CP2	Corrélation de Pearson	0,762**	1	0,107	-0,522*
	Signification bilatérale	0,000		0,645	0,015
CP3	Corrélation de Pearson	-0,056	0,107	1	-0,543
	Signification bilatérale	0,808	0,645		0,011
Pression_1000hPa	Corrélation de Pearson	-0,477*	-0,522*	-0,543*	1
	Signification bilatérale	0,029	0,015	0,011	

- les correlations entre l'indice des pressions de surface régionale et l'indice Centre-Congo sont négatives et significatives(-52%) au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Une diminution des précipitations saisonnières de JF de l'indice Centre-Congo est associée baisse des présssions de surface régionales et une augmentation des précipitations est associée à une augmentation des pressions de surface régionale ;
- Les pressions de surface régionale et l'indice Nord-Congo ont également des corrélations négatives et significatives(-54%) au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson par conséquent, une diminution des précipitations saisonnières de DJF de l'indice Nord-Congo est associée à une baisse des présssions de surface régionales .

7.2.3.3.2. Analyse des correlations pluies et pressions de surface de 1950 à 1970 durant la saison MAM

Le tableau 25, renfermant les correlations canoniques entre les indices de précipitations de la composante principale Sud-Congo, de la composante principale Centre-Congo et de la composante principale Nord-Congo et l'indice de pression de surface rerégionale durant la saison MAM indique que :

l'indice Sud-Congo et les pressions de surface ont des corrélations négatives et significatives(-30%) au niveau 0,01 d'après le test de Bravais-Pearson. une augmentation des précipitations de la saison MAM de l'indice Sud-Congo est associée à une baisse des préssions de surface ;

Tableau 25: Résultats des corrélations entre les précipitations des indices Sud-Congo(CP1), Centre-Congo(CP2) et Nord-Congo(CP3) et l'indice des pressions de surface régionale au cours de la saison MAM, à 1000hPa, période 1950-1970.

		CP1	CP2	CP3	Pression_1000hPa
CP1	Corrélation de Pearson	1	0,676 ^{**}	-0,040	-0,305
	Signification bilatérale		0,001	0,864	0,179
CP2	Corrélation de Pearson	0,676**	1	-0,298	-0,207
	Signification bilatérale	0,001		0,190	0,367
CP3	Corrélation de Pearson	-0,040	-0,298	1	-0,145
	Signification bilatérale	0,864	0,190		0,530
Pression	Corrélation de Pearson	-0,305	-0,207	-0,145	1
_1000hP a	Signification bilatérale	0,179	0,367	0,530	

 les correlations canoniques entre l'indice Centre-Congo et l'indice des pressions atmosphériques sont négatives et non significatives au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Ceci implique une augmentations des précipitations de la saison MAM de l'indice Centre-Congo est associée à une baisse des pressions de surface régionales ;
les corrélations entre l'indice de pressions de surface régionales et l'indice Nord-Congo sont négatives et non significatives au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Les précipiations à la hausse durant la saison MAM au cours de la période humide n'est pas associée uniquement à une diminution des présssions de surface régionale, mais beaucoup plus à la dynamique extra-régionale.

7.2.3.3.3. Analyse des correlations pluies et pressions de surface de 1950 à 1970 durant les saison JJA et JJAS

L'analyse des correlations entre les indices de précipitations : l'indice-Sud Congo, l'indice-Centre Congo et l'indice-Nord Congo et l'indice de pression de surface régionale des differents points de grilles pendant les saisons JJA et JJAS au cours de la période 1950-1970(tableau 26), montre les résultats suivants :

- les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Sud-Congo sont négatives et significatives(-53%) au niveau 0,01 d'après le test de Bravais-Pearson.
 Ces résultats montrent que la baisse des précipitations saisonnières de JJAS de l'indice Sud-Congo durant la période humide est associée à une augmentation des préssions de surface régionales ;
- les correlations entre les pressions de surface régionales et l'indice Centre-Congo sont négatives et significatives(-24%) au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. L'évolution à la baisse des précipiations de l'indice Centre-Congo durant la période 1950-2005 est associée à une augmentation des pressions de surface régionale ;
- les correlations entre l'indice Nord-Congo et l'indice des préssions de surface sont négatives et significatives(-36%) au niveau 0,01 d'après le test de Bravais-Pearson.
 Ces corrélations significatives traduisent une évolution à la hausse des précipitations de l'indice Nord-Congo en relation à la baisse des préssions de surface régionale.

Tableau 26: des corrélations entre les précipitations des indices Sud-Congo(CP1), Centre-Congo(CP2) et
Nord-Congo(CP3) et l'indice des pressions de surface régionale au cours des saisons JJA et JJAS, à
1000hPa, période 1950-1970.

		CP1	CP2	CP3	Pression_1000hPa
CP1	Corrélation de Pearson	1	0,688**	0,397	-0,43
	Signification bilatérale		0,001	0,074	0,857
	Ν	21	21	21	0,17
CP2	Corrélation de Pearson	0,688**	1	0,137	0,063
	Signification bilatérale	0,001		0,552	0,25
	Ν	21	21	21	0,193
CP3	Corrélation de Pearson	0,397	0,137	1	1
	Signification bilatérale	0,074	0,552		
	Ν	21	21	21	

7.2.3.3.4. Analyse des correlations entre indices des précipitations et indice de pressions de surface de 1950 à 1970 durant les saisons SON et OND

Le tableau 27, renfermant les résultats des corrélations canoniques des indices de précipitations et l'indice de pression de surface régionale pendant les saisons SON et OND durant la période humide 1950 à 1970, révèle que :

- les correlations entre l'indice Sud-Congo et les préssions de surface sont négatives et fortement significatives(-67%) au niveau 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson.
 Ceci signifie que l'évolution des précipitations saisonnières de l'indice Sud-Congo à la hausse est fortement associée à la baisse des préssions de surface régionale ;
- l'analyse des corrélations canoniques entre les pressions de surface régionale et l'indice Centre-Congo montre qu'elles sont négatives et significatives au niveau 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Ces résultats traduisent une influence de la baisse des présssions de surface régionale sur l'augmentation des précipitations de l'indice Centre-Congo de la saison OND durant la période humide ;

Tableau 27: Résultats des corrélations entre les précipitations des indices Sud-Congo(CP1), Centre-Congo(CP2) et Nord-Congo(CP3) et l'indice des pressions de surface régionale au cours de la saison OND, à 1000hPa, période 1950-1970

	-	CP1	CP2	CP3
CP1	Corrélation de Pearson	1	0,329	-0,244
	Signification bilatérale		0,145	0,287
CP2	Corrélation de Pearson	0,329	1	0,029
	Signification bilatérale	0,145		0,899
CP3	Corrélation de Pearson	-0,244	0,029	1
	Signification bilatérale	0,287	0,899	
Pression_1	Corrélation de Pearson	-0,672**	-0,404	0,046
000hPa	Signification bilatérale	0,001	0,069	0,842

- les correlations entre les pressions de surface régionale et l'indice Nord-Congo au cours de la saison SON sont négatives et non significatives au niveau 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. L'évolution à la hausse des précipitations saisonnières de l'indice Nord-Congo est faiblement associée à une baisse des préssions de surface régionale. La véritable cause de l'augmentation des précipitations de l'indice Nord-Congo est à rechercher dans la dynamique externe à la région.

7.2.3. Analyse des correlations pluies et pressions de surface à 1000 hPa durant la période 1971-2005 (période seche)

7.2.3.1. Analyse des correlations indices oluviométriques et indices des pressions de surface à 1000 hPa durant la période 1971-2005 (période sèche) à l'échelle annuelle

Les corrélations canoniques entre les indices des précipitations et l'indice de pression de surface régionale à l'échelle annuelle pendant la période 1971-2005 dite sèche (tableau 28), traduit:

 les corrélations entre les pressions de surface régionales et l'indice Sud-Congo sont négatives et non significatives au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Les valeurs sont relativement faibles. Ces résultats montrent que l'évolution à la baisse des précipitations annuelles de l'indice Sud-Congo durant la période sèche n'est pas associée à une augmentation régionale des prèsssions de surface ;

 Tableau 28: Résultats des corrélations entre les précipitations des indices Sud-Congo(CP1), Centre-Congo(CP2) et

 Nord-Congo(CP3) annuelles et l'indice des pressions de surface régionale à 1000hPa, période 1971-2005.

	-	CPI	CP2	CP3	Pression_1000hPa
СРІ	Corrélation de Pearson	1	$0,469^{**}$	-0,054	-0,047
	Signification bilatérale		0,005	0,762	0,793
CP2	Corrélation de Pearson	0,469**	1	0,286	-0,128
					-0,12
	Signification bilatérale	,005		0,102	0,470
CP3	Corrélation de Pearson	-,054	0,286	1	-,052
	Signification bilatérale	0,762	0,102		0,768
Pression_1000hPa	Corrélation de Pearson	-0,047	-0,128	-0,052	1
	Signification bilatérale	0,793	0,470	0,768	

- l'indice Centre-Congo et l'indice des pressions de surface régionales ont des corrélations négatives et non significatives au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Ceci traduit comme pour l'indice Sud-Congo, la baisse des précipitations annuelles de l'indice Centre-Congo durant la période 1971-2005 n'a pas pour cause directe, l'augmentation des préssions atmosphériques régionales. Les causes de cette baisse sont à rechercher dans la dynamique extra-régionale ;
- les corrélations entre les pressions de surface régionales et l'indice Nord-Congo sont négatives et non significatives au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Il est à noter que l'évolution à la baisse des précipitations annuelles de l'indice Nord-Congo n'est pas directement associée à une augmentation des préssions de surface régionale. Ceci reflete une influence extra-régionale.

7.2.2.3. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface à l'échelle saisonnière

7.2.2.3.1. Analyse des correlations entre les indices des précipitations et les indices des pressions de surface pendant les saisons JF et DJF

Les corrélations entre les indices de précipitations des saisons JF et DJF et l'indice de pression de surface régionale pendant les saisons JF et DJF (tableau 29), montre les résultats suivants :

 l'indice Sud-Congo et l'indice des pressions de surface régionales sont négatives et fortement significatives (-65%) au niveau 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Ces résultats traduisent une évolution à la baisse des précipitations fortement associée à une augmentation des préssions de surface régionale ;

Tableau 29: Résultats des corrélations entre les précipitations des indices Sud-Congo(CP1), Centre-Congo(CP2) et Nord-Congo(CP3) et l'indice des pressions de surface régionale au cours des saisons JF et DJF, à 1000hPa, période 1971-2005.

	-	CP1	CP2	CP3
CP1	Corrélation de Pearson	1	0,217	-0,878**
	Signification bilatérale		0,217	0,000
CP2	Corrélation de Pearson	0,217	1	-0,270
	Signification bilatérale	0,217		0,123
CP3	Corrélation de Pearson	-0,878**	-0,270	1
	Signification bilatérale	0,000	0,123	
Pression_1000h	Corrélation de Pearson	-0,653**	-0,063	0,707**
Ра	Signification bilatérale	0,000	0,724	0,000

- les corrélations entre les pressions de surface régionales et l'indice Centre-Congo sont négatives et non significatives au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson(-6%). Ceci montre une moindre influence des pressions de surface régionales sur la baisse des précipitations de l'indice Centre-Congo au cours de la période sèche;
- les corrélations entre les préssions de surface régionales et l'indice Nord-Congo pendant la saison DJF sont négatives et fortement significatives (-70%) au niveau 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Ces résultats indiquent une forte influence des préssions de surface régionale sur la baisse des précipitations de DJF de l'indice Nord-Congo durant la période sèche.

7.2.2.3.2. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface pendant la saison MAM

Le tableau 30 renfermant les corrélations entre les indices de précipitations de la saison MAM et l'indice de pression de surfacerégionale durant la période 1971-2005, traduit que :

 Tableau 30: Résultats des corrélations entre les précipitations des indices Sud-Congo(CP1), Centre-Congo(CP2) et

 Nord-Congo(CP3) et l'indice des pressions de surface régionale au cours de la saison MAM, à 1000hPa, période 1970-2005.

		CP1	CP2	CP3	Pression_1000hPa
CP1	Corrélation de Pearson	1	-0,892**	-0,084	-0,555**
	Signification bilatérale		0,000	0,637	0,001
CP2	Corrélation de Pearson	-0,892**	1	0,106	0,480***
	Signification bilatérale	0,000		0,550	0,004
CP3	Corrélation de Pearson	-0,084	0,106	1	0,019
	Signification bilatérale	0,637	0,550		0,914
Pression 1000hP	Corrélation de Pearson	-0,555**	$0,\!480^{**}$	0,019	1
a	Signification bilatérale	0,001	0,004	0,914	

les correlations sont négatives et moyennements significatives(-55%) au niveau 0,05
 entre les pressions de surface régionales et l'indice Sud-Congo d'après le test de

Bravais-Pearson. Cette corrélation montre comme durant la saison JF, une forte influence des préssions de surface régionales sur la baisse des précipitations de MAM de l'indice Sud-Congo durant la période sèche;

- les corrélations entre les pressions de surface régionales et l'indice Centre-Congo sont aussi négatives et significatives (-48%) au niveau 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Ceci traduit une forte influence des pressions de surface régionales sur la baisse des précipitations de l'indice Centre-Congo en MAM pendant la période sèche ;
- les correlations entre l'indice Nord-Congo et l'indice des pressions de surface régionale sont négatives et non significatives au niveau 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson (1%). Ces résultats nous renseignent une faible influence des préssions de surface régionales sur la baisse des précipitations de l'indice Nord-Congo en MAM pendant la période sèche. Les causes de cette baisse sont à rechercher dans la dynamique extra-régionale.

7.2.2.3. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface pendant les saisons JJA et JJAS

Les résultats des correlations canoniques des indices de précipitations des saisons JJA et JJAS et l'indice de pression de surface régionale(tableau 31), traduisent que :

- les corrélations entre l'indice des pressions de surface régionales et l'indice Sud-Congo en JJAS sont négatives et moyennement significatives(-52%) au niveau 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Les valeurs des corrélations renseignent une forte influence des préssions de surface régionales la baisse des précipitations de JJAS de l'indice Sud-Congo durant la période sèche ;
- les corrélations entre l'indice des pressions de surface régionales et l'indice Centre-Congo sont négatives et non significatives au niveau 0,05 d'après le test de Bravais-

Pearson(-14%). Ceci révèle une faible influence des pressions de surface régionale

sur la baisse des précipitations de l'indice Centre-Congo pendant la période sèche ;

Tableau 31: Résultats des corrélations entre les précipitations des indices Sud-Congo(CP1), Centre-Congo(CP2) et Nord-Congo(CP3) et l'indice des pressions de surface régionale au cours des saisons JJA et JJAS, à 1000hPa, période 1970-2005.

		CP1	CP2	CP3
CP1	Corrélation de Pearson	1	-0,027	-0,874**
	Signification bilatérale		0,881	0,000
CP2	Corrélation de Pearson	-0,027	1	0,072
	Signification bilatérale	0,881		0,684
CP3	Corrélation de Pearson	-0,874**	0,072	1
	Signification bilatérale	0,000	0,684	
Pression_	Corrélation de Pearson	-0,524**	-0,140	0,498 ^{**}
1000hPa	Signification bilatérale	0,001	0,430	0,003

 les correlations entre l'indice Nord-Congo et l'indice des préssions de surface régionales durant la saison JJA sont négatives et moyennement significatives (-49%) au niveau 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Ces résultats traduisent une forte influence des pressions de surface régionales sur la baisse des précipitations de JJA de l'indice Nord-Congo au cours de la période sèche.

7.2.2.4. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions pendant les saisons SON et OND

Les résultats des corrélations entre les indices des précipitations des saisons SON et OND à savoir : Indice-Sud Congo, Indice-Centre Congo, l'Indice-Nord Congo et l'indice de pression de surface régionale durant les saisons SON et OND (tableau 32), traduisent que:

les corrélations sont négatives et fortement significatives (-57%) au niveau 0,05 entre
 l'indice Sud-Congo et les l'indice des pressions de surface d'après le test de Bravais Pearson. Les valeurs significatives des coorélations montrent une forte influence des

pressions de surface régionales sur la baisse des précipitations de OND de l'indice Sud-Congo durant la période sèche ;

Tableau 32 : Résultats des corrélations entre les précipitations des indices Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2) et Nord-Congo (CP3) et l'indice des pressions de surface régionale au cours de la saison OND, à 1000hPa, période 1971-2005.

		CP1	CP2	CP3	Pression_1000hPa
CP1	Corrélation de Pearson	1	-0,847**	-0,137	-0,578**
	Signification bilatérale		0,000	0,438	0,000
CP2	Corrélation de Pearson	-0,847**	1	0,069	0,430*
	Signification bilatérale	0,000		0,699	0,011
CP3	Corrélation de Pearson	-0,137	0,069	1	0,031
	Signification bilatérale	0,438	0,699		0,861
Pression_	Corrélation de Pearson	-0,578**	0,430*	0,031	1
1000hPa	Signification bilatérale	0,000	0,011	0,861	

- les correlations canoniques sont négatives et moyennement significatives (-43%) au niveau 0,01 d'après le test de Bravais-Pearson entre l'indice Centre-Congo et l'indice des préssions de surface. Une fois de plus, ces résultats traduisent une forte influence de l'augmentation des préssions de surface régionale sur la baisse des précipitations de OND de l'indice Centre-Congo au cours de la période sèuche ;
- les correlations entre l'indice des pressions de surface régionales et l'indice Nord-Congo durant la période SON sont non significatives (3%) au niveau 0,01 et 0,05 d'après le test de Bravais-Pearson. Ces résultats montrent une faible influence des pressions de surface régionales sur la baisse des précipitations de l'indice Nord-Congo de la saison SON durant la période sèche. Les causes de cette baisse sont extarégionales.

Conclusion du chapitre 7

L'analyse des corrélations entre les indices des précipitations des composantes principales et les pressions régionales sont négatives et en général statistiquement significatives d'après le test de Bravais-Pearson au niveau 0,01 et 0,05. Notons cependant une variation spatiale à l'échelle annuelle. Les correlations sont fortes et significatives pour la troisème composante principale et non pour la première et la deuxième composante principale. A l'échelle saisonnière, elles sont significatives pour les trois indices pluviométriques et l'indice des pressions de surface régionales.

Au cours de la période 1950-1970, les correlations sont fortes et significatives entre les précipitations des trois composantes principales et l'indice des pressions régionales. Ceci confirme l'influence des préssions de surface régionales sur la variabilité pluviométrique annuelle au cours de la période humide au Congo. A l'échelle saisonnière, les corrélations sont non significatives pendant la saison JF et DJF. Par contre, elles sont fortement significatives dans l'ensemble au cours des saisons MAM, JJA, JJAS et OND, ceci traduit l'influence réelle, des préssions de surface régionales sur la variabilité pluviométrique saisonnière de la période humide au Congo.

Au cours de la période 1971-2010, période sèche au Congo, les corrélations entre les trois indices pluviométriques et l'indice des préssions de surface régionales à l'échelle annuelle sont non significatives dans l'ensemble, ceci montre une faible influence des préssions de surface régionales sur la baisse des précipitations annuelles au cours de la période sèche au Congo. A l'échelle saisonnière par contre, les corrélations sont fortement significatives pendant les saisons JF, DJF,MAM, JJA,JJAS, SON et OND au cours de la période 1971-2005, traduisant une grande influence des préssions de surface régionales sur la baisse des précipitations de surface régionales sur la baisse des précipitations de surface régionales sur la baisse des préssions de surface régionales sur la baisse des préssions de surface régionales sur la baisse des préssions de surface régionales sur la baisse des précipitations de la hausse des pressions de surface régionales sur la baisse des précipitations de la baisse des précipitations de surface régionales sur la baisse des précipitations de la hausse des pressions de surface régionales sur la baisse des précipitations de surface régionales surface régionales surface régionales surface régionales surface régionales surface régionales surface r

précipiations avec cependant une nuance du point de vue spatiale(d'une composante à l'autre) et du point de vue temporelle(annuelle, saisonnière et décennale), aussi bien pendant la période 1950-2005, qu'aucours des périodes 1950-1970 et 1971-2005.

Discussion des résultats

1. <u>A propos de la variabilité pluviométrique au Congo</u>

La variabilité pluviométrique au Congo fait ressortir les résultats majeurs suivants :

 l'existence de trois zones (domaines pluviométriques) cohérentes aussi bien à l'échelle annuelle que saisonnière : CP1 (Sud-Congo), CP2 (Centre-Congo) et CP3 (Nord-Congo) obtenues à partir des Analyses en Composantes Principales avec Rotation Varimax (ACPR).

La régionalisation obtenue est donc caractérisée par un découpage zonal avec des limites pluviométriques correspondants approximativement aux limites latitudinales. Cette régionalisation épouse la délimitation des régimes pluviométriques du Congo (équatorial au nord, sub-équatorial au Centre et tropical humide au Sud) calqué sur une évolution latitudinale des stations pluviométriques).Cette régionalisation est proche de celle de Samba-Kimbata (1978). Dans cette thèse, la régionalisation du Congo est obtenue à partir des ACPRV (Analyse en Composante Principale avec Rotation Varimax), ce qui n'est pas le cas pour la régionalisation de Samba-Kimbata.

 trois régimes pluviométriques ressortent de ces trois régions pluviométriques homogènes : équatorial pour la CP3(Nord-Congo), sub-équatorial pour la CP2 (Centre-Congo) et tropical humide pour la CP1(Sud-Congo).

Les trois régimes pluviométriques cités sont obtenus à partir des critères de différenciation fondamentaux :

-l'intensité des cumuls mensuels (avec un seuil de différenciation d'au moins 100,
150 et 200 mm entre mois humides et mois secs pour chaque région pluviométrique.

264

Ces seuils rejoignent ceux utilisés par Djoufack-Manetsa (2011) dans la caractérisation des trois types de régimes pluviométriques au Cameroun ;

 l'allure du profil pluviométrique (permet de distinguer les régimes uni-modaux à un maximum et un minimum et les régimes bi-modaux : à deux maximums et deux minimums);

 la longueur de la saison des pluies (avec un seuil de différenciation d'au moins 300 mm entre saison des pluies et saison sèche..

Ces résultats épousent ceux de Samba-Kimbata (1978 ; 1991) qui a obtenu également trois régimes pluviométriques au Congo.

Par contre, ces résultats sont différents de ceux de Samba et Nganga (2008 ; 2011) qui trouvent deux régimes pluviométriques au Congo : le régime tropical humide au Sud du Congo et le régime équatorial au Nord du Congo. On constate alors, la disparition du régime pluviométrique sub-équatorial qui est caractéristique du Centre-Congo. Notons que les approchent méthodologiques utilisées par Samba et Nganga (2005, 2011) diffèrent de celles utilisées dans cette Thèse : la régionalisation des régions pluviométriques à partir des ACPRV, l'intensité des cumuls mensuels (avec trois seuils de différenciation entre mois humides et mois secs), et la longueur de la saison des pluies (avec un seuil de différenciation d'au moins 300 mm entre saison des pluies et saison sèche). Ces principaux critères associés dans l'analyse des régimes pluviométriques du Congo aussi bien durant les trois sous périodes (1950-2005 ; 1950-1970 ; 1971-2005) permettent de détecter l'existence du régime subéquatorial (caractéristique de la zone Centre-Congo). Ce régime pluviométrique se différencie bien du régime tropical humide (caractéristique de la zone Sud-Congo) et du régime équatorial (caractéristique de la zone Nord-Congo).

 les trois domaines pluviométriques accusent une tendance générale à la baisse significative de la pluviométrie qui s'accompagne d'une variabilité spatio-temporelle importante aux différentes échelles : annuelle, saisonnière et décennale. Deux types de changements affectent les précipitations du Congo. Le premier type concerne la répartition spatiale des précipitations. Les trois composantes principales ont une évolution non synchrone. La CP1 accuse une évolution à la hausse pluviométrique non significative de 1950 à 1970 tandis que la CP2 et la CP3 connaissent pluviométrique à la hausse significative. Au cours de la période 1971-2005, les trois composantes principales ont une évolution synchrone, traduisant une baisse significative des précipitations à l'échelle annuelle, saisonnière et décennale. Ces résultats traduisent dans l'ensemble une période humide (1950-1970) et une période sèche (1971-2005), avec l'année 1970 qui constitue un point d'inflexion. Les tests de rupture (Pettitt, Buishand, Lee et Heghinian et Hubert), appliqués sur les séries des précipitations confirment cette subdivision de la série temporelle des précipitations en deux périodes, avec des ruptures dans l'ensemble significatives en 1970 ou 1980.

Les résultats de cette thèse sont en inadéquation avec la configuration climatique globale qui traduit un réchauffement de la planète, un réchauffement des eaux océaniques induit par conséquent une tendance à la hausse des précipitations. Ce qui n'est pas le cas à l'échelle du Congo. Ceci pousse d'ailleurs à penser à une confirmation de l'hypothèse selon laquelle : « la variabilité des précipitations du Congo des six dernières décennies est le résultat d'une part des facteurs locaux propre au Congo et d'autre part le fruit d'une inter connexion des indices océaniques et atmosphériques à l'échelle globale ».

Les résultats de cette thèse sont cependant en adéquation à ceux trouvés en Afrique Centrale et au Congo (Lerique, 1983 ; Suchel, 1987 ; Tsalefac, 1990 ; Mahé, 1990 ; Samba-Kimbata, 1991 ; Olivry et al, 1993 ; Bigot, 1997;Bigot et al., 1997 ; Maloba-Makanga et Samba, 1997; Ibiassi, 2003 ; Samba et Mpounza, 2005 ; Samba et Nganga, 2011 ; Ibiassi et al., 2013), qui ont montré une évolution à la baisse de la pluviométrie à partir de 1970 . Ces auteurs concluent que l'Afrique Centrale, considérée comme un espace pluvieux, connait cependant après 1970, une baisse continuelle de la pluviométrie et des grandes inégalités dans sa distribution. Notons cependant que l'année 1980 se révèle comme celle au cours de laquelle la baisse des précipitations au Congo devient significative. Ce constat n'est pas fait par les auteurs qui ont travaillé sur le Congo avant cette présente thèse. En effet, la plu part ont travaillé à l'échelle stationnelle et n'ont pas associé plusieurs tests de détection de ruptures de la stationnarité des séries pluviométriques pour la détection des ruptures. Certains auteurs concluent même a une absence des ruptures sur les séries des précipitations (Samba et Nganga, 2011). Dans cette thèse, quatre tests de rupture : Buishand (méthode des écarts cumulés), Lee et Heghinian (méthode bayésienne), Hubert (méthode de la segmentation) et Pettitt ont permis de mettre en évidence la présence de ruptures significative en 1970 et 1980 sur les séries des précipitations des trois régions pluviométriques du Congo. L'année 1970 est détectée comme celle qui annonce la rupture de la stationnarité sur les séries des précipitions au Congo, se qui se confirme en 1980 qui marque un point d'inflexion sur les séries des précipitations aussi bien annuelle que saisonnières dans les trois régions pluviométriques au Congo.

Dans cette thèse est également faite l'analyse de la variabilité au Congo à l'échelle décennale qui a permis d'apprécier le degré de la hausse des précipitations durant la période humide (1950-1970) et la baisse des précipitations durant la période sèche (1971-2005).

En effet, les précipitations annuelles accusent une baisse significative qui atteint jusqu' à 70 voire 80 % après la décennie 1970 pour la CP2 et la CP3. Les précipitations saisonnières de MAM et OND accusent une baisse significative des précipitations de l'ordre de 50% après la décennie 1970 pour la CP1, CP2 et la CP3.

Ceci nous permet de confirmer le risque de persistance de longues périodes anormalement sèches ou pluvieuses au Congo après la décennie 1980, question qui réjoint celle posée par Beltrando et Camberlin, 1993; Camberlin (1995 et 1997) et Moron (1992 et 1994) qui ont détecté un risque de persistance de longues périodes anormalement sèches ou pluvieuses à partir de 1970 en Afrique de l'Ouest.

267

2. <u>A propos de la dynamique océanique</u>

La dynamique océanique de 1950 à 2005 est appréciée à travers les champs de température de surface océanique grâce auxquels quatre indices océaniques ont été calculés : AMO (Atlantic Multi-décennal Oscillation), NAO (North Atlantic Oscillation), SOI (Southern Oscillation Index) et Nino3_4 (Indices de températures de surface océaniques).

L'évolution de ces indices océaniques montre que :

A l'échelle annuelle

- Les indices AMO et Nino3.4 enregistrent dans l'ensemble deux périodes bien distinctes 1950-1972 qui est déficitaire (refroidissement) et la période 1973-2005 qui est excédentaire (réchauffement) ;
- l'indice SOI, par contre, montre deux périodes : la période antérieure à 1970 caractérisée par une tendance à la hausse et la période postérieure à 1970, caractérisée par une évolution à la baisse.
- l'indice NAO enregistre deux phases : 1950-1980, déficitaire, caractérisée par une prédominance des anomalies négatives avec une période de retour de 2 à 3 ans et deux années d'intensités majeures 1958 et 1968. Par contre la période 1981-2005 est excédentaire et se caractérise par une prédominance des anomalies positives avec une période de retour de 3 à 5 ans.

Les résultats de l'évolution des indices océaniques (Nino3.4 et AMO) à l'échelle annuelle est en phase avec la tendance de l'évolution globale. La période 1950-1970, caractérisée par une tendance à la baisse des eaux de l'Atlantique et du Pacifique, correspand à la période du refroidissement des eaux de surface de l'océan global matérialisé par la baisse des TSO de l'atlantique et du pacifique. De même, la période 1971-2005, caractérisée par une tendance à la hausse des eaux de l'Atlantique et du Pacifique, correspond à la période du réchauffement global des eaux de surface de l'océan global. Ces résultats épousent ceux obtenus par *Rowell et al. (1995)*, *Ward (1998)*, *Trzaska et al. (1996)* qui mettent en évidence un mode (4^emode) de TSM extratropical d'échelle globale (GE), représentant une tendance multi décennale décrivant un net renversement hémisphérique (chaud au sud et froid au nord) des anomalies à partir des années 1970.

L'évolution saisonnière des indices océaniques revèle que :

- l'indice AMO en JF et DJF est caractérisée par trois périodes : 1950-1962 et 1995-2005, excédentaires (réchauffement) et la période 1963-1994, déficitaire (refroidissement);
- l'indice SOI pendant les saisons JF et DJF est quasi stable sur l'ensemble de la période. On note une rareté des ENSO de grande intensité, exceptée celle de 1982-1983 déjà perceptible à l'échelle annuelle;
- l'indice AMO en MAM, indique deux périodes :1950-1970 et 1971-1996 excédentaires (réchauffement) et une période 1997-2005 déficitaire (réfroidissement);
- l'indice SOI en MAM, montre une alternance des années excédentaires et des années déficitaires de période de retour de 2 à 5 ans, de faible intensité ;
- l'indice AMO en SON et OND revèle trois périodes: les périodes excédentaires
 1950-1962 et 1994-2005 et la période déficitaire 1963-1993.

Les résultats de l'évolution des indices océniques à l'échelle saisonnière sont similaires avec ceux obtenus à l'échelle annuelle : refroidissement des eaux de l'Atlantique et du Pacifique durant la période antérieure à 1970 et réchauffement des eaux de l'Atlantique et du Pacifique au cours de la période postérieure à 1970. Ces résultats sont une fois de plus conformes à l'évolution globale (GIEC, 2012).

L'évolution décennale des indices océaniques de 1950 à 2005 indique que :

l'indice SOI enregistre 2 décennies sur 6 qui sont excédentaires, contre 4 décennies sur 6 qui sont déficitaires;

- l'indice AMO a enregistré trois (3) décennies sur six (6) qui sont déficitaires (refroidissement), contre 3 décennies sur 6 qui sont excédentaires (rechauffement).La décennie 1970 enregistre les températures les plus faibles (-25%) et les décennies 1950 et 2000 enregistrent les températures les plus fortes(12%);

- l'indice Nino3.4 au cours de la saison MAM montre que 4 décennies sur 6 sont déficitaires (réfroidissement) : 1950, 1960, 1970 et 2000, contre 2 décennies sur six qui sont excedentaires (réchauffement): 1980 et 1990 ;
- l'indice SOI enregistre une évolution décennale caractérisée par trois (3) décennies sur six (6) déficitaires: 1960, 1980 et 1990, contre trois (3) décennies sur six (6) excédentaires: 1950, 1970 et 2000. La décennie 1970 caractérise le maximum de hausse, tandis que les décennies 1980 et 1990 caractérisent le maximum de réfroidissement.

Les résultats de l'évolution des indices océaniques à l'échelle decennale confirment la tendance obtenue à l'échelle annuelle et inter annuelle : les décennies antérieures à 1970 sont marquées par un réfroidissement des eaux de l'Atlantique et du Pacifique et les décennies postérieures à 1970 sont caractérisées par un réchauffement des eaux de surface du Pacifique et de l'Atlantique.

3. <u>A PROPOS DE LA DYNAMIQUE ATMOSPHERIQUE</u>

L'évolution inter annuelle du Geopotentiel à 1000 hPa, montre que :

 à l'échelle annuelle et à l'échelle saisonnière, préssion atmosphérique traduit une tendance à l'augmentation significative à partir de l'année 1980. La période antérieure à 1980 est caractérisée par une tendance à la baisse des pressions atmosphériques. Ces résultats sont en harmonies avec ceux obtenus par Norrant et Dounguédroit (2004), Kidson (1977), Stockenius (1981), Newell et Kidson (1979 et 1984) qui trouvent deux périodes distinctes sur l'évolution des pressions du sud-est méditerranéen : la période 1950-1970, caractérisent une tendance à la baisse des pressions atmosphériques et la période 1971-2005, matérialise une tendance à la hausse des pressions de surface locales.

L'analyse de l'évolution décennale de la pression atùosphérique montre que trois décennies sur six ont des pressions à la baisse (1950,1960,1970) et trois décennies sur six ont des pressions à la hausse (1980, 1990 et 2000).

Il se degage que les décennies qui enregistrent les pressions à la baisse coincident avec la période antérieure à 1970, et les décennies qui enregistrent les pressions à la hausse, coincident avec la période postérieure à 1970.

Les résultats obtenus sur l'évolution des pressions atmosphériques régionales traduisent deux grandes tendances : 1950-1970 (baisse des pressions) et 1971-2005 (augmentation des pressions). Cette tendance est en phase avec l'évolution des précipitations du Congo. En effet, la période de la tendance à la baisse des pressions régionale correspond à la période humide des précipitations au Congo et la période de la tendance à la hausse des pressions régionales coïncide avec la période de la baisse des précipitations du Congo. Ces résultats nous amènent à penser à une forte influence de la composante atmosphérique, notamment la baisse ou la hausse des pressions régionale et extrarégionale sur la hausse ou baisse des précipitations du Congo durant les périodes humides (1950-1970) et sèche (1971-2005).

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices de précipitations et les indices de pressions atmosphériques devrait confirmer noc affirmations sur trois souspériodes: 1950-2005 ; 1950-1970 et 1971-2005.

4. A propos de la relation entre la variabilité pluviométrique et la dynamique océanique

L'analyse de corrélations canoniques entre les indices des précipitations au Congo et les indices océaniques viennent confirmer les résultats obtenus à l'échelle decennale : un lien relativement fort existe aussi bien à l'échelle annuelle qu'à l'échelle saisonnière entre l'évolution d'une part à la baisse des indices océaniques et l'évolution à la baisse des indices pluviométriques durant la période 1950-1970 et d'autre part entre l'évolution à la hausse des indices océaniques et l'évolution à la baisse des indices océaniques.

Si on considère toute la période d'analyse (1950-2005) :

durant les saisons JF et DJF, quatre indices océaniques sont corrélés significativement à l'indice Centre-Congo (CP2): AMO, la SOI, la NAO et Nin3.4. Au cours de la saison MAM, un seul indice SOI est corrélé significativement à l'indice Sud-Congo (CP1). Pendant la saison JJAS, deux indices océaniques sont corrélés significativement aux indices pluviométriques du Congo à savoir : la NAO avec l'indice Sud-Congo (CP1) et l'indice Centre-Congo (CP2) et l'indice Nin3_4 avec l'indice Centre-Congo (CP2). Durant la saison OND, quatre indices climatiques sont significativement corrélés aux indices climatiques : l'AMO et la NAO à l'indice Nord-Congo (CP3) et la SOI et Nin3.4 à l'indice Sud-Congo (CP1).

Si l'on considère la période 1971-2005, période dite sèche :

 Pendant la saison MAM, deux indices océaniques (AMO et SOI) sont significativement corrélés avec l'indice Sud-Congo (CP1) et l'indice Centre-Congo (CP2). Au cours des saisons JJA et JJAS, trois indices océaniques (NAO, AMO et Nin3_4) sont significatives et corrélés à l'indice pluviométrique CentreCongo (CP2). Pendant les saisons SON et OND, deux indices océaniques (SOI et AMO) sont significatives et corrélés aux indices pluviométriques du Congo, à savoir : la SOI à l'indice Sud-Congo (CP1) et l'AMO à l'indice Nord-Congo (CP3).

Il ressort de ce qui précède une confirmation de l'évolution en opposition de phase durant les deux périodes : sèches et humides des indices océaniques et des indices pluviométriques. Ceci illustre un dipôle entre les indices océaniques et les indices des précipitations du Congo. L'hypothèse selon laquelle les précipitations du Congo sont des phénomènes localisés dans l'espace et dans le temps se confirme.

On peut cependant signaler une constance dans la relation entre les indices et ces périodes. En effet, la NAO est toujours corrélée aux indices pluviométriques au Congo à l'échelle annuelle entre les deux périodes (humide et sèche). Au cours de la saison JF, l'AMO est toujours corrélée aux indices pluviométriques du Congo entre les deux périodes (humide et sèche), durant la saison MAM, la SOI est toujours corrélée aux indices pluviométriques du Congo entre les deux périodes (humide et sèche), durant la saison JJAS, la NAO et Nin3_4 sont toujours corrélée aux indices pluviométriques du Congo entre les deux périodes (humide et sèche) et enfin, pendant la saison OND, l'AMO et la SOI sont toujours corrélée aux indices pluviométriques au Congo entre les deux périodes (humide et sèche). Notons toutefois que malgré cette constante de l'influence des indices océaniques durant les trois périodes, les corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques du Congo, bien que significatives, sont pour la majorité négatives durant la période 1971-2005, traduisant une opposition de phase.

273

5. A propos de la relation entre la variabilité pluviométrique au Congo et la dynamique atmosphérique a 1000hpa

Au cours de la période 1950-1970, les correlations sont fortes et significatives entre les précipitations des trois composantes principales et l'indice des pressions régionales. A l'échelle annuelle, la coorélation significative est de 50%. Ceci confirme l'influence de la baisse des pressions atmosphériques régionales sur la variabilité pluviométrique annuelle au cours de la période humide au Congo, surtout au niveau de l'indice Nord-Congo.

A l'échelle saisonnière, les corrélations sont significatives pendant les saisons JF et DJF entre les indices Sud-Congo et Nord-Congo de l'ordre de 52 à 53%. Ceci se poursuit au cours des saisons MAM, JJA, JJAS et OND.

Les corrélations significatives entre les indices de précipiations et les indices des pressions atmosphériques à l'échelle annuelle confirment l'hypothèse de l'implication d'une part de la baisse des pressions régionales sur la hausse des précipitations du Congo durant la période humide (1950-1970) et d'autre part, l'implication de la hausse des pressions régionale sur la baisse des précipitations du Congo durant la période sèhe (1971-2005).

En effet, la tendance à la hausse des précipitations de la période 1950-1970 aussi bien à l'échelle annuelle, inter annuelle, saisonnière, inter saisonnière; decennela et inter decennale est en relation positive avec la tendance à la baisse des pressions régionales. De meme, la tendance à la baisse des précipitations de la période 1971-2005 aussi bien à l'échelle annuelle, inter annuelle, saisonnière, inter saisonnière; decennela et inter decennale est en relation positive avec la tendance à la hausse des pressions régionales.

Ces résultats confirment l'influence des pressions régionales sur la varaibilité pluviométrique au Congo, notamment l'influence de la hausse des pressions de surface régionales sur la baisse des précipiations avec cependant une nuance du point de vue spatiale

274

(d'une composante à l'autre) et du point de vue temporelle (annuelle, saisonnière et décennale).

L'analyse des corrélations entre les indices de pressions de la basse troposphère et les indices de précipitations des trois composantes principales au Congo sont en général statistiquement significatives d'après le test de Bravais-Pearson au niveau 0,01 et 0,05 avec cependant une variation spatiale. Les correlations sont fortements significatives pour la troisème composante principale et faiblement significatives pour la première et la deuxième composante principale. A l'échelle saisonnière, elles sont fortement significatives pour les trois indices pluviométriques et l'indice des pressions régionales.

Conclusion générale

Les objectifs fixés par cette thèse étaient les suivants :

- étudier la variabilité pluviométrique actuelle au Congo (6 dernières décennies) au pas de temps mensuel, saisonnier, annuel, décennal et inter décennal;
- déterminer la dynamique océanique et la circulation atmosphérique actuelle (6 dernières décennies) au pas de temps mensuel, saisonnier, annuel, décennal et inter décennal;
- établir les relations entre la variabilité pluviométrique, la dynamique océanique et la dynamique atmosphérique des trois périodes suivantes 1950-2005, 1950-1970 et 1971-2005.

L'étude de la variabilité pluviométrique au Congo fait ressortir les résultats suivants :

- les analyses multi variées(ACPRV) montrent trois zones cohérentes aussi bien à l'échelle annuelle que saisonnière : CP1 (Sud-Congo), CP2 (Centre-Congo) et CP3 (Nord-Congo). Ces trois composantes principales révèlent trois régimes pluviométriques différents : équatorial pour la CP3, subéquatorial pour la CP2 et tropical humide pour la CP1 ;
- la variabilité inter annuelle des précipitations des trois composantes principales montre deux grandes périodes : 1950-1970 et 1971-2005. La période 1950-1970 se caractérise par une prédominance des années humides sur les années sèches. Ceci traduit que cette période est humide. La période 1971-2005 se caractérise par une prédominance des années sèches sur les années humides. Cette période est qualifiée de sèche ;
- l'analyse de la tendance des précipitations par la régression simple et la tendance polynomiale confirme l'existence de deux sous périodes : 1950-1970, caractérisée par une tendance à la hausse des précipitations et 1971-2005, caractérisée par une tendance à la baisse des précipitations ;

- l'évolution décennale des précipitations annuelles montre deux types de changements :
 - le premier type affecte la répartition spatiale des précipitations au cours des décennies 1950, 1960 et 1970 (période humide). Les trois composantes ont une évolution décalée. Les précipitations sont excédentaires pour les décennies 1950, 1960 1970 pour la CP2 et la CP3, tandis qu'elles tendent-à la stabilité pour la CP1 ;
 - Le deuxième type de changement est celui qui affecte la répartition temporelle des précipitations au cours des décennies 1980, 1990 et 2000. Les précipitations des trois composantes principales sont déficitaires dans l'ensemble au cours des décennies 1980, 1990 et 2000. Elles montrent le passage des décennies 1950, 1960 et 1970 humides aux décennies 1980, 1990 et 2000 sèches pour la CP2 et la CP3;
- l'évolution décennale des précipitations saisonnières montre également deux types de changements :
 - le premier type affecte la répartition spatiale des précipitations. Au cours de la saison MAM et OND, on note une alternance des décennies sèches et humides. Les décennies 1950 ,1990 et 2000 sont déficitaires, tandis que les décennies 1960, 1970 et 1980 sont excédentaires pour la CP1 et la CP2. La CP3 en revanche accuse un excédent pluviométrique pour les décennies 1950, 1960 et un déficit pour les décennies 1970, 1980, 1990 et 2000 ;
 - le deuxième type de changement est celui qui affecte la répartition temporelle des précipitations des trois composantes au cours des saisons MAM, SON et OND. La période d'avant 1970 est excédentaire et la période d'après 1970 est déficitaire ;
- l'analyse du degré de la hausse ou la baisse des précipitations annuelles indique une baisse significative de l'ordre de 10 à 70% après la décennie 1970 pour la CP2 et la

CP3. Les précipitations saisonnières de MAM, SON et OND accusent une baisse significative des précipitations de l'ordre de 20 à 50% après la décennie 1970 pour la CP1, CP2 et la CP3 ;

- les tests de recherche de rupture appliqués sur les séries des indices des précipitations annuelles de la CP1, CP2 et la CP3 révèlent l'absence de rupture significative sur la CP1, la présence de rupture significative en 1982 sur la CP2 et la présence de ruptures en 1964 et en 1970 pour la CP3. Les précipitations saisonnières révèlent pour la saison MAM la présence d'une rupture significative en 1970 pour la CP1, la CP2 et la CP3. Les précipitations au cours des saisons SON et OND montrent la présence d'une rupture significative en 1966 pour la CP3 et l'absence d'une rupture sur les précipitations de la CP1 et la CP2 ;
- Sur l'ensemble des tests de détection de rupture, des ruptures sont identifiées autour de l'année 1960 (1964, 1966), de l'année 1970 (1970) et de l'année 1980 (1982). Ces années de ruptures coïncident avec les années de grandes sécheresses détectées en Afrique de l'Ouest. Ceci confirme l'hypothèse du passage ou migration de la période sèche de l'Afrique de l'Ouest durant la décennie 1960 ou au début de la décennie 1970 vers l'Afrique Centrale.

La dynamique océanique appréciée à partir des indices AMO (Atlantic Multi-décennal Oscillation), NAO (North Atlantic Oscillation), SOI (Southern Oscillation Index) et Nino3_4 (Indices de températures de surface océaniques) traduit les faits suivants :

l'évolution inter annuelle de l'indice AMO enregistre deux périodes : antérieure à 1980, caractérisant une hausse (réchauffement) et la période postérieure à 1980 caractérisée par une évolution à la baisse (refroidissement). L'indice Nino3.4 révèle de même deux périodes : 1950-1972 déficitaire (refroidissement) et la période 1973-2005 excédentaire (réchauffement). L'indice SOI, indique une évolution inter annuelle dominée aussi par deux périodes1950-1970 de tendance à la hausse et la période 1971-2005, avec une tendance à la baisse. L'évolution

inter annuelle de l'indice NAO enregistre de même deux périodes : 1950-1980, traduisant une baisse (avec une période de retour de 2 à 3 ans et deux années d'intensités majeures 1958 et 1968) et la période 1981-2005 traduisant une hausse (se caractérisant par une prédominance des anomalies positives avec une période de retour de 3 à 5 ans) ;

L'évolution inter annuelle des indices océaniques semble avoir un même profil avec celui des indices pluviométriques. L'année 1970 marque un point d'inflexion. La période de réchauffement de l'AMO et de NINO3.4 coincident à la période humide des indices pluviométriques et la période du réfroidissement de l'AMO et de NINO3.4 coincide à la période sèche des indices pluviométriques. En outre, la période humide de la CP1, CP2 et CP3 correspondent à la période de baisse de la NAO et de la SOI et la période sèche de la CP1, CP2 et CP3 coincide à la période de hausse de la NAO et de SOI.

L'évolution saisonnière des indices océaniques en JF, DJF, MAM, JJA, JJAS, SON, OND est similaire à celle de l'évolution annuelle.

L'évolution décennale des indices océaniques indique que : l'indice SOI enregistre 2 décennies sur 6 excédentaires, contre 4 décennies sur 6 déficitaires. L'indice AMO enregistre trois (3) décennies sur six (6) déficitaires (refroidissement), contre 3 décennies sur 6 excédentaires (rechauffement). La décennie 1970 enregistre le plus fort réfoidissement (-25%) et les décennies 1950 et 2000 enregistrent les plus forts réchauffements (12%). L'indice Nino3.4 enregistre 4 décennies sur 6 déficitaires (réfroidissement) et 2 décennies sur six (6) excédentaires (réchauffement). L'indice SOI enregistre trois (3) décennies déficitaires sur six (6) excédentaires (réchauffement). L'indice SOI enregistre trois (3) décennies déficitaires sur six (6): 1960, 1980 et 1990, contre trois (3) décennies excédentaires sur six(6): 1950, 1970 et 2000.

L'évolution décennale des indices océaniques coincide avec celle des indices pluviométriques. Les décennies de réchauffement de l'AMO et de NINO3.4 correspondent aux décennies humides des indices pluviométriques et les décennies de réfoidissement de l'AMO et de NINO3.4 coincident aux décennies sèches des indices pluviométriques. De

279

même, les décennies à la baisse de NAO et SOI coincident avec les décennies humides de la CP1, CP2 et CP3 ; et les décennies de hausse de NAO et SOI corespondent aux décennies sèches des CP1, CP2 et CP3.

L'analyse de la dynamique atmosphérique (indices des préssions à 1000 hPa) revèle à l'échelle annuelle comme à l'échelle saisonnière, deux périodes : 1950-1970 caractérisant une refroidissemnt et 1971-2005, montrant une augmentation significative à partir de l'année 1980 ; cette année coincide avec l'année de rupture des précipitations au niveau des trois indices des précipitations.

L'évolution décennale des pressions atmosphériques montre que trois décennies sur six ont des pressions à la baisse(1950,1960,1970) et trois décennies sur six ont des pressions de surface à la hausse (1980, 1990 et 2000). Les décennies des pressions à la baisse correspondent aux décennies humides des indices pluviométriques et les décennies de pressions à la hausse, coincident avec les décennies sèches des indices des précipitations.

Ce qui précède nous amène à confirmer l'hypothèse selon la quelle: une influence probable de l'augmentation des pressions de surface au-dessus du Congo est à l'origine de la période sèche des précipitations après 1970 et la baisse des pressions régionales avant 1970 est à l'origine de la période humide au Congo.

L'analyse de corrélations canoniques entre les indices des précipitations du Congo et les indices océaniques révèlent un lien relativement fort aussi bien à l'échelle annuelle qu'à l'échelle saisonnière.

Si on considère toute la période d'analyse (1950-2005) :

- A l'échelle annuelle, les trois indices océaniques, qui sont non significativement corrélés aux précipitations, sont la NAO, la SOI et l'AMO. Un seul indice Nin3.4 est corrélé significativement à la CP2 et à la CP3.
- A l'échelle saisonnière, durant les saisons JF et DJF, trois indices océaniques sont significativement corrélés aux indices des précipitations du Congo à savoir : AMO

corrélée à la CP3 durant la saison DJF, la SOI à la CP2 et Nin3.4 à la CP2 pendant la saison JF. Durant la saison MAM, deux indices océaniques sont significativement corrélés aux indices des précipitations au Congo : AMO et la SOI avec la CP3. Au cours des saisons JJA et JJAS, seul l'AMO est significativement corrélé à l'indice Nord-Congo durant la saison JJA. Pendant les saisons SON et OND, deux indices océaniques sont significativement corrélés à l'indice Nord-Congo : l'AMO et la SOI.

Si l'on considère la période 1950 à 1970, période dite humide :

- A l'échelle annuelle, un seul indice océanique: la NAO est significativement corrélé à l'indice Nord-Congo;
- durant la saison JF, quatre indices océaniques sont corrélés significativement à l'indice Centre-Congo: AMO, la SOI, la NAO et Nin3.4. Au cours de la saison MAM, un seul indice (SOI) est corrélé significativement à l'indice Sud-Congo. Pendant la saison JJAS, deux indices océaniques sont corrélés significativement aux indices pluviométriques du Congo: la NAO avec l'indice Sud-Congo et l'indice Centre-Congo et l'indice Nin3_4 avec l'indice Centre-Congo. Durant la saison SON, quatre indices océaniques sont significativement corrélés aux indices pluviométriques : l'AMO et la NAO à l'indice Nord-Congo et la SOI et Nin3.4 à l'indice Sud-Congo durant la saison OND.

Si l'on considère la période 1971-2005, période dite sèche :

- A l'échelle annuelle, trois indices océaniques sont significativement corrélés aux indices des précipitations: AMO à l'indice Centre-Congo et la NAO et l'indice Nin3.4 à l'indice Nord-Congo;
- A l'échelle saisonnière, durant la saison JF, un indice océanique: AMO est significativement corrélé à l'indice Centre-Congo. Pendant la saison MAM, deux indices (AMO et SOI) sont significativement corrélés à l'indice Sud-Congo et l'indice Centre-Congo. Au cours de la saison JJAS, trois indices océaniques

(NAO, AMO et Nin3.4) sont significativement corrélés à l'indice pluviométrique Centre-Congo. Pendant les saisons SON et OND, deux indices océaniques (SOI et AMO) sont significativement corrélés aux indices pluviométriques : la SOI à l'indice Sud-Congo et l'AMO à l'indice Nord-Congo durant la saison SON.

L'analyse des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques révèle une constance dans la relation entre les indices durant les trois périodes. En effet, la NAO est toujours corrélée aux indices pluviométriques du Congo à l'échelle annuelle entre les deux périodes (humide et sèche). Au cours de la saison JF, l'AMO est toujours corrélée aux indices pluviométriques du Congo entre les deux périodes (humide et sèche), durant la saison MAM, la SOI est toujours corrélée aux indices pluviométriques du Congo entre les deux périodes (humide et sèche), durant la saison JJAS, la NAO et Nin3.4 sont toujours corrélée aux indices pluviométriques entre les deux périodes (humide et sèche) et enfin, pendant la saison OND, l'AMO et la SOI sont toujours corrélées aux indices pluviométriques pour les deux périodes (humide et sèche).

Notons toutefois que malgré cette constante de l'influence des indices océaniques durant les trois périodes, les corrélations, bien que significatives, sont pour la majorité négatives durant la période 1971-2005, traduisant une opposition de phase. Ce qui nous permet d'affirmer que pendant la période 1971-2005, quand les indices océaniques sont en mode positif, on observe une hausse de fréquence de l'air froid polaire dans les régions provoquant ainsi une diminution de la température et des précipitations. En revanche, quand les indices climatiques sont en mode négatif, on observe une hausse de fréquence de masse d'air chaud entraînant une hausse de la température et des précipitations. Ceci est contraire au cours de la période humide (1950-1070). On note de même une cohérence spatio-temporelle du lien entre les périodes de sécheresse/humidité et les indices climatiques. En effet, les indices AMO et SOI sont associés aux deux périodes humide et sèche. On peut alors utiliser ces deux indices climatiques pour prédire la succession des périodes sèches et humides au Congo. L'indice NAO est associé aux périodes sèches. Il servirait ainsi à prédire les périodes de sécheresse au

Congo. Quoi qu'il en soit, il ressort que les quatre indices océaniques apparaissent comme les principaux facteurs de variabilité temporelle des précipitations au Congo des deux périodes en raison du synchronisme des périodes humides et sèches observées avant et après 1970.

Les corrélations entre les indices des précipitations de la CP1, CP2 et la CP3 et les pressions atmosphériques sont statistiquement significatives d'après le test de Bravais-Pearson au niveau 0,01 et 0,05. Notons cependant une variation spatiale à l'échelle annuelle. Les corrélations sont fortes et significatives pour la troisème composante principale et non pour la première et la deuxième composante principale. A l'échelle saisonnière, Elles sont significatives pour les trois indices pluviométriques.

Au cours de la période 1950-1970, les correlations sont fortes et significatives entre les précipitations des trois composantes principales et l'indice des pressions régionales. Ceci confirme l'influence réelle, des pressions de surface régionales sur la variabilité pluviométrique annuelle au cours de la période humide au Congo. A l'échelle saisonnière, les corrélations sont non significatives pendant la saison JF. Par contre, elles sont fortement significatives dans l'ensemble au cours des saisons MAM, JJAS et OND, ceci traduit l'influence réelle, des pressions de surface régionales sur la variabilité pluviométrique saisonnière de la période humide au Congo.

Ces résultats confirment l'hypothèse de l'influence de la baisse des pressions atmosphériques régionales sur l'augmentation des précipiations de la période humide.

Au cours de la période 1971-2005, période sèche au Congo, les corrélations entre les trois indices pluviométriques et l'indice des pressions de surface régionales à l'échelle annuelle sont non significatives dans l'ensemble, ceci montre une faible influence des pressions de surface régionales sur la baisse des précipitations annuelles au cours de la période sèche au Congo. A l'échelle saisonnière par contre, les corrélations sont fortement significatives pendant la saison JF, MAM, JJA, JJAS, SON et OND au cours de la période 1971-2005, traduisant une grande influence de la hausse des pressions de surface régionales sur la baisse des pressions de surface régionales sur la baisse des pressions de surface seche au Congo.

283

Ces résultats confirment l'influence des pressions de surface régionales sur la variabilité pluviométrique au Congo, notamment l'influence de la hausse des pressions de surface régionales sur la baisse des précipitations et l'influence de baisse des pressions de surface régionales sur l'augmentation des précipitations annuelles, saisonnières et décennales, ceci aussi bien pendant la période 1950-2005, que pendant les périodes 1950-1970 et 1971-2005.

Les résultats de cette étude confirment l'afirmation selon laquelle *les océans constituent la mémoire du climat*. Nous pouvons affirmer que si une rélation positive a été trouvée entre les indices océaniques et la baisse des précipitations en Afrique de l'Ouest, cela est aussi vrai pour le Congo. Donc, le climat au dessus du Congo peut être prédit à partir du comportement de l'état des eaux océaniques tropicales et extra-tropicale d'une part et d'autre part à partir de l'état de l'atmosphère régionale et extra-régionale.

Les perspectives de cette étude s'ouvrent à:

- approfondir les causes responsables de la variabilité pluviométrique du Congo (en associant les differentes positions latitudinales de la ZCIT, la convection profonde et les autres paramètres du geopotentiel);
- rentabiliser l'utilisation de ces résultats pour accompagner les processus de développement enclenchés au Congo. Notament, analyser comment se déroulent les activités agricoles et hydrologiques quand les indices océaniques et atmosphériques sont en mode passif ou actif;
- améliorer les outils de diagnostic et de prévision des précipitations saisonnières au Congo, pour la prévention des évènements climatiques extrêmes.

Références bibliographiques

- Assani Ali A., Francis Lajoie, Marie-Eve Vadnais, Guillaume Beauchamp(2008): analyse de l'influence de l'oscillation arctique sur la variabilité interannuelle des précipitations dans le bassin versant de la rivière Saint-François (Québec, Canada) au moyen de la méthode des corrélations canoniques ; Revue des Sciences de l'Eau 21(1) ; pp. 21-33
- Assani Ali. A. et T. Lebel (2004): Rainfall estimation in the Sahel. Part I: Error Function, Journal of Applied Meteorology, 44, 11; pp. 1691–1706.
- Assani Ali. A., A. Amani. et T. Lebel (2004): Estimation des pluies au Sahel: utilisation d'un modèle d'erreur pour évaluer les réseaux sol et produits satellitaires, Sécheresse, 3, 15, pp. 271-278.
- Assani Ali. A., (1999) : variabilité temporelle et persistance des épisodes secs en saison des pluies à Lubumbashi (Congo - Kinshasa), Sécheresse, n° 1, vol 10, pp. 45-53.
- Ardoin, S., E. Lubès-Niel, E. Servat, A. Dezetter, J.F. Boyer (2003): analyse de la persistance de la sécheresse en Afrique de l'ouest : caractérisation de la situation de la décennie 1990. In: Hydrology of Mediterranean and Semiarid Regions (ed. E. Servat, W. Najem, C. Leduc, A.Shakeel), 223-228. IAHS Pub. 278 p.
- Barnett, T. P. et R. Preisendorfer (1987): Origins and levels of monthly and seasonal forecast skill for United States surface air temperature determined by canonical analysis, Monthly WeatherReview, 115, pp. 1825-1850.
- Barnston, A.G (1994): Linear Statistical Short-Term Climate Predictive Skill in the Northern Hemisphere, Journal of Climate, 7, pp. 1513–1564.
- Barnston, A.G., S. Mason., L. Goddard., D. G. Dewitt. Et S. E. Zebiak (2003): Multimodel ensembling in seasonal climate forecasting at IRI, Bulletin of the American Meteorological, Society, 84, pp. 1783–1796.

- Bayes, T (1763): An essay towards solving a problem in the doctrine of chance, Philosophical Transaction of the Royal Society, 53, pp. 370-418.
- 10. Brankovic, C. et T.N. Palmer (1997): Atmospheric seasonal predictability and estimates of ensemble size, Monthly Weather Review, 125, pp. 859-874.
- Bouali, L., N. Philippon., B. Fontaine. et J. Lemond (2008): Performance of DEMETER calibration for rainfall forecasting purposes: Application to the July– August Sahelian rainfall, Journal of Geophysical Research, 113, D15111, doi: 10.1029/2007JD009403.
- Beltrando G. et Camberlin P., 1993: Interannual variability of rainfall in the Eastern Horn of Africa and indicators of atmospheric circulation. Int. J. Climatol., 13, pp. 533-546.
- 13. Bigot S., Brou T.Y., Oszwald J., Diedhiou A., 2005: Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales. Sécheresse; n°1, vol. 16, pp. 5-13.
- 14. Bigot S., Camberlin P., Moron V., Richard Y, 1997: Structures spatiales de la variabilité des précipitations en Afrique: une transition climatique à la fin des années 1960? Comptes Rend. De l'Acad. des Scien., série II, Sciences de la terre et des planètes, 324, pp. 181-188.
- 15. Bigot S., 1997: Les précipitations et les convections profondes en Afrique centrale : Cycle saisonnier, variabilité interannuelle et impact sur la végétation. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, Centre de recherches de Climatologie; 282 p.
- 16. Buisson (A), (1987) : Situation climatique en 1986 durant la grande saison sèche au Gabon, Lanion. ORSTOM et Centre de Météorologie spatiale, pp. 59-67.
- Buisson A., (1986) : Tendances climatiques pour l'évaluation de ce que pourrait être la saison des pluies en Afrique occidentale pour l'année 1986 ; Lannion ; Météorologie Nationale et ORSTOM, pp. 38-45.
- 18. Buisson A. (1985 b) : Une anomalie climatique au Gabon en 1984. la météorologie,

7^{ème} série, 8, pp. 36-47.

- Camberlin, P. et N. Philippon (2002): The East African March–May Rainy Season: Associated Atmospheric Dynamics and Predictability over the 1968–97 Period, Journal of Climate, 15, 9 p.
- 20. Camberlin, P., S. Janicot. et I. Poccard (2001): Seasonality and atmospheric dynamics of the teleconnection between african rainfall and tropical Sea Surface Temperature: Atlantic vs. ENSO, International Journal of Climatology, 21, pp. 973-1005.
- 21. Camberlin P., 1997 : Rainfall anomalies in the source region of the Nile and their connection winth the indian summer monson. J. Climate, 10, pp.1380-1392.
- 22. Camberlin P., 1997: Rainfall anomalies in the source region of the Nile and their connection with the indian summer monson. J. Climate, 10, pp. 1380-1392.
- Camberlin P.1995. Jun-September rainfall in North-Eastern Africaand Atmospheric signals over the tropics: A zonal perpective. International Journal of Climatology 15: pp. 773–783.
- 24. Camberlin P. 1993. S'echeresse et variabilit'e pluviom'etrique en Ethiopie et dans la Corne de l'Afrique : prolongements orientauxdu Sahel? La Météorologie 3: pp: 26–35.
- 25. Carbonnel JP, Hubert P, Chaouche A. 1987. Sur l'évolution de la pluviometrie en Afrique de l'Ouest depuis le début du siècle. Compte Rendu de l'Académie des Sciences, 9(1); pp. 53–64.
- 26. Caminade, C (2006): Rôle de l'océan et influence des émissions d'origine anthropique sur la variabilité climatique en Afrique, thèse de doctorat, Université de Toulouse III.
- 27. Chen, T.C. et H. van Loon (1987): Interannual Variation of the Tropical Easterly Jet, Monthly Weather Review, 115, pp. 1739–1759.
- 28. Castellani C., (1986) : Régionalisation des précipitations annuelles de saison froide sur un bassin versant oriental des Vosges (bassin de la Fecht). Communication présentée au colloque international Recherches sur l'environnement dans la région du Rhin Supérieur, Strasbourg 27 et 28 juin, pp. 676-687.

- 29. Cheickh Mbaye (1996) : Etude des fluctuations de la température de l'air et des précipitations au Sénégal de 1954 à 1990 ; international conférence « Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology » ; Brussels, pp. 179-1990.
- 30. Clairac B., et al., (1989) : Le climat du Mayombe. In the atmospheric branch of the global hydrological cycle. , Clim., 1, pp. 92-107.
- 31. Cook, K.H. et E.K. Vizy (2006): Coupled Model Simulations of the West African Monsoon System: Twentieth- and Twenty-First-Century Simulations, Journal of Climate, 19, pp. 3681–3703.
- 32. Cook, K.H (1999): Generation of the African Easterly Jet and Its Role in Determining West African Precipitation, Journal of Climate, 12, pp.1165–1184.
- 33. Curtis (2003): GPCP Pentad Precipitation Analyses: An Experimental Dataset Based on Gauge Observations and Satellite Estimates, Journal of Climate, 16, pp: 2197–2214.
- Demarée G.R., et Nicolis C., (1990): Onset of sahelian drought viewed as a fluctuationinduced transition. Quat. J. Meyeorol. Soc., 116, pp. 221-238.
- 35. Diagne M., et al., (1984) : Remarque sur la convergence intertropicale, l'exemple de l'Atlantique. Le courrier du CNRS, Paris, 57, pp. 64-67
- 36. Elsner, J. et C. Schmertmann (1994): Assessing Forecast Skill through Cross Validation, Weather Forecasting, 9, pp. 619–624.
- 37. Eltahir, E. A. B (1996): Role of vegetation in sustaining large-scale atmospheric circulations in the tropics, Journal of Geophysical Research, 101(D2), pp. 4255–4268.
- Eltahir, E.A.B. et C. Gong (1996): Dynamics of wet and dry years in West Africa, Journal of Climate, 9, pp. 1030-1042.
- 39. Emanuel, K.A (1995): On thermally direct circulations in moist atmospheres, Journal of Atmospheric Sciences, 52, pp. 1529-1534.
- 40. F.E.M., 2002 : Ministère de l'Industrie minière et de l'Environnement, Programme des Nations Unies pour le développement Projet PRC 98/G31 Habilitation du Congo et
Inventaire des gaz à effet de serre (GES). Evaluation de la Vulnérabilité et des mesures d'adaptation face aux changements climatiques en République du Congo 132 p.

- Feddersen, H., A. Navarra. et M.N. Ward (1999): Reduction of Model Systematic Error by Statistical Correction for Dynamical Seasonal Predictions, Journal of Climate, 12, pp. 1974–1989.
- 42. Folland, C.K., J.A. Owen., M.N. Ward. et A.W. Colman (1991): Prediction of seasonal rainfall in the Sahel region of Africa using empirical and dynamical methods, Journal of Forecasting, 10, pp. 21-56.
- 43. Folland, C.K., T.N. Palmer. et D.E. Pather (1986): Sahel rainfall and worldwide sea temperature, Nature, 320, pp. 602-607.
- 44. Fontaine B, Philippon N. 2000. Seasonal evolution of boundary layerheat content in the West African monsoon from the NCEP/NCARreanalysis (1968-1998). International Journal of Climatology 20:pp. 1777–1790.
- 45. Fontaine, B., N. Philippon. et P. Camberlin (1999): An improvement of June-September rainfall forecasting in the Sahel based upon region April-May moist static energy content (1968-1997), Geophysical Research Letters, 26, pp. 2041-2044.
- 46. Fontaine, B., S. Trzaska. et S. Janicot (1998): Evolution of the relationship between near global and Atlantic SST modes and the rainy season in West Africa: statistical analyses and sensitivity experiments, Climate Dynamics, 14, pp. 353-368
- 47. Fontaine B., et al.; (1998): Evolution of the relationship between near global and atlantic SST modes and the rainy season in West Africa: Statical analyses and sensitivity experiments; Climate Dynamics; pp. 353-368
- 48. Fontaine B. ; Janicot S.; (1996) : Sea surface temperature fields associated with west African Rainfall Anomaly Types ; journal of climate, vol. 9 n° 11, pp: 2936-2940.
- 49. Fontaine, B., S. Janicot. et V. Moron (1995): Rainfall anomaly patterns and wind field signals over West Africa in August (1958-89), Journal of Climate, 8, pp: 1503-1510.

- 50. Fontaine, B. et S. Janicot (1993): L'évolution des idées sur la variabilité interannuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest. La Météorologie, 1 : p. 28-53.
- Fontaine B., 1990: Champ Atlantique pluviométrique ouest- Africain et oscillation australe. Veille climatique satellitaire, n°32 p. 34-51.
- 52. Farmer G. 1988. Seasonal forecasting of the Kenya Coast short rains1901-84. International Journal of Climatology 8: pp. 489–497.
- 53. Fauchereau N, Trzaska S, Rouault M, Richard Y. 2003. Rainfallvariability and changes in southern Africa during the 20th Centuryin the global warming context. Natural hazards 29: pp. 139–154.
- 54. Garric, G., H. Douville. et M. Déqué (2002): Prospects for improved seasonal predictions of monsoon precipitation over West-Africa, International Journal of Climatology, 22, pp. 331-345.
- 55. Gates, W.L (1992): AMIP: The Atmospheric Model Intercomparison Project, Bulletin of the American Meteorological Society, 73, pp. 1962-1970.
- 56. Giannini, A., R. Saravanan. Et P. Chang (2003): Oceanic forcing of Sahel rainfall on interannual to interdecadal time scales, Science, 302, pp. 1027-1030.
- 57. Glahn, H.R. et D.A. Lowry (1972): The use of Model Output Statistics (MOS) in objective weather forecasting, Journal of Applied Meteorology, 11, pp: 1203-1211.
- 58. Graham, R.J., A.D.L. Evans, K.R. Mylne, M.S.J Harrison. et K.B. Robertson (2000): An assessment of seasonal predictability using atmospheric general circulation models, Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 126, pp. 2211–2240.
- 59. Grist, J.P. et S.E. Nicholson (2001): A study of the dynamic factors influencing the rainfall variability in the West African Sahel, Journal of Climate, 14, (7), pp. 1337-1359.
- 60. GIEC, 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. M.L. Parry, O.F. Canziani,

J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (directeurs de publication). Cambridge: Cambridge University Press.

- 61. GIEC, 1997 : Introduction aux modèles climatiques simples employés dans le deuxième rapport d'évaluation du GIEC, in Houghton J.T. Meira Filho L. G., Griggs D. J. et Maskel K., Document technique II du GIEC, 47p.
- Guillot B., (1985) : Températures de surface et pluviosité du Golfe de Guinée. Veille Clim. Satellitaire, CS, 6, pp. 13-16.
- Hall, N.M.J. et P. Peyrillé (2006): Dynamics of the West African Monsoon, J. Phys. IV, France, 139, EDP Sciences, Les Ulis. DOI: 10.1051/jp4:2006139007.
- 64. Hirst A. C., and Hasternrath S., 1983: Atmosphere-ocean mechanisms of climate anomalies in the Angola-Tropical Atlantic sector. J. of Physical Oceanography, 13, pp. 1146-1157.
- 65. Hisard P., (1990) : variabilité des précipitations dans l'atlantique tropical sud- est pendant un El-Nino. Hydrol. Continent, 5, 2, pp. 87-104.
- 66. Hubert p., Servat e., Paturel j. e., Kouame b., Bendjoudi h., Carbonnel j. p., Lubes-nielh. (1998). La procédure de segmentation, dix ans après. Publication IAHS, n°250,

67. pp. 267-273.

- Hulme M., Doherty R., Ngara T., New M. and Lister D., 2001: African climate change: 1900-2100. Clim. Rees, vol. 17, pp. 145-168.
- Hulme M., 1992: Rainfall changes in Africa: 1931-60 to 1961-90. Int. J. Climatol., 12, pp. 685-699.
- 70. Ibiassi G., Samba-Kimbata M.J., Assani A.A. (2013): Analyse de l'influence de la circulation océanique sur la variabilité inter annuelle des précipitations en République du Congo de 1950 à 2005, Acte du Colloque AIC, 2013 ; 12 p.
- 71. Ibiassi Mahoungou G., Samba G., Goma Boumba H.B. (2013): Variabilité décennale des précipitations annuelles et saisonnières au Congo Brazzaville de 1950 à 2005;
 Annales de l'université Marien Ngouabi, 19 p.

- 72. Ibiassi Mahoungou G., 2003 : Les structures spatiales des précipitations saisonnières de l'Afrique Equatoriale Atlantique et leurs relations avec les températures de surface océanique de l'Atlantique Equatoriale de 1950 à 1993. Mémoire de D.E.A. de Géographie physique, Université Marien Ngouabi, Brazzaville; 141 p.
- 73. IPCC, 1990: Climate change: the IPCC scientific assessment [Hougton J.T., J. Jenkens and Ephraums J.J. (eds), Cambridge University Press, Cambridge, UIC, 365 p.
- 74. Janicot, S., S. Trzaska. et I. Poccard (2001): Summer Sahel-ENSO téléconnexions and decadal time scale SST variations, Climate Dynamics, 18, pp. 303-320.
- 75. Janicot, S (1997): ENSO Impact on atmospheric circulation and convection over the tropical Atlantic and West Africa, Annales Geophysical, 15, pp. 471-475.
- 76. Janicot, S. et B. Fontaine (1993) : L'évolution des idées sur la variabilité interannuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest, La Météorologie, 8, pp. 28-53.
- 77. Janicot, S (1992): Spatiotemporal variability of West African rainfall. Part I: Regionalizations and typings, Journal of Climate, 5, pp. 489–497.
- 78. Janicot, S (1992): Spatiotemporal variability of West African rainfall. Part II: associated surface and airmass characteristics, Journal of Climate, 5, pp. 499–511.
- 79. Janicot S., 1985 : Analyse spatio-temporelle du champ de précipitations annuelles en Afrique de l'Ouest et en Afrique centrale. Veille Climatique Satellitaire, vol. 10,
- 80. pp. 32-44.
- 81. Janowiak J. E., 1988 : An investigation of interannual rainfall variability in Africa, J. Climate, 1, pp. 240-255
- Kaiser H.F., (1958) : The varimax criterian for analytic rotation in factor analysis.
 Psychometrika, vol. 23, pp. 187-200.
- 83. Kine L.F., 5 (1989) : Estimation des précipitations à partir de l'analyse utilisant le relief pour l'hydrométéorologie (Aurelhy). Physico-géo, pp. 37-48.
- Kidson, J.W (1975): Tropical Eigenvector Analysis and the Southern Oscillation, Monthly Weather Review, 103, pp. 187–196.

- Kraus, E.B (1977): Subtropical droughts and cross-equatorial energy transports, Monthly Weather Review, 105, pp. 1009-1018.
- 86. Kumar, A., M. Hoerling., M. Ji., A. Leetmaa. et P. Sardeshmukh (1996): Assessing a GCM's Suitability for Making Seasonal Predictions, Journal of Climate, 9, pp. 115–129.
- 87. Laborde J.P., (1982): Cartographie automatique des caractéristiques pluviométriques : prise en compte des relations pluviométrie- morphométrie. La houile Blanche ; 4 p.
- 88. Lamarre B., Tabeaud M., (1986) : Approche des inter relations atmosphère / océan sur l'Atlantique tropical en 1978 et 1979 à partir des images méteosat et geos-est ; météorologie nationale, Lannion, pp. 25-39.
- Kainfall in sub-Saharan West Africa during 1941-83, Zeitschr.
 Gletscherkunde Glazialgeologie, 21, pp. 131- 139.
- 90. Lamb P. J., 1978a: Case studies of tropical Atlantic surface circulation patterns during recent sub-saharan weather anomalies: 1967 and 1968. Mon. Wea. Rev., 106, pp. 482-491
- 91. Lamb P. J., 1978b: Large –scale tropical surface circulation patterns associated with sub-saharan weather anomalies. Tellus, Serie A, 30, pp. 240-251.
- 92. Lanfranhi et D. Schwartz (eds)- Paysages quaternaires de L'Afrique centrale atlantique.Coll. Didactiques, Edition ORSTOM, p. 52- 59
- 93. Laraque A. et Maziezoula B., (1995) : Banque des données hydrologiques des affluents congolais du fleuve Congo-Zaïre et informations physiographiques. Rapport interne, lab. ; hydrologie ; ORSTOM ; Montpellier, 250 P.
- 94. Le Barbé, L., T. Lebel. et D. Tapsoba (2002): Rainfall Variability in West Africa during the Years, Journal of Climate, 15, pp. 187–202.
- 95. Lorenz, E.N (1993): The Essence of Chaos, Univ. of Washington Press, Seattle, 227 p.

- 96. L'Hôte, Y., G. Mahé., B. Somé. et J.P. Triboulet (2002): Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000: the drought continues, Hydrological Sciences Journal Journal des Sciences Hydrologiques, 47 (4), pp. 563-572.
- 97. Leroux M., (1982) : Températures marines et précipitations sur les littoraux de l'Afrique tropicale. Poitiers, Norois, n° 116, pp. 479-497.
- 98. Leroux M. 1980. Le climat de l'Afrique tropicale. Thèse d'Etat, Université de Bourgogne, Dijon, 1 427 p. + atlas.
- 99. Leroux M. 1975. Climatologie dynamique de l'Afrique. Travaux et Documents de Geographie Tropicale 19: pp. 88–112.
- 100. Lough J.M., (1986): Tropical atlantic SST and rainfall variations in sub-saharan Africa during. Mon. Wee. Rev., 114, pp. 516-570.
- 101. Lozano J. et al, (2001): Climate of the 21st century: changes and risks; wissenschaftliche Auswertungen in kooperation with Geo, Hamburg (Germany), 448 p.
- 102. Lubes-Niel (H) et al, (1998) : Variabilité climatique et statistique. Etude par simulation de la puissance et la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques, sciences de l'eau ; pp. 383-408.
- 103. Mahé G, L'Hote Y, Olivry JC. 2001. Trends and discontinuities in regional rainfall of West and Central Africa: 1951-1989. Hydrological Sciences 46; pp. 211–226.
- 104. Mahé G. et Olivry J. C., 1995 : Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989. Sécheresse, vol. 6, n°1, pp. 109-117.
- 105. Mahé G., 1993 : Modulation annuelle et fluctuations interannuelles des précipitations sur le bassin versant du Congo. Grands bassins fluviaux, Paris, pp. 16-26.
- 106. Mahé G, Lerique J, Olivry JC. 1990. Le fleuve Ogooue au Gabon. Reconstitution des debits manquants et mise en 'evidence de variations climatiques `a l'´equateur. Hydrologie Continentale 5(2); pp.105–124.
- 107. Maheras P., Vafiadis M., (1990) : Analyse spectrale des séries chronologiques des précipitations en Mediterannée Occidentale ; A.I.C, vol. 3, Lannion, Rennes ; pp. 421-429.

- 108. Malardel, S (2005): Fondamentaux de météorologie, à l'école du temps, CEPADUES. 350p.
- 109. Marec L, (1988) : Température de surface de la mer et en Atlantique inter tropical,
 suivi pentadaire de janvier à juin. Veille climatique satellitaire, n° 23, pp. 44-51.
- 110. Mason, S.J et N.E Graham (2002): Areas beneath the relative operating characteristics (ROC) and levels (ROL) curves: statistical significance and interpretation, Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 128, pp. 2145–2166.
- Meddi M. et Meddi H, (1998) : Etude des pluies annuelles et journalières dans le Sahara algérien ; Sécheresse, volume 9, numéro 3, pp. 193-99.
- 112. Moron V. (1994) : Variabilité des précipitations en Afrique tropicale au nord de l'équateur (1933-1990) et relations avec les températures de surface océanique et la dynamique de l'atmosphère, Thèse de Doctorat, Tome 1, Université de Bourgogne,
- Moron, V., N. Philippon., B. Fontaine (2003): Skill of Sahel rainfall variability in four atmospheric GCMs forced by prescribed SST, Geophysical Research Letter, 30 (23), 2221: 10.1029/2003GL018006.
- 114. Moron V. 1994. Guinean and Sahelian rainfall anomaly indices at annual and monthly time scales (1933-1990). International Journal of Climatology 14: pp. 325–341.
- 115. Moron V., 1992 : Variabilité spatio-temporelle des précipitations en Afrique sahélienne et guinéenne (1933-1990). La météorologie, VII° série, 43/44, pp. 24-30.
- 116. Moron V., 1994: Guinean and Sahelian rainfall anomaly indices at annual and monthly time scales (1933 – 1990). Intern. J. Climatol. 14, pp. 325-341.
- 117. Mpounza M., Samba-Kimbata M.J, 1990 : Aperçu sur le climat de l'Afrique centrale occidentale. Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique, ORSTOM,
 pp. 31- 41
- Maloba Makanga J.D. et Samba G., 1997: Organisation pluviométrique sur l'espace Congo-Gabon (1950-1990). Sécheresse, n°1, vol. 8, p. 39-45.

- 119. Motha R. P., Leduc S. K., Steyaert L. T., Sakamoto C. M. and Strommen N. D.,1980: Precipitation patterns in west Africa. Mon. Wea. Rev., 108, pp. 1567-1578.
- 120. Motha R.P., et al., (1980): Precipitations patterns in west Africa. Mon. Wea. Rev.,108, pp. 1567-1578
- 121. Newell R.E. et Kidson J. E., 1984: African mean wind changes between Sahelian wet and dry periods. J. Climatol., 4, pp. 27-33.
- 122. Nicholson, S.E. Et J.P. Grist (2003): The Seasonal Evolution of the Atmospheric Circulation over West Africa and Equatorial Africa, Journal of Climate, 16, pp. 1013–1030.
- 123. Nicholson S. E., 2000: The nature of rainfall variability over Africa on time scale of decades to millennia. Global and Planetary Change, 26, pp. 137-158.
- 124. Nicholson S. E., 1993 : An overview of african rainfall fluctuations of the last decade. J. Clim. 6, pp. 1463-1466
- 125. Nicholson S.E., 1987: The nature of rainfall variability in equatorial and southern Africa: relationships with SST along the southwestern coast of Africa. J. Climate Appl. Meteor., 26, pp. 561-578.
- 126. Nicholls, N (1987): The Use of Canonical Correlation to Study Téléconnexions, Monthly Weather Review, 115, pp. 393–399.
- 127. Nicholson, S.E. Et D. Entekhabi (1987): Rainfall variability in equatorial and southern Africa: Relationships with sea surface temperatures along the southwestern coast of Africa, Journal of Climate and Applied Meteorology, 26, pp. 561–578.
- 128. Nicholson S.E., 1986: The nature of rainfall variability in Africa south of equator. J. Clim., 6, pp. 515-530.
- 129. Nicholson, S.E (1986): The Spatial Coherence of African Rainfall Anomalies: Interhemispheric Téléconnexions, Journal of Applied Meteorology, 25, pp. 1365–1381.
- 130. Nicholson, S.E (1985): Sub-Saharan rainfall 1981-84, Journal of Climate and Applied Meteorology, 24, pp. 1388-1391.

- Nicholson S. E., 1980: The nature of Rainfall Fluctuations in Subtropical West Africa. Mon. Wea., Rev. n°4, pp. 473-487.
- 132. Nicholson, S.E. et Kim. J (1997): The relationship of the El Nino–Southern Oscillation to African rainfall, International Journal of Climatology, 17, pp. 117–135.
- Ogallo L. J., 1988: Relationships between seasonal rainfall in East Africa and the Southern Oscillation, Int. J. Climatol., 8, pp. 31-43.
- 134. Pandi A., Ibiassi Mahoungou G., Tondo B., Ladel., Laraque A., Impact de la variabilité des écoulements sur la navigabilité de l'Oubangui, un affluent du Fleuve Congo ; Annales de l'Université Marien Ngouabi, 2009 ; 10(1) ; p. 75-81
- 135. Paeth, H. et A. Hense (2003): Seasonal forecast of sub-sahelian rainfall using cross validated model output statistics, Meteorologist Zeitschrift, 12, pp. 157-173.
- Palmer., D. Paolino., J. Ploshay., S. Schubert., D. Straus., M. Suarez. et J. Tribbia (2000): Dynamical Seasonal Prediction, Bulletin of the American Meteorolgical Society, 81, pp. 2593-2606.
- 137. Palmer, T.N. et D.L.T. Anderson (1994): The prospects for seasonal forecasting: A review paper, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 120, pp:755–793.
- Palmer, T., C. Branković., P. Viterbo. et M. Miller (1992): Modeling Interannual Variations of Summer Monsoons, Journal of Climate, 5, pp. 399–417.
- 139. Parker, D.E., M. Jackson. et E.B. Horton (1995): The 1961-1990 GISST2.2 sea surface temperature and sea-ice climatology, CRTN 63, Hadley Centre, Meterological Office, UKMO, 42 p.
- 140. Peyrillé, P (2006): Étude idéalisée de la mousson ouest-africaine à partir d'un modèle numérique bidimensionnel, thèse de doctorat, Université Toulouse III.
- 141. Philippon, N. (2002): Une nouvelle approche pour la prévision statistique des précipitations saisonnières en Afrique de l'Ouest et de l'Est : méthodes, diagnostic (1968-1998) et applications (2000-2001), thèse de doctorat, Centre de Recherche de Climatologie. Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne, 259 P.

- 142. Philippon, N. et B. Fontaine (1999): A new statistical predictability scheme for July-September Sahel rainfall (1968-1994), Comptes Rendus de Acadmie des Sciences, 329, pp. 1-6.
- 143. Piton (B), (1987) : Les anomalies océanographiques et climatiques de 1983 et 1984 dans le golfe de Guinée ; Lannion ; ORSTOM et Centre de Météorologie spatiale, pp. 18-30.
- 144. Poccard, I., S. Janicot. et P. Camberlin (2000): Comparison of rainfall structures between NCEP/NCAR reanalyses and observed data over tropical Africa, Climate Dynamics, 16, 12, pp. 897-915.
- 145. Poccard I, et al, (1988) : Connexions des T.S.O du pacifique et de l'Atlantique sur la dynamique atmosphérique et la pluviométrie en Afrique boréale ; Water Ressources varaibilty in Africa, pp. 35-44.
- 146. Potts, J. M., C.K. Folland., I.T. Jollife. Et D. Sextond (1996): Revised LEPS scores for assessing climate model simulations and long-rang forecasts, Journal of Climate, 9, pp. 34-53.
- 147. Raicich, F., N. Pinardi et A. Navarra (2003): Téléconnexions between Indian Monsoon and Sahel rainfall and the Mediterranean, International Journal of Climatology, 23, pp. 173-186.
- 148. Rayner, N.A., D.E. Praker., E.B. Horton., C.K. Folland., L.V. Alexander et D.P. Rowell (2003): Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since late nineteenth century, Journal of Geophysical Research,108, doi:10.1029/2002JD002670.
- 149. Richman, M.B (1986): Rotation of principal components, Journal of Climatology, 7,5, pp. 293-335.
- 150. Riehl, H (1969) : Sur le rôle des tropiques dans la circulation générale de l'atmosphère, Weather, 24 p.

- 151. Ropelewski C.F. ET M.S. Halpert (1989): Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation, Journal of Climate, 2, pp. 268-284.
- 152. Ropelewski C.F. ET M.S. Halpert (1987): Global and regional patterns associated with the ENSO, Monthly Weather Review, 115, pp. 1606-1626.
- 153. Rowell, D.P (2001): Téléconnexions between the tropical Pacific and the Sahel, Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 127, pp. 1683–1706.
- Rowell, D.P (1998): Assessing Potential Seasonal Predictability with an Ensemble of Multidecadal GCM Simulations, Journal of Climate, 11, pp. 109–120.
- 155. Rowell, D.P., C.K. Folland., K. Maskell. ET M.N. Ward (1995): Variability of summer rainfall over Tropical North Africa (1906-1992): Observations and modeling, Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 121, pp. 669-704.
- 156. Samba-Kimbata M. J., 1991: Précipitations et bilans de l'eau dans le bassin forestier du Congo et ses marges. Thèse pour le Doctorat d'Etat, Université de Bourgogne. Centre de recherches de climatologie, Dijon, 241p. et figures.
- 157. Samba-Kimbata M.J., 1978: Le climat du Bas Congo, thèse de doctorat du 3è cycle Université de Bourgogne, 280p. et figures
- 158. Samba G, Nganga D, Mpounza M. 2008. Rainfall and temperature variations over Congo-Brazzaville between 1950-1998. Theoreticaland Applied Climatolology 91 ; pp. 85–97.
- 159. Samba G, Mpounza M. 2005. Application du processus de Markov sur les occurrences des pr'ecipitations journali`eres au Congo-Brazzaville.Compte Rendu Geoscience 337: pp. 1355–1364.
- 160. Saporta, G (1990) : Probabilités, analyse des données et statistique, Editions Technip,Paris, 493 p.
- 161. Sarda, J., G. Plaut., C. Pires. ET R. Vautard (1996): Statistical and dynamical longrange atmospheric forecasts: Experimental comparison and hybridization, Tellus, 48A, pp. 518–537.

- 162. Semazzi, F.H.M. ET L. Sun (1997): The Role of Orography in Determining the Sahelian Climate, International Journal of Climatology. 17(6): 581p.
- 163. Servat E., Paturel J. E., Kouame B., Travalglio M., Ouedraogo M., Lubes-niel H., Fristch J. M., Masson J. M. et Marieu B. (1998): Identification, caractérisation et conséquence d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale. In: Water Resources Variability in Africa during the XXth Century, IAHS Publication, n°252, pp. 323-337.
- 164. Shongwe, M.E., W. A. Landman. ET S.J. Mason (2006): Performance of recalibring systems for GCM forecasts for South Africa, International Journal of Climatology, 26, pp. 1567-1585.
- 165. Sohn, B.J. ET E.A. Smith (1992): The Modulation of the Low-Latitude Radiation Budget by Cloud and Surface Forcing on Interannual Time Scales, Journal of Climate, 5, pp. 831–846.
- 166. Sperber, K.R. ET T. Palmer (1996): Interannual tropical rainfall variability in general circulation model simulations associated with the Atmospheric Model Intercomparison Project, Journal of Climate, 9, pp. 2727-2750.
- 167. Sneyers R., 1975 : L'analyse statistique des séries d'observations. Note technique n°143, OMM-N°415, Genève Suisse, 192 p.
- 168. Stoeckenius, T (1981): Interannual Variations of Tropical Precipitation Patterns, Monthly Weather Review, 109, pp. 1233–1247.
- 169. Suchel J-B., 1988 : Les climats du Cameroun. Thèse de doctorat d'Etat. Université de Saint-Etienne, 4, vol. 1186 p. et figures.
- 170. Suchel J-B., 1972 : La répartition des pluies et régimes pluviométriques au Cameroun. GEGET et C.N.R.S., n°5 Yaoundé, 287 p.
- 171. Sultan, B. et Janicot. S. (2004): La variabilité climatique en Afrique de l'Ouest aux échelles intra saisonnières.1ère partie : Analyse diagnostique de la mise en place de la mousson et de la variabilité intra-saisonnière de la convection, Sécheresse, 15(4),

pp : 1-10.

- 172. Sultan, B. ET S. Janicot (2003): The West African Monsoon Dynamics. Part II: The Preonset and Onset of the Summer Monsoon, Journal of Climate, 16, pp. 3407–3427.
- 173. Sultan, B (2002): Étude de la mise en place de la mousson en Afrique de l'Ouest et de la variabilité intra-saisonnière de la convection. Applications à la sensibilité des rendements agricoles, Thèse de doctorat, Université de Paris VII, 283 pp.
- 174. Tanaka M., Weare B.C., Navato A.R. et Newell R.E., 1975: Recent African rainfall patterns, Nature, 255, pp. 201-203.
- 175. Tchicaya j. A. 1994 : Etude hydrologique du bassin versant du Kouilou-Niari.Mémoire de D.E.A. de géographie. Université de Strasbourg, 69 p. et annexes.
- 176. Tyson P. D., Dyer T. G. J., Manetse M. N., 1975: Secular changes in South African rainfall: 1880 to 1972. Quaterly J. of the Roy. Meteo. Soc., 101, pp. 817-833.
- 177. Todd, Martin C., Washington., (2003) : Climate variability in Centrale Equatorial Africa: Evidence of extra-tropical influence; CLIVAR; 5 p.
- 178. Trzaska, S., V. Moron. ET B. Fontaine (1996): Global Atmospheric Response to Specific Linear-Combinations of the Main SST Modes. Part I: Numerical Experiments and Preliminary-Results, Annales Geophysical-Atmospheres Hydrosphere's and Space Sciences V, 14, pp. 1066-1077.
- 179. Tsalefac (M), (1991) : Convection et formations végétales au Cameroun, Lannion,ORSTOM, et Centre de Météorologie Spatiale, pp. 26-31.
- 180. Van Heerden J., Terblanche D. E., Schulze G. C., 1988: The Southern Oscillation and South African summer rainfall. J. Climatol., 8, pp. 577-597.
- 181. Vandiepenbeeck M., 1995 : Détection pratique de changement de climat dans le cas d'une alternative au caractère aléatoire. Publ. de l'Assoc. Intern. de climatol.., vol. 8, pp. 116-124.
- 182. Vautard, R., C. Pires. et G. Plaut (1996): Long-Range Atmospheric Predictability Using Space–Time Principal Components, Monthly Weather Review, 124,

- 183. Vizy, E.K. ET K.H. Cook (2002): Development and application of a mesoscale climate model for the tropic: Influence of sea surface temperature anomalies on the West African Monsoon, Journal of Geophysical Research, 107, doi: 10.1029/2001JD000686.
- 184. Vizy, E.K. et K.H. Cook (2001): Mechanisms by which Gulf of Guinea and Eastern North Atlantic sea surface temperatures anomalies can influence African rainfall, Journal of Climate, 14 p.
- 185. Voituriez B. et Jacques G., (1999) : El-Nino (réalité et fiction), Paris ; Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture ; 116 p.
- 186. Von Storch, H. ET F.W. Zwiers (1999): Statistical analysis in climate research, Cambridge University press, Cambridge, 484 p.
- 187. Von Storch H., ET Navarra A., (1993): Analysis of climate variability applications of statistical technique. Proceedings of an autumn school, CEE, Elbe, 334p.
- 188. Ward J.V., Tockner K., Uehlinger U., Malard F., 2001: Understanding natural patterns and processes in river corridors as the basis for effective river restoration. Regul. Rivers: Res. Mgmt. 17, PP. 311-323.Comptes Rend. De l'Acad. des Scien., série II, Sciences de la terre et des planètes, 324, pp. 181-188.
- 189. Ward, N. M (1998): Diagnosis and short-lead time prediction of summer rainfall in tropical North Africa at interannual and multidecadal timescales, Journal of Climate, 11, pp. 3167-3191.
- 190. Ward, N. M. ET A. Navarra (1997): Pattern analysis of SST forced variability in ensemble GCM simulations: Examples over Europe and the tropical pacific, Journal of Climate, 10, pp. 2210–2220.
- 191. Ward, M.N (1992): Provisionally corrected surface wind data, worldwide oceanatmosphere surface fields and Sahelian rainfall variability, Journal of Climate, 5, pp. 454–475.

- 192. Ward, M. N. et C. K. Folland (1991): Prediction of seasonal rainfall in the North Nordeste of Brazil using eigenvectors of sea-surface temperature, International Journal of Climatology, 11, pp. 711–743.
- 193. Weigel, A.P., M.A. Liniger ET C. Appenzeller (2007): Generalization of the Discrete Brier and Ranked Probability Skill Scores for Weighted Multimodal Ensemble Forecasts, Monthly Weather Review, 135, pp. 2778–2785.
- 194. Weisman, M.L. ET R. Rotunno (2004): "A theory of strong, long-lived squall lines" revisited, Journal of Atmospheric Sciences, 61, pp. 361-382.
- 195. Wotling G., et al., (1995) : Analyse par les vecteurs régionaux de la variabilité spatio-temporelle des précipitations annuelles liées à la mousson africaine. Veille climatique satellitaire, pp. 58-73.
- 196. Xie, P. et P.A. Arkin (1997): Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. Bulletin of American Meteorological Society, 78, 11, pp. 2539-2558.
- 197. Xie, P. et P.A. Arkin (1996): Analyses of Global Monthly Precipitation Using Gauge Observations, Satellite Estimates, and Numerical Model Predictions, Journal of Climate, 9, pp. 840–858.

Liste des figures

FIGURE 1 : LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE
FIGURE 2: REPARTITION SPATIALE DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES, (A) AVANT 1960 ET (B)
APRES 1960 (SOURCE : METEOROLOGIE NATIONALE DU CONGO)
FIGURE 3: LOCALISATION DES 30 POINTS DE GRILLES POUR LE GEOPOTENTIEL, PRESSIONS
EGALES A 1000HPA, PERIODE 1950-2005)
FIGURE 4 : LES GRANDES UNITES DU RELIEF DU CONGO (SOURCE : SAMBA ET NGANGA, 2011)
FIGURE 5: LES GRANDS ENSEMBLES DE LA VEGETATION DU CONGO (D'APRES CNIAF/MDDEFE,
2010
FIGURE 6: LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU FLEUVE CONGO (SOURCE : IBIASSI, 2003)
FIGURE 7: LE BASSIN VERSANT DU FLEUVE KOUILOU-NIARI ET STATIONS HYDROMETRIQUES
DE REFERENCE (D'APRES CRTH, 2007)
FIGURE 8: CIRCULATION TRICELLULAIRE DE L'ATMOSPHERE. H (L) POUR LES COUCHES DE
HAUTES (BASSES) PRESSIONS. (SOURCE PALMEN, 1951, IN BOUALI, 2009)
FIGURE 9: LES COURANTS MARINS AUX BASSES LATITUDES (CIRCULATION DANS LA COUCHE
SUPERFICIELLE DE L'OCEAN TROPICAL) SOURCE : VOITURIEZ ET JACQUES, 1990
FIGURE 10: SCHEMA DE LA CIRCULATION GENERALE DE VENTS, PRESSIONS ET
CONVERGENCES SUR L'AFRIQUE, EN POINTILLES LA ZCIT: SOURCE NICHOLSON, 2000 52
FIGURE 11: LOCALISATION DES PRINCIPAUX CENTRES D'ACTION (SAINTE-HELENE,
MASCAREIGNES ET EGYPTO-LIBYEN), SOURCE : BOUALI, 2009
FIGURE 12: LA STRUCTURE VERTICALE MOYENNE DE LA TROPOSPHERE TROPICALE (SOURCE :
LEROUX, 1980)
FIGURE 13: LA CIRCULATION GLOBALE ZONALE DE TYPE WALKER D'APRES CAMINADE,
2006(SOURCE : BOUALI, 2009)
FIGURE 14 : LA CONFLUENCE INTER OCEANIQUE (SOURCE : LEROUX, 1980, IN SAMBA-
KIMBATA, 1991)
FIGURE 15 : LES ALIZES (SOURCE BIGOT, 1997)
FIGURE 16: LES REGIMES PLUVIOMETRIQUES MOYENS MENSUELS DU CONGO A PARTIR DES
TROIS COMPOSANTES PRINCIPALES (CP1, CP2 ET CP3) SUR LA PERIODE 1950-200569
FIGURE 17: EVOLUTION INTER ANNUELLE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES DE L'INDICE SUD-
CONGO(A), DE L'INDICE CENTRE-CONGO(B) ET L'INDICE CENTRE-CONGO(C), PERIODE
(1950-2005). EN ORDONNEE, LES ANOMALIES FILTREES ET STANDARDISEES DES
PRECIPITATIONS
FIGURE 18: EVOLUTION SAISONNIERE DES PRECIPITATIONS DE JF DE L'INDICE SUD-CONGO(A),
DE L'INDICE CENTRE-CONGO(B) ET L'INDICE CENTRE-CONGO(C), PERIODE (1950-2005). EN
ORDONNEE, LES ANOMALIES FILTREES ET STANDARDISEES DES PRECIPITATIONS

FIGURE 19: EVOLUTION SAISONNIERE DES PRECIPITATIONS DE MAM (CP1, CP2 ET CP3) AU
CONGO, PERIODE (1950-2005). CP1, CP2 ET CP3 REPRESENTANT LA PREMIERE
COMPOSANTE PRINCIPALE, LA DEUXIEME COMPOSANTE PRINCIPALE ET LA TROISIEME
COMPOSANTE PRINCIPALE
FIGURE 20: EVOLUTION SAISONNIERE DES PRECIPITATIONS DE JJAS (CP1 ET CP2) ET JJA(CP3)
AU CONGO, PERIODE (1950-2005). CP1, CP2 ET CP3 REPRESENTANT LA PREMIERE
COMPOSANTE PRINCIPALE, LA DEUXIEME COMPOSANTE PRINCIPALE ET LA TROISIEME
COMPOSANTE PRINCIPALE
FIGURE 21: EVOLUTION SAISONNIERE DES PRECIPITATIONS D'OND (CP1 ET CP2) ET SON (CP3)
AU CONGO, PERIODE (1950-2005). CP1, CP2 ET CP3 REPRESENTANT LA PREMIERE
COMPOSANTE PRINCIPALE, LA DEUXIEME COMPOSANTE PRINCIPALE ET LA TROISIEME
COMPOSANTE PRINCIPALE
FIGURE 22: EVOLUTION DECENNALE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES AU CONGO, PERIODE
(1950-2005). CP1, CP2 ET CP3 REPRESENTANT LA PREMIERE COMPOSANTE PRINCIPALE, LA
DEUXIEME COMPOSANTE PRINCIPALE ET LA TROISIEME COMPOSANTE PRINCIPALE 82
FIGURE 23: EVOLUTION DECENNALE DES PRECIPITATIONS SAISONNIERES DE JF (CP1 ET CP2)
ET DJF (CP3), PERIODE (1950-2005). CP1, CP2 ET CP3 REPRESENTANT LA PREMIERE
COMPOSANTE PRINCIPALE, LA DEUXIEME COMPOSANTE PRINCIPALE ET LA TROISIEME
COMPOSANTE PRINCIPALE
FIGURE 24: EVOLUTION DECENNALE DES PRECIPITATIONS SAISONNIERES DE MAM, PERIODE
(1950-2005). CP1, CP2 ET CP3 REPRESENTANT LA PREMIERE COMPOSANTE PRINCIPALE, LA
DEUXIEME COMPOSANTE PRINCIPALE ET LA TROISIEME COMPOSANTE PRINCIPALE 85
FIGURE 25: EVOLUTION DECENNALE DES PRECIPITATIONS SAISONNIERES DE JJA(CP3) ET JJAS
(CP1 ET CP2), PERIODE (1950-2005). CP1, CP2 ET CP3 REPRESENTANT LA PREMIERE
COMPOSANTE PRINCIPALE, LA DEUXIEME COMPOSANTE PRINCIPALE ET LA TROISIEME
COMPOSANTE PRINCIPALE
FIGURE 26: EVOLUTION DECENNALE DES PRECIPITATIONS SAISONNIERES DE SON (CP3) ET
OND (CP1 ET CP2), PERIODE (1950-2005). CP1, CP2 ET CP3 REPRESENTANT LA PREMIERE
COMPOSANTE PRINCIPALE, LA DEUXIEME COMPOSANTE PRINCIPALE ET LA TROISIEME
COMPOSANTE PRINCIPALE
FIGURE 27: TESTS DE PETTITT, BUISHAND, LEE ET HEGHINIAN SUR LES PRECIPITATIONS
ANNUELLES DE LA CP1
FIGURE 28 : TESTS DE BUISHAND, PETTITT, LEE ET HEGHINIAN SUR PRECIPITATIONS LA CP2
FIGURE 29: TEST DE BUISHAND, PETTITT, DE LEE ET HEGHINIAN SUR LA CP3
FIGURE 30: TEST DE BUISHAND, PETTITT ET DE LEE ET HEGHINIAN POUR LA SAISON JF DE LA
CP1
FIGURE 31: TEST DE BUISHAND, PETTITT ET DE LEE ET HEGHINIAN POUR LA SAISON JF DE LA
CP2
FIGURE 32: TEST DE BUISHAND, PETTITT ET DE LEE ET HEGHINIAN POUR LA SAISON DJF DE LA
CP3

FIGURE 33: TEST DE BUISHAND, PETTITT ET DE LEE ET HEGHINIAN POUR LA SAISON MAM DE
LA CP1
FIGURE 34 : TEST DE BUISHAND, PETTITT ET DE LEE ET HEGHINIAN POUR LA SAISON MAM DE
LA CP2
FIGURE 35 : TEST DE BUISHAND, PETTITT ET DE LEE ET HEGHINIAN POUR LA SAISON MAM DE
LA CP3
FIGURE 36: TESTS DE BUISHAND, PETTITT ET DE LEE ET HEGHINIAN POUR LA SAISON JJAS DE
LA CP1
FIGURE 37: TESTS DE BUISHAND, PETTITT ET DE LEE ET HEGHINIAN POUR LA SAISON JJAS DE
LA CP2
FIGURE 38: TESTS DE BUISHAND, PETTITT ET DE LEE ET HEGHINIAN POUR LA SAISON JJA DE
LA CP3
FIGURE 39: TESTS DE BUISHAND, PETTITT ET DE LEE ET HEGHINIAN POUR LA SAISON SON DE
LA CP1
FIGURE 40: TESTS DE BUISHAND, PETTITT ET DE LEE ET HEGHINIAN POUR LA SAISON OND DE
LA CP2
FIGURE 41: TESTS DE BUISHAND, PETTITT ET DE LEE ET HEGHINIAN POUR LA SAISON SON DE
LA CP3
FIGURE 42: L'EVOLUTION INTER ANNUELLE DES INDICES OCEANIQUES ANNUELS
FIGURE 43: L'EVOLUTION INTER ANNUELLE DES INDICES OCEANIQUES AU COURS DES
SAISONS JF ET DJF
FIGURE 44: L'EVOLUTION INTER ANNUELLE DES INDICES OCEANIQUES AU COURS DE LA
SAISON MAM
FIGURE 45: L'EVOLUTION INTER ANNUELLE DES INDICES DES TEMPERATURES DE SURFACE
OCEANIQUES AU COURS DES SAISONS JJA ET JJAS
FIGURE 46: L'EVOLUTION INTER ANNUELLE DES INDICES DES TEMPERATURES DE SURFACE
OCEANIQUES AU COURS DES SAISONS SON ET OND
FIGURE 47: L'EVOLUTION DECENNALE DES INDICES OCEANIQUES AU COURS DE L'ECHELLE
ANNUELLE
FIGURE 48 : L'EVOLUTION DECENNALE DES INDICES OCEANIQUES AU COURS DES SAISONS JF
ET DJF
FIGURE 49:L'EVOLUTION DECENNALE DES INDICES OCEANIQUES AU COURS DE LA SAISON
MAM
FIGURE 50: L'EVOLUTION DECENNALE DES INDICES OCEANIQUES AU COURS DES SAISONS JJA
ET JJAS
FIGURE 51:L'EVOLUTION DECENNALE DES INDICES OCEANIQUES AU COURS DES SAISONS
SON ET OND
FIGURE 52: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIOUE SUD-
CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE AMO. PERIODE
1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA
MOYENNE (1950-2005), MULTIPLIEES PAR 100

FIGURE 53: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE SOI, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA FIGURE 54: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE NINO3.4, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT FIGURE 55: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE NAO, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA FIGURE 56: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE AMO PENDANT JF ET DJF, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR FIGURE 57: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE NINO3.4 PENDANT JF ET DJF, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA MOYENNE (1950-2005), MULTIPLIEES PAR 100 159 FIGURE 58: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE NAO PENDANT JF ET DJF, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA MOYENNE (1950-2005), MULTIPLIEES PAR 100161 FIGURE 59: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE SOI PENDANT JF ET DJF, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA MOYENNE (1950-2005), MULTIPLIEES PAR 100164 FIGURE 60: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE MAO PENDANT MAM, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA MOYENNE (1950-2005), MULTIPLIEES PAR 100 166 FIGURE 61: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE SOI PENDANT MAM, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA MOYENNE (1950-2005), MULTIPLIEES PAR 100 168 FIGURE 62 : EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE NINO3.4 PENDANT MAM, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA MOYENNE (1950-2005), MULTIPLIEES PAR 100. 171

307

FIGURE 63: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE NAO PENDANT MAM, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR FIGURE 64: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE MAO PENDANT JJA ET JJAS, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA MOYENNE (1950-2005), MULTIPLIEES PAR 100......175 FIGURE 65: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE SOI PENDANT JJA ET JJAS, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA MOYENNE (1950-2005), MULTIPLIEES PAR 100......177 FIGURE 66: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE NINO3.4 PENDANT JJA ET JJAS, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA MOYENNE (1950-2005), MULTIPLIEES PAR 100 179 FIGURE 67: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE NAO PENDANT JJA ET JJAS, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA MOYENNE (1950-2005), MULTIPLIEES PAR 100......181 FIGURE 68: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE MAO PENDANT SON ET OND, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA MOYENNE (1950-2005), MULTIPLIEES PAR 100......183 FIGURE 69: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE SOI PENDANT SON ET OND, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA MOYENNE (1950-2005), MULTIPLIEES PAR 100......185 FIGURE 70: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE NINO3.4 PENDANT SON ET OND, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA MOYENNE (1950-2005), MULTIPLIEES PAR 100. 187 FIGURE 71: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE ENTRE L'INDICE PLUVIOMETRIQUE SUD-CONGO (CP1), CENTRE-CONGO(CP2), ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE NAO PENDANT SON ET OND, PERIODE 1950-2005. LES DONNEES SONT DES ANOMALIES STANDARDISEES PAR RAPPORT A LA MOYENNE (1950-2005), MULTIPLIEES PAR 100......189 FIGURE 72: EVOLUTION INTER ANNUELLE DE L'INDICE DE PRESSSION ATMOSPHERIOUE FIGURE 73: EVOLUTION INTER ANNUELLE DE L'INDICE DE PRESSSION ATMOSPHERIQUE A 1000

FIGURE 74: EVOLUTION INTER ANNUELLE DE L'INDICE DE PRESSSION ATMOSPHERIQUE A 1000
HPA, DURANT LA SAISON MAM ; PERIODE : 1950-2005
FIGURE 75: EVOLUTION INTER ANNUELLE DE L'INDICE DE PRESSSION ATMOSPHERIQUE
REGIONALES DE SURFACE A 1000 HPA, PENDANT LES SAISONS JJA ET JJAS :PERIODE :
1950-2005
FIGURE 76: EVOLUTION INTER ANNUELLE DE L'INDICE DE PRESSSION ATMOSPHERIQUE A
1000HPA, PENDANT LES SAISONS SON ET OND : PERIODE : 1950-2005
FIGURE 77 : EVOLUTION DECENNALE DE LA PRESSION DE SURFACE A L'ECHELLE ANNUELLE A
1000 HPA, PERIODE 1950-2005
FIGURE 78: EVOLUTION DECENNALE DE LA PRESSION DE SURFACE PENDANT LES SAISONS JF
ET DJF A 1000HPA, PERIODE 1950-2005
FIGURE 79: EVOLUTION DECENNALE DE LA PRESSION DE SURFACE PENDANT LA SAISON MAM
A 1000HPA, PERIODE 1950-2005
FIGURE 80: EVOLUTION DECENNALE DE LA PRESSION DE SURFACE PENDANT LES SAISONS JJA
ET JJAS A 1000HPA, PERIODE 1950-2005
FIGURE 81: EVOLUTION DECENNALE DE LA PRESSION DE SURFACE PENDANT LES SAISONS
SON ET OND A 1000HPA, PERIODE 1950-2005
FIGURE 82: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE DES PRECIPITATIONS DE L'INDICE SUD-
CONGO, CENTRE-CONGO ET DE L'INDICE NORD-CONGO AVEC LES PRESSIONS DE
SURFACE REGIONALE, PERIODE 1950-2005
FIGURE 83 : EVOLUTION DECENNALE COMPAREE DES PRECIPITATIONS DE L'INDICE SUD-
CONGO, CENTRE-CONGO ET DE L'INDICE NORD-CONGO AVEC LES PRESSIONS DE
SURFACE REGIONALES AU COURS DES SAISONS JF ET DJF, PERIODE 1950-2005
FIGURE 84: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE DES PRECIPITATIONS DE L'INDICE SUD-
CONGO, CENTRE-CONGO ET DE L'INDICE NORD-CONGO AVEC LES PRESSIONS DE
SURFACE REGIONALES AU COURS DE LA SAISON MAM, PERIODE 1950-2005
FIGURE 85 : EVOLUTION DECENNALE COMPAREE DES PRECIPITATIONS DE L'INDICE SUD-
CONGO, CENTRE-CONGO ET DE L'INDICE NORD-CONGO AVEC LES PRESSIONS DE
SURFACE REGIONALES AU COURS DES SAISONS JJA ET JJAS, PERIODE 1950-2005
FIGURE 86: EVOLUTION DECENNALE COMPAREE DES PRECIPITATIONS DE L'INDICE SUD-
CONGO, CENTRE-CONGO ET DE L'INDICE NORD-CONGO AVEC LES PRESSIONS DE
SURFACE REGIONALES AU COURS DES SAISONS SON ET OND, PERIODE 1950-2005

Liste des tableaux

TABLEAU 1: LA REPARTITION TEMPORELLE DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES UTILISEES (SOURCE:
METEOROLOGIE NATIONALE DU CONGO)25
TABLEAU 2: DESCRIPTION SOMMAIRE DES INDICES OCEANIQUES UTILISES
TABLEAU 3: RESULTATS DES CORRELATIONS(R ²) ENTRE LES INDICES OCEANIQUES ET LES INDICES
PLUVIOMETRIQUES A L'ECHELLE ANNUELLE
TABLEAU 4: RESULTATS DES CORRELATIONS CANONIQUES ENTRE LES INDICES OCEANIQUES ET LES INDICES
PLUVIOMETRIQUES PENDANT LES SAISONS JF ET DJF193
TABLEAU 5: RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE LES INDICES OCEANIQUES ET LES INDICES
PLUVIOMETRIQUES PENDANT LA SAISON MAM194
TABLEAU 6: RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE LES INDICES OCEANIQUES ET LES INDICES
PLUVIOMETRIQUES PENDANT LA SAISON JJA ET JJAS
TABLEAU 7: RESULTATS DES CORRELATIONS CANONIQUES ENTRE LES INDICES OCEANIQUES
ET LES INDICES PLUVIOMETRIQUES PENDANT LA SAISON SON ET OND196
TABLEAU 8: RESULTATS DES CORRELATIONS CANONIQUES(R ²) ENTRE LES INDICES
OCEANIQUES ET LES INDICES PLUVIOMETRIQUES ECHELLE ANNUELLE 198
TABLEAU 9: RESULTATS DES CORRELATIONS CANONIQUES ENTRE LES INDICES OCEANIQUES ET LES INDICES
PLUVIOMETRIQUES PENDANT LA SAISON JF ET DJF
TABLEAU 10: RESULTATS DES CORRELATIONS CANONIQUES ENTRE LES INDICES OCEANIQUES ET LES INDICES
PLUVIOMETRIQUES PENDANT LA SAISON MAM
TABLEAU 11: RESULTATS DES CORRELATIONS CANONIQUES ENTRE LES INDICES OCEANIQUES
ET LES INDICES PLUVIOMETRIQUES PENDANT LA SAISON JJA ET JJAS
TABLEAU 12: RESULTATS DES CORRELATIONS CANONIQUES ENTRE LES INDICES OCEANIQUES ET LES INDICES
PLUVIOMETRIQUES PENDANT LA SAISON SON ET OND
TABLEAU 13: RESULTATS DES CORRELATIONS CANONIQUES ENTRE LES INDICES OCEANIQUES ET LES INDICES
PLUVIOMETRIQUES ECHELLE ANNUELLE, PERIODE DE 1971 A 2005204
TABLEAU 14: RESULTATS DES CORRELATIONS CANONIQUES ENTRE LES INDICES OCEANIQUES ET LES INDICES
PLUVIOMETRIQUES SAISONS JF ET DJF
TABLEAU 15: RESULTATS DES CORRELATIONS CANONIQUES ENTRE LES INDICES OCEANIQUES ET LES INDICES
PLUVIOMETRIQUES SAISON MAM, PERIODE 1971-2005206
TABLEAU 16: RESULTATS DES CORRELATIONS CANONIQUES ENTRE LES INDICES OCEANIQUES ET LES INDICES
PLUVIOMETRIQUES DES SAISONS JJA ET JJAS208
TABLEAU 17: RESULTATS DES CORRELATIONS CANONIQUES ENTRE LES INDICES DES OCEANIQUES ET LES
INDICES PLUVIOMETRIQUES SAISON OND, PERIODE 1971-2005
TABLEAU 18 : RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS DES INDICES SUD-CONGO (CP1),
CENTRE-CONGO (CP2) ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE DES PRESSIONS ATMOSPHERIQUES
REGIONALES A 1000 HPA A L'ECHELLE ANNUELLE, PERIODE 1950-2005
TABLEAU 19: RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS DES INDICES SUD-CONGO(CP1),
CENTRE-CONGO(CP2) ET NORD-CONGO(CP3) ET L'INDICE DES PRESSIONS DE SURFACE A L'ECHELLE
REGIONALE AU COURS DES SAISONS JF ET DJF, A 1000 HPA, PERIODE 1950-2005

TABLEAU 20: RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS DES INDICES SUD-CONGO(CP1),
CENTRE-CONGO(CP2) ET NORD-CONGO(CP3) ET L'INDICE DES PRESSIONS DE SURFACE REGIONALE AU
COURS DE LA SAISON MAM, A 1000HPA, PERIODE 1950-2005
TABLEAU 21: RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS DES INDICES SUD-CONGO(CP1),
CENTRE-CONGO(CP2) ET NORD-CONGO(CP3) ET L'INDICE DES PRESSIONS DE SURFACE REGIONALE AU
COURS DES SAISONS JJA ET JJAS, A 1000HPA, PERIODE 1950-2005
TABLEAU 22: RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS DES INDICES SUD-CONGO(CP1),
CENTRE-CONGO(CP2) ET NORD-CONGO(CP3) ET L'INDICE DES PRESSIONS DE SURFACE REGIONALE AU
COURS DES SAISONS SON ET OND, A 1000HPA, PERIODE 1950-2005
TABLEAU 23: DES CORRELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS DES INDICES SUD-CONGO(CP1), CENTRE-
CONGO(CP2) ET NORD-CONGO(CP3) ANNUELLES ET L'INDICE DES PRESSIONS DE SURFACE REGIONALE, A
1000HPA, PERIODE 1950-1970
TABLEAU 24: DES CORRELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS DES INDICES SUD-CONGO(CP1), CENTRE-
CONGO(CP2) ET NORD-CONGO(CP3) ET L'INDICE DES PRESSIONS DE SURFACE REGIONALE AU COURS DES
SAISONS JF ET DJF, A 1000HPA, PERIODE 1950-1970251
TABLEAU 25: RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS DES INDICES SUD-CONGO(CP1),
CENTRE-CONGO(CP2) ET NORD-CONGO(CP3) ET L'INDICE DES PRESSIONS DE SURFACE REGIONALE AU
COURS DE LA SAISON MAM, A 1000HPA, PERIODE 1950-1970252
TABLEAU 26: DES CORRELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS DES INDICES SUD-CONGO(CP1), CENTRE-
CONGO(CP2) ET NORD-CONGO(CP3) ET L'INDICE DES PRESSIONS DE SURFACE REGIONALE AU COURS DES
SAISONS JJA ET JJAS, A 1000HPA, PERIODE 1950-1970
TABLEAU 27: RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS DES INDICES SUD-CONGO(CP1),
CENTRE-CONGO(CP2) ET NORD-CONGO(CP3) ET L'INDICE DES PRESSIONS DE SURFACE REGIONALE AU
COURS DE LA SAISON OND, A 1000HPA, PERIODE 1950-1970
TABLEAU 28: RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS DES INDICES SUD-CONGO(CP1),
CENTRE-CONGO(CP2) ET NORD-CONGO(CP3) ANNUELLES ET L'INDICE DES PRESSIONS DE SURFACE
REGIONALE A 1000HPA, PERIODE 1971-2005
TABLEAU 29: RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS DES INDICES SUD-CONGO(CP1),
CENTRE-CONGO(CP2) ET NORD-CONGO(CP3) ET L'INDICE DES PRESSIONS DE SURFACE REGIONALE AU
COURS DES SAISONS JF ET DJF, A 1000HPA, PERIODE 1971-2005257
TABLEAU 30: RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS DES INDICES SUD-CONGO(CP1),
CENTRE-CONGO(CP2) ET NORD-CONGO(CP3) ET L'INDICE DES PRESSIONS DE SURFACE REGIONALE AU
COURS DE LA SAISON MAM, A 1000HPA, PERIODE 1970-2005258
TABLEAU 31: RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS DES INDICES SUD-CONGO(CP1),
CENTRE-CONGO(CP2) ET NORD-CONGO(CP3) ET L'INDICE DES PRESSIONS DE SURFACE REGIONALE AU
COURS DES SAISONS JJA ET JJAS, A 1000HPA, PERIODE 1970-2005
TABLEAU 32 : RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS DES INDICES SUD-CONGO (CP1),
CENTRE-CONGO (CP2) ET NORD-CONGO (CP3) ET L'INDICE DES PRESSIONS DE SURFACE REGIONALE AU
COURS DE LA SAISON OND, A 1000HPA, PERIODE 1971-2005

Table des matières

SON	/MAIRI	Ξ2
DEI	DICACE	
REN	MERCIE	MENTS4
LIST	ΓE DES	ACRONYMES
RES	SUME	
SUN	MARY	,
INT	RODUC	TION GENERALE
1. D	élimitati	on du sujet10
	1.1.	Délimitation thématique 10
	1.2.	Délimitation temporelle11
	1.3.	Délimitation spatiale11
2.	Pı	oblématique12
3.		Questions de recherche17
4.		Axes de recherche
5.		Les objectifs de l'étude
6.		Hypothèses de recherche
7.		Contexte scientifique de l'étude
8.		Clarification des concepts
9.		Les différentes rubriques de la thèse
Cha	pitre 1 :	Données et méthodes d'étude23
1.1.	Do	onnées utilisées
	1.1.1.	Les stations et la période d'étude représentative
	1.1.2.	La période d'étude et l'espace de référence 24
	1.1.3.	Types des données utilisées et fichiers
	1.1.3	3.1. Données pluviométriques stationnelles
	1.1.3	3.2. Les données des Températures de Surface Océanique (TSO) ou SST
	1.1.3	3.3. Les données atmosphériques (réanalyse du NCEP / NCAR) 27
1.2.	Méthode	es de collecte et de traitement des données
	1.2.1. I	Les méthodes de collectes de données 28
	1.2.2.	Les méthodes de traitement des données

pluviométrique homogène)
1.2.2.1.1.L'Analyse en Composante Principale avec rotation Varimax (ACPRV)
1.2.2.1.2.Les indices pluviométriques régionalisés
1.2.2.2.Le découpage saisonnier
1.2.2.3.Détection de changements dans les séries des indices
1.2.2.3.1.La régression linéaire
1.2.2.3.2.La moyenne mobile
1.2.2.3. Le test de Pettitt, de Buishand (méthode des écarts cumulés), de Lee et Heghinian (méthode bayesienne), d'Hubert (méthode de la segmentation)
1.2.2.4.Le test de Student
1.2.2.1.Les corrélations canoniques
Chapitre 2: Cadre physique et climatique du Congo 35
2.1.Le cadre physique du Congo
2.1.1. Le relief et la répartition pluviométrique
2.1.1.1. Les reliefs élevés
2.1.1.1.1. Les plateaux
2.1.1.1. 2. Les montagnes
2.1.1.1. 2. Les montagnes.362.1.1.2. Les zones basses.372.1.1.2.1. La plaine côtière.372.1.1.2. 2. Les dépressions371.2.3.La végétation et les précipitations au Congo.381.2.4.L'hydrographie continentale du Congo.402.2.4.1. Le réseau hydrographique interne (continentale)40
2.1.1.1. 2. Les montagnes
2.1.1.1. 2. Les montagnes.362.1.1.2. Les zones basses.372.1.1.2.1. La plaine côtière372.1.1.2.2. Les dépressions371.2.3.La végétation et les précipitations au Congo.381.2.4.L'hydrographie continentale du Congo.402.2.4.1. Le réseau hydrographique interne (continentale)402.2.4.2. Rappels sur la dynamique océanique, atmosphérique et les fondements de la climatologie du Congo43
2.1.1.1. 2. Les montagnes
2.1.1.1. 2. Les montagnes.362.1.1.2. Les zones basses.372.1.1.2.1. La plaine côtière372.1.1.2.2. Les dépressions371.2.3.La végétation et les précipitations au Congo.381.2.4.L'hydrographie continentale du Congo.402.2.4.1. Le réseau hydrographique interne (continentale)402.2.4.2. Rappels sur la dynamique océanique, atmosphérique et les fondements de la climatologie du Congo.432.2.4.2. 2. Les courants marins.462.2.4.2. 2. Le contre-courant équatorial48
2.1.1.1. 2. Les montagnes.362.1.1.2. Les zones basses.372.1.1.2.1. La plaine côtière.372.1.1.2.2. Les dépressions371.2.3.La végétation et les précipitations au Congo.381.2.4.L'hydrographie continentale du Congo.402.2.4.1. Le réseau hydrographique interne (continentale)402.2.4.2. Rappels sur la dynamique océanique, atmosphérique et les fondements de la climatologie duCongo432.2.4.2. 2. Les courants marins.462.2.4.2. 3. Le sous-courant équatorial ou courant de Gromwell48
2.1.1.1. 2. Les montagnes.362.1.1.2. Les zones basses.372.1.1.2.1. La plaine côtière372.1.1.2.2. Les dépressions371.2.3.La végétation et les précipitations au Congo.381.2.4.L'hydrographie continentale du Congo.402.2.4.1. Le réseau hydrographique interne (continentale)402.2.4.2. Rappels sur la dynamique océanique, atmosphérique et les fondements de la climatologie du Congo432.2.4.2. 2. Les courants marins.462.2.4.2. 3. Le sous-courant équatorial482.2.4.2. 4. L'upwelling.48
2.1.1.1. 2. Les montagnes.362.1.1.2. Les zones basses.372.1.1.2.1. La plaine côtière372.1.1.2.2. Les dépressions372.3.La végétation et les précipitations au Congo.381.2.4.L'hydrographie continentale du Congo.402.2.4.1. Le réseau hydrographique interne (continentale).402.2.4.2. Rappels sur la dynamique océanique, atmosphérique et les fondements de la climatologie du Congo.432.2.4.2. 2. Les courants marins.462.2.4.2. 3. Le sous-courant équatorial482.2.4.2. 4. L'upwelling.482.2.4.2. 5. Les températures de surface océanique (TSO).49
2.1.1.1. 2. Les montagnes

2.2.4.2. 8. Les échanges thermiques océan-atmosphère	51
2.2.Le cadre climatique du Congo	52
2.2.1.Les centres d'actions atmosphériques	53
2.2.1.1.L'anticyclone de Sainte-Hélène	54
2.2.1.2.L'anticyclone égypto-libyen	54
2.2.1.3.L'anticyclone des Mascareignes	55
2.2.2.Les échanges méridiens	55
2.2.2.1.Les échanges zonaux, courant jet et cellule de Walker	56
2.2.2.2.La zone de convergence intertropicale (ZCIT)	57
2.2.2.3.La Confluence inter océanique (C.I.O)	58
2.1.1.1.Les alizés	58
2.1.1.2.Le flux de mousson	60
2.1.2.Les mécanismes pluviogènes	60
2.1.3.Les différentes perturbations	61
Conclusion du chapitre 2	63
Chapitre 3 : La variabilité pluviométrique au Congo	65
3.1. Les structures pluviométriques	66
3.2. Régimes pluviométriques du Congo	67
3.3. Variabilité inter annuelle des précipitations	70
3.3.1. Variabilité annuelle	70
3.3.2. La variabilité saisonnière des précipitations	73
3.3.2. 1. La variabilité des précipitations durant les saisons JF et DJF	73
3.3.2. 2. La variabilité saisonnière des précipitations durant la saison MAM	75
3.3.2.3. La variabilité inter annuelle durant les saisons JJA et JJAS	77
3.3.3.4. La variabilité inter annuelle durant les saisons Septembre-Octobre-Novembre(SON) et Octobre-Novembre-Décembre(OND)	79
3.4. Etude de la variabilité inter décennale des précipitations au Congo de 1950 à 2005	81
3.4.1. La variabilité inter décennale des précipitations annuelles	81
3.4.2. La variabilité inter décennale des précipitations saisonnières	83
3.4.2.1. La variabilité inter décennale des précipitations de DJF et JF	83
3.4.2.2. La variabilité inter décennale des précipitations de MAM	84
3.4.2.3. La variabilité inter décennale des précipitations de JJA et JJAS	86

3.4.2.4. La variabilité décennale des précipitations de SON et OND	8
3.5. La recherche des ruptures dans les séries chronologiques des précipitations au Congo de 1950 à 2005	1
3.5.1. La recherche des ruptures dans les séries des précipitations annuelles	1
3.5.2. La recherche des ruptures dans les séries des précipitations saisonnières	5
3.5.2.1. La recherche des ruptures dans les séries des précipitations de JF (Janvier-Février) et DJF (Décembre-Janvier-Février)	5
3.5.2.2. La recherche des ruptures dans les séries des précipitations de MAM (Mars-Avril-Mai) 9	9
3.5.2.3. La recherche des ruptures dans les séries des précipitations de JJA (Juin-Juillet-Aout) et JJA (Juin-Juillet-Aout-Septembre)	S 13
3.5.2.4. La recherche des ruptures dans les séries des précipitations de SON (Septembre-Octobre- Novembre) et OND (Octobre-Novembre-Décembre)	17
Conclusion du chapitre 3	
Chapitre 4 : Dynamique de l'océan114	
4.1. Variabilité inter annuelle des indices océaniques115	
4.2. Variabilité saisonnière des indices océaniques	
4.2.1. Variabilité des indices océaniques durant la saison JF et DJF	
4.2.2. Variabilité inter annuelle des indices océaniques durant la saison MAM 12	2
4.2.4. Variabilité inter annuelle des indices océaniques durant les saisons SON et OND 12	7
4.3. Evolution décennale des indices océaniques	0
4.3.1. Evolution décennale des indices océaniques à l'échelle annuelle	0
4.3.2. Evolution décennale des indices océaniques à l'échelle saisonnière	2
4.3.2.1. Evolution décennale des indices océaniques pendant les saisons JF et DJF	2
4.3.2.2. Evolution décennale des indices océaniques pendant la saison MAM 13	5
4.3.2.2. Evolution décennale des indices océaniques pendant les saisons JJA et JJAS	7
4.3.2.4. Evolution décennale des indices océaniques pendant les saisons SON et OND 14	0
Conclusion du chapitre quatrième14	3
Chapitre 5 : Analyse de l'influence de la dynamique océanique sur la variabilité pluviométrique du	
Congo14	5
5.1. Comparaison entre l'évolution décennale des indices océaniques et l'évolution des indices pluviométriques	7
5.1.1. Comparaison entre l'évolution décennale des indices océaniques et l'évolution decennale des indices pluviométriques à l'échelle annuelle	7

5.1.1.1. Comparaison entre l'évolution décennale de l'indice AMO et les indices pluviométrique Sud- Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3)
5.1.1.2. Comparaison entre l'évolution décennale de l'indice océanique SOI et les indices pluviométriques Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3)
5.1.1.3. Comparaison entre l'évolution décennale de l'indice Nino3.4 et les indices pluviométriques Sud-Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3)
5.1.1.4. Comparaison entre l'évolution décennale de l'indice NAO et les indices pluviométriques Sud- Congo (CP1), Centre-Congo (CP2), et Nord-Congo (CP3)
5.1.2. Comparaison entre l'évolution décennale des indices océaniques et de l'évolution des indices pluviométriques du Congo à l'échelle saisonnière
5.1.2.1. Evolution décennale comparée de l'indice AMO avec les indices pluviométriques pendant la saison JF et DJF
5.1.2.2. Evolution décennale comparée de l'indice Nino3_4 et les indices pluviométriques pendant les saisons JF et DJF
5.1.2.3. Evolution décennale comparée de l'indice NAO aux indices pluviométriques pendant la saison JF et DJF
5.1.2.4. Evolution décennale comparée de l'indice SOI aux indices pluviométriques pendantlasaison JF et DJF
5.1.2.2. Comparaison entre l'évolution décennale des indices océaniques et de l'évolution des indices pluviométriques du Congo durant la saison MAM
5.1.2.2.1. Evolution décennale comparée de l'indice AMO aux indices pluviométriques pendant la saison MAM
5.1.2.2.2. Evolution décennale comparée de l'indice SOI aux indices pluviométriques pendant la saison MAM
5.1.2.2.3. Evolution décennale comparée de l'indice Nino3_4 aux indices pluviométriques pendant la saison MAM
5.1.2.2.4. Evolution décennale comparée de l'indice NAO aux indices pluviométriques pendant la saison MAM
5.1.2.3. Comparaison entre l'évolution décennale des indices océaniques et de l'évolution des indices pluviométriques du Congo durant les saisons JJA et JJAS
5.1.2.3.1. Evolution décennale comparée de l'indice AMO aux indices pluviométriques pendant les saisons JJA et JJAS
5.1.2.3.2. Evolution décennale comparée de l'indice SOI aux indices pluviométriques pendant la saison JJA et JJAS
5.1.2.3.3. Evolution décennale comparée de l'indice Nino3_4 aux indices pluviométriques pendant la saison JJA et JJAS

5.1.2.3.4. Evolution décennale comparée de l'indice NAO aux indices pluviométriques pendant la
saison JJA et JJAS
5.1.2.4. Comparaison entre l'évolution décennale des océaniques et l'évolution des indices pluviométriques du Congo durant la Saison SON et OND
5.1.2.4.1. Evolution décennale comparée de l'indice AMO aux indices pluviométriques pendant les saisons SON et OND
5.1.2.4.2. Evolution décennale comparée de l'indice SOI aux indices pluviométriques pendant les saisons SON et OND
5.1.2.4.3. Evolution décennale comparée de l'indice Nino3_4 aux indices pluviométriques pendant les saisons SON et OND
5.1.2.4.4. Evolution décennale comparée de l'indice NAO aux indices pluviométriques pendant la saison OND
5.2. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques191
5.2.1. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques à l'échelle annuelle de 1950 à 2005
5.2.2. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques à l'échelle saisonnière
5.2.2.1. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques durant les saisons JF et DJF
5.2.2.2. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques durant la saison MAM
5.2.2.3. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques durant les saisons JJA et JJAS
5.2.2.4. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques durant les saisons SON et OND
Chapitre 6 : Dynamique atmosphérique
6.1.1. Evolution inter annuelle du geopotentiel à la surface de la basse troposphère (1000 hPa) à l'échelle annuelle
6.1.2. Evolution inter annuelle du geopotentiel à la surface de la basse troposphère(1000 hPa) àl'échelle saisonnière
6.1.2.1. Evolution inter annuelle de la préssion de surface de la basse troposphère(1000 hPa) durant les saisons JF et DJF
6.1.2.2. Evolution inter annuelle de la préssion atmosphérique de la basse troposphère(1000 hPa) durant la saison MAM

6.1.2.3. Evolution inter annuelle du geopotentiel à la surface de la basse troposphère(1000 hPa) durant les saisons JJA et JJAS
6.1.2.4. Evolution inter annuelle de la préssion atmosphérique de la basse troposphère(1000 hPa) durant les saisons SON et OND
6.2. Evolution décennale de la pression atmosphérique régionale de surface à 1000 hPa223
6.2.1.Evolution décennale de la pression atmosphérique régionale de surface à 1000 hPa à l'échelle annuelle
6.2.2.Evolution décennale de la pression atmosphérique régionale de surface à 1000 hPa à l'échelle saisonnière
6.2.2.1.Evolution décennale de la pression atmosphérique régionale de surface à 1000 hPa pendant les saisons JF et DJF
6.2.2.2.Evolution décennale de la pression atmosphérique régionale de surface à 1000 hPa pendant la saison MAM
6.2.2.3.Evolution décennale de la pression atmosphérique régionale de surface à 1000 hPa pendant les saisons JJA et JJAS
6.2.2.4.Evolution décennale de la pression atmosphérique régionale de surface à 1000 hPa pendant les saisons SON et OND
Conclusion du chapitre 6
Chapitre 7 : Analyse de l'influence de la dynamique atmosphérique sur la variabilité pluviométrique
au Congo
7.1. Evolution décennale comparée des pressions atmosphériques de surface à 1000 hPa et de la variabilité pluviométrique au Congo
7.1.1. Evolution décennale comparée des pressions atmosphériques de surface à 1000 hPa et de lavariabilité pluviométrique au Congo à l'échelle annuelle
7.1.2.Evolution décennale comparée des pressions atmosphériques de surface à 1000 hPa et de la variabilité pluviométrique au Congo à l'échelle saisonnière
7.1.2.1. Evolution décennale comparée des pressions atmosphériques de surface à 1000 hPa et de la variabilité pluviométrique au Congo durant les saisons JF et DJF
7.1.2.1. Evolution décennale comparée des pressions atmosphériques de surface à 1000 hPa et de la variabilité pluviométrique au Congo durant la saison MAM
7.1.2.1. Evolution décennale comparée des pressions atmosphériques de surface à 1000 hPa et de la variabilité pluviométrique au Congo durant les saisons JJA et JJAS
7.1.2.1. Evolution décennale comparée des pressions atmosphériques de surface à 1000 hPa et de la variabilité pluviométrique au Congo durant les saisons SON et OND
 7.2. Analyse des correlations entre les précipitations du Congo et les pressions de surface régionales à 1000 hPa

7.2.1.Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface régionales à 1000hPa à l'échelle annuelle de 1950 à 2005
7.2.2. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface régionales à 1000hPa à l'échelle saisonnière
7.2.2.1. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface régionales à1000hPa pendant les saisons JF et DJF
7.2.2.2. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface régionales à 1000hPa pendant la saison MAM 245
7.2.2.3. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface régionales à1000hPa pendant les saisons JJA et JJAS246
7.2.2.4. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface régionales à 1000hPa pendant les saisons SON et OND
7.2.3. Analyse des correlations entre pluies et pressions de surface de 1950 à 1970 (période humide)
7.2.3.1. Analyse des correlations pluies et pressions de surface de 1950 à 1970 à l'échelle annuelle 249
7.2.3.3. Analyse des correlations Pluies et Pressions de surface de 1950 à 1970 (période humide) àl'échelle saisonnière
7.2.3.3.1. Analyse des correlations pluies et pressions de surface de 1950 à 1970 durant les saisons JF et DJF
7.2.3.3.2. Analyse des correlations pluies et pressions de surface de 1950 à 1970 durant la saison MAM
7.2.3.3.3. Analyse des correlations pluies et pressions de surface de 1950 à 1970 durant les saison JJA et JJAS
7.2.3.3.4. Analyse des correlations entre indices des précipitations et indice de pressions de surface de 1950 à 1970 durant les saisons SON et OND
7.2.3. Analyse des correlations pluies et pressions de surface à 1000 hPa durant la période 1971-2005 (période seche)
7.2.3.1. Analyse des correlations indices oluviométriques et indices des pressions de surface à 1000 hPa durant la période 1971-2005 (période sèche) à l'échelle annuelle
7.2.2.3. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface à l'échelle saisonnière
7.2.2.3.1. Analyse des correlations entre les indices des précipitations et les indices des pressions de surface pendant les saisons JF et DJF
7.2.2.3.2. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface pendant la saison MAM

7.2.2.3. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions de surface p	endant les saisons
JJA et JJAS	
7.2.2.4. Analyse des correlations entre les précipitations et les pressions pendant les OND	saisons SON et 260
Conclusion du chapitre 7	
Discussion des résultats	
Conclusion générale	
Références bibliographiques	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Table des matières	
Publications	

PUBLICATIONS

ANNEXE A

TEXTE INTEGRAL DE L'ARTICLE PUBLIE DANS LES CAHIERS DE L'IGRAC ; NUMERO 9, JUIN 2013 ; ISSN : 1818-6998

VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE ET EVOLUTION DES ECOULEMENTS DE SURFACE DANS LE BASSIN VERSANT DU KOUILOU NIARI (REPUBLIQUE DU CONGO)

Geoffroy IBIASSI MAHOUNGOU

LES CAHIERS DE L'IGRAC

Numéro 9, Juin 2013

ISSN 1818-6998

VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE ET EVOLUTION DES ECOULEMENTS DE SURFACE DANS LE BASSIN VERSANT DU KOUILOU NIARI (REPUBLIQUE DU CONGO)

Geoffroy IBIASSI MAHOUNGOU

Résumé

Le bassin versant du Kouilou Niari qui couvre 55.000km² à Sounda est retenu pour étudier l'impact de la variabilité pluviométrie sur les extrêmes hydrologiques. L'analyse de la succession des périodes hydrologiques sèches et humides au sein des séries chronologiques des extrêmes hydrologiques, par la méthode des moyennes glissantes sur 5 ans, montre une baisse des modules (6%), des étiages (6%) et des crues (4%). Les tests des ruptures révèlent une cassure au sein des séries chronologiques en 1970 sur la série chronologique des débits tant pour les modules, les étiages que les crues. La comparaison de l'évolution de la pluviométrie et celle des extrêmes hydrologiques par la méthode des corrélations canoniques, Bravais-Pearson, Tau-B de Kendall indique des faibles corrélations significatives, illustrant ainsi une déviation du couple pluie-débits qui implique l'influence des facteurs additionnels (déforestation, l'utilisation des sols et l'influence des modes climatiques.

Mots clés : Variabilité pluviométrique, écoulements de surface, corrélations canoniques, bassin versant du Kouilou Niari, République du Congo.

Abstract

This Study analyze the relations between pluviometric variability and hydrologie in the Kouilou-Niari Basin. The precipitation variability reveals a fall of precipitations. The investigation of the relations between the precipitations and discharge indicate the statistical significativity of correlations has been evaluated from Bravais-Pearson and Mann-Kendall tests.

Key-words: Republic of Congo, Kouilou-Niari Basin, Pluviometric variability, discharge, indications of variability's.

1. Introduction

Au Congo, la variabilité interannuelle des précipitations est caractérisée par une succession des périodes sèches et humides. Les conséquences de cette succession se font remarquer dans les formes extrêmes de l'écoulement (étiages et crues). Pour déterminer l'influence des aléas climatiques sur les extrêmes hydrologiques au Congo, le bassin versant du Kouilou-Niari a été choisi, vu son importance spatiale et son apport hydrique qui a un impact non négligeable sur le barrage hydroélectrique (Moukoukoulou) et sur les activités agricoles. Les récentes études réalisées au Congo et en *Afrique Equatoriale Atlantique* montrent une tendance à la baisse des précipitations (*Suchel,1972 et 1988 ; Mpounza et Samba-Kimbata,1990, Olivry et al, 1993 ; Bigot, 1997; Maloba-Makanga et Samba, 1997;Samba et al ; 2005 ;Samba et al ;2008*).Cette baisse semble être synchrone avec celle des écoulements (*Mahé, 1993 ; Olivry, 1993 ;Bricquet et al.,2013* .Cette baisse de la pluviométrie et de l'écoulement résulterait d'une modification du système climatique à l'échelle continentale. Ainsi, de nombreux travaux au Congo ont été consacrés à la caractérisation de la variabilité intra et interannuelle des régimes hydrologiques des cours d'eau pour quantifier la sécheresse hydrologique qui

affecte la morphologie des cours d'eau ainsi que le transport et le calibre des sédiments (*Church, 1995; Hesse, 1995*). Cependant, la majeure partie de ces études ont été entreprises dans la partie nord du Congo. Peu de travaux sont encore consacrés à la partie sud. De même, peu de travaux sont consacrés aux extrêmes hydrologiques.

Cet article vise principalement à rechercher des ruptures au sein des séries chronologiques des débits extrêmes dans le bassin versant du Kouilou-Niari dans un contexte de changements climatiques, afin de caractériser la succession des périodes sèches et humides aux Congo. Une attention particulière sera portée sur : l'analyse des débits extrêmes (étiages et crues), la recherche des ruptures au sein des séries chronologiques des étiages et des crues,la détermination du degré de relations entre la variabilité temporelle des précipitations et les débits extrêmes.

La connaissance de ces paramètres est nécessaire pour satisfaire, d'une part, la complexité des usagers de l'eau et, d'autre part, la préservation des hydro systèmes du bassin du Congo face aux changements climatiques.

2. Caractéristiques générales de la zone d'étude

Le fleuve Kouilou-Niari draine un bassin versant de 55 000 km² à Sounda, circonscrit entre les longitudes 11°42' et 14°43' Est et les latitudes 1°46' et 4°54' Sud (figure 1).

Du point de vue lithologie, ce bassin est constitué de formations géologiques suivantes: les formations précambriennes inférieures; encore appelées le complexe métamorphique au nord du bassin (dans le massif du Chaillu); les formations précambriennes supérieures de la série de la Louila et de la Bouenza au nord-est; la tillite supérieure au centre est (dans la plaine du Niari); la série schisto-calcaire et la série de la Mpioka à l'ouest, les formations précambriennes moyennes de la série de la Nola (schistes et quartzites), les formations précambriennes inférieures (complexe métamorphique) et les formations de couverture formant la série des cirques (argilo- sableuse et calcaire) et les alluvions au sud (dans le Mayombe)(Schwartz., 1991).
Sur le plan morphologique, le bassin versant du Kouilou-Niari s'intègre dans le domaine morphogénétique de plaines (la vallée du Niari et la plaine côtière), de collines et de plateaux, sur le rebord sud-ouest du plateau des cataractes, de moyennes montagnes dans le Mayombe et le Chaillu.



Figure 1 : Localisation du bassin versant du Kouilou Niari et les stations de référence

La station numéro 39, correspond à Sounda sur le Kouilou ; La station numéro 40, représente Kibangou sur le Niari ; La station numéro 46, traduit Moukomo sur le Ndouo ; La station numéro 49, reflète Biyamba sur la Louessé ; La station numéro 54, révèle Miambou sur la Bouenza ; la station numéro 57, montre Loudima sur la Loudima.

Du point de vue climatique, le bassin versant du Kouilou Niari est sous l'influence du climat tropical humide, caractérisé par des précipitations abondantes. Celles-ci se repartissent d'octobre à mai avec un fléchissement en décembre- janvier- février et une longue saison non pluvieuse de mai/juin à septembre (Samba-Kimbata, 1978). Les pluies sont en général mal reparties dans l'espace. Les pluies abondantes sont localisées dans les hautes terres (Mayombe et Massifs du Chaillu) avec un total annuel de 1700 et 1900 mm et les faibles précipitations sont enregistrées dans les basses terres (vallée du Niari) qui enregistrent moins de 1400mm (*Ibiassi, 2003; Ibiassi et al., 2013*).

3. Données et méthodes d'analyse

3.1. Sources des données et choix des stations d'étude

Les données des débits analysées ont été extraites de la banque des données de l'O.R.S.T.O.M., actuellement I.R.D. Ce sont les débits mensuels de la station hydrométrique de Sounda (exutoire du Kouilou Niari). Concernant les précipitations, les hauteurs de pluie mensuelles, tirées des annuaires pluviométriques publiés par la direction de la Météorologie Nationale du Congo ont été utilisées. Six (6) stations pluviométriques ont été sélectionnées : Pointe-Noire, Dolisie (ex Loubomo), Loudima, Nkayi, Sibiti et Mouyondzi. La période retenue va de 1950 à 1982. Le choix des stations pluviométriques a été dicté par leur répartition spatiale dans le bassin versant. Le choix de la station hydrométrique de Sounda a été fait à cause de sa position d'exutoire sur le Kouilou-Niari.

3.2. Méthodes d'analyse des données

3.2.1. Contrôle statistique de qualité des données

Le contrôle statistique de la qualité des données a été réalisé à partir du test de normalité qui nous a permis de déceler si les données suivent ou non une loi normale (l'indépendance des termes d'une série, par le biais du test de Bartlett). Ce test de normalité se base sur les coefficients d'auto corrélation d'ordre 1 de la série.

3.2.2. Analyse statistique de données

L'analyse statistique des données a consisté :

- au lissage des séries pluviométriques et hydrologiques au moyen de la technique des moyennes glissantes (Assani, 2005), calculées sur 3 ans, après standardisation des séries.
Cette méthode nous a permis de mettre en évidence la succession des périodes sèches et humides, mais également de comparer aisément et simultanément l'intensité des périodes sèches et humides dans le bassin versant du Kouilou Niari ;

- à la détermination de la pluviométrie moyenne dans le bassin versant du Kouilou Niari par la méthode des indices pluviométriques (*Moron*, 2002) ;

- à l'analyse de la tendance des précipitations et des débits extrêmes à partir de la méthode de régression linéaire. La signification statistique de la régression est donnée par l'équation : $FO=R^2(N-2)(1-R^2)$: avec : R^2 (coefficient de détermination) ; N(taille de la série ou le nombre d'années). L'hypothèse nulle : absence de tendance significative est rejetée, ssi FO \geq Fapour 1 et (n-2) degré de liberté. La valeur de Fa est obtenue à partir de la table de distribution de Fisher-Snedecor (*Meddi et Assani, 2010 ; Ibiassi, 2013*) ;

- à la recherche des ruptures (stationnarité de la série) dans les séries des précipitations et des extrêmes hydrologiques a été effectuée à l'aide des tests suivants : Pettitt, Buishand (méthode des écarts cumulés), Lee et Heghinian (méthode bayésienne), Huber (méthode de la segmentation). Les seuils de signification retenus sont 1 %, 5 % et 10 %. La position de la rupture est donnée en considérant l'instant où - la statistique atteint son maximum (maximum de la statistique de Pettitt, de l'écart cumulé). L'amplitude de la rupture est donnée par la médiane de toutes les différences entre les données de part et d'autre de la rupture (estimateur de Hodges et Lehman) ;

- à la recherche des relations entre les précipitations et les extrêmes hydrologiques est appréciée à partir de la méthode des corrélations canoniques. La signification statistique de la corrélation a été appréciée à partir du test de corrélations de Bravais-Pearson, du Tau-B de Kendall et de Rho de Spearman à 0,01 et 0, 05. Les corrélations sont jugées significatives, si $R^2 \ge 25\%$ ou $R \ge 50\%$.

4. Résultats

4.1. Analyse de la tendance de la variabilité temporelle des précipitations

La variabilité interannuelle des précipitations dans le bassin versant du Kouilou Niari (figure 2), montre trois périodes distinctes : 1950-1958, caractérisée par une baisse des précipitations,

la période 1959-1970, illustrant une hausse des précipitations et la période 1971-2004, indiquant une stabilité des précipitations. La tendance des précipitations à partir de la régression linéaire montre une stabilité des précipitations.



Figure 2: Evolution interannuelle des précipitations dans le bassin versant du Kouilou-Niari de 1950 à 2005.

4.2. Recherche des ruptures sur les séries des précipitations dans le bassin versant du Kouilou-Niari

La recherche des ruptures sur les séries chronologiques des précipitations moyennes dans le bassin versant du Kouilou-Niari (figure 3), montre la présence d'une cassure en 1958 pour le test Buishand et 1983 Pour le test de Pettitt avec une probabilité de dépassement de la valeur critique de (8,98%) en 1998.





Figure 3 : Test de Buishand et de Pettitt sur les précipitations moyennes annuelles du Bassin versant du Kouilou-Niari

4.3. Analyse de la tendance des extrêmes hydrologiques dans le bassin versant du Kouilou Niari

Evolution des modules

La variabilité interannuelle des modules dans le bassin versant du Kouilou Niari (figure 4), montre deux périodes : une période de hautes eaux de 1950 à 1970 et une période de basses eaux postérieure à 1970 caractérisée par une baisse continuelle des modules.



Figure 4 : Evolution inter annuelle des modules du Kouilou-Niari à Sounda (de 1950 à 1982)

Evolution des crues

La variabilité interannuelle des crues dans le bassin versant du Kouilou Niari (figure 5), montre deux périodes: une période de hautes eau 1950 à 1970 et une période postérieure à 1970 caractérisée par une baisse des débits.



Figure 5: Evolution inter annuelle des crues du Kouilou-Niari à Sounda (1950 à 1982)

Evolution des étiages

La variabilité interannuelle des étiages dans le bassin versant du Kouilou Niari (figure 6), est similaire à celle des modules et des crues. Elle montre deux périodes : une période de hautes eaux antérieure à 1970 et une période postérieure à 1970, caractérisée par une baisse des étiages.



Figure 6: Evolution inter annuelle des étiages du Kouilou-Niari à Sounda (1950 à 1982)

4.4.Recherche des ruptures dans les séries des extrêmes hydrologiques dans le bassin versant du Kouilou-Niari

Les tests pour la recherche des ruptures (Buishand, Pettitt, Lee et Hegihinian et Hubet)

appliqués sur les séries des modules dans le bassin versant du Kouilou-Niari (tableau 1), révèlent l'absence de ruptures aux trois seuils de confiances à Sounda sur le Kouilou pour l'ensemble des tests.

Tableau 1 : Recherche des ruptures dans les séries des extrêmes hydrologiques dans le bassinversant du Kouilou Niari (+ présence des ruptures ; - absence de rupture)

Tests	Modules	Crues	Etiages
Tendances	Baisse significative	Baisse significative	Baisse significative
Pettitt	-	-	+
Buishand	-	+	+
Lee et Heghinian	-	+	+
Hubert	-	-	+

La recherche des ruptures sur les séries des crues dans le bassin versant du Kouilou Niari montre une absence de ruptures aux trois seuils de confiances pour Pettitt et Hubert. Par contre le test de Buishand et Lee et Heghinian montrent la présence d'une rupture au seul de 90%. La recherche des ruptures sur les séries des étiages (tableau 4), montre la présence de ruptures aux seuils de confiances 95 et 99 % pour Buishand, Pettitt, Lee et Heghinian et à 90 et 95 % pour le test de Hubert. Tandis que, Buishand, Pettitt, Lee et Heghinian indiquent une rupture au seuil de confiance 90 %. Le test de Hubert lui en détecte au seuil de confiance 99 %.

4.5.Analyse de l'influence de l'évolution des précipitations sur les écoulements de surface dans le bassin versant du Kouilou-Niari

La relation entre les précipitations et les écoulements de surface : modules, étiages et crues (tableau 2) révèle une déviation du couple pluie-débits dans le bassin versant du Kouilou-Niari.

Tableau 2: Résultats des corrélations entre les précipitations et les extrêmes hydrologiques dans le bassin versant du Kouilou-Niari

		Précipitations	Modules	Crues	Etiages
Précipitations	Coefficient de corrélation	1,000	0,076	0,081	0,030
Modules	Coefficient de corrélation	0,076	1,000	0,675**	0,715**
Crues	Coefficient de corrélation	0,081	0,675**	1,000	0,491**
Etiages	Coefficient de corrélation	,030	,715**	,491**	1,000

Les corrélations faibles révèlent que outre les précipitations, d'autres facteurs additionnels sont impliqués dans la baisse ou la hausse des écoulements aussi bien pendant la période humide (antérieure à 1970) que pendant la période sèche (postérieure à 1970).

5. Conclusion

L'étude des extrêmes hydrologiques dans le bassin versant du Kouilou-Niari montre deux périodes : antérieure à 1970 humide et postérieure à 1970 sèche. L'évolution de la pluviométrie est synchrone à celle des écoulements de surface. Les tests de ruptures appliqués sur les séries chronologiques des extrêmes hydrologiques et des précipitations révèlent une cassure significative en 1970 pour le Kouilou Niari. L'analyse des relations entre la pluviométrie et les écoulements de surface indique de faibles corrélations. Ceci laisse penser à une réponse positive des écoulements face à la baisse des précipitations d'une année à l'autre ou mieux entre les deux sous-périodes : avant 1970 d'une part après 1970 d'autre part. Les faibles corrélations entre les précipitations et les débits dans le bassin versant du Kouilou-Niari traduit une déviation du couple pluie-débit, qui peut s'expliquer par l'influence dominante des facteurs additionnels qui restent à prouver tels que : la variations des précipitations quotidiennes (soit en nombre, soit en quantité moyenne ou bien à un changement de l'importance des fortes et des faibles précipitations qui sont, à l'origine des

inondations, des crues et des étiages catastrophiques), la végétation, les sols et l'influence des indices climatiques sur la variabilité des débits. Quoi qu'il en soit, il ressort de cette étude que dans une perspective de la baisse des précipitations dues aux changements climatiques au Congo, un changement plus ou moins profond sera enregistré par les caractéristiques des régimes hydrologiques.

6. Références bibliographiques

- ASSANI, Ali A., TARDIF, S.,2005: Classification, caractérisation et facteurs de variabilité spatiale des régimes hydrologiques naturels au Québec (Canada). Approche éco-géographique; Rev. Sci. Eau, pp : 247-266.
- ASSANI Ali, A., GRAVEL, E., BUFFIN-BELANGER T., ROY, A.G., 2005 : Impacts des barrages sur les débits annuels minimums en fonction des régimes hydrologiques artificialisés au Quebec (Canada) ; Rev. Sci. Eau, pp : 103-127.
- BIGOT, S., 1997 : Les précipitations et les convections profondes en Afrique centrale : Cycle saisonnier, variabilité interannuelle et impact sur la végétation. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, Centre de recherches de Climatologie; 282 p.
- BIGOT, S., BROU, T.Y., OSZWALD, J., DIEDHIOU, A., 2005 : Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales. Sécheresse; n°1, vol. 16, pp : 5-13.
- BIGOT, S., CAMBERLIN P., MORON, V., RICHARD, Y., 1997 : Structures spatiales de la variabilité des précipitations en Afrique : une transition climatique à la fin des années 1960, Comptes Rendu de l'Académie des Sciences, série 11, Sciences de la terre et des planètes, 324; pp 181-188.
- 6. BRICQUET, J.P., BAMBA, F., MAHE, G., TOURE, M., OLIVRY, J.C. 1997 : Evolution récente des ressources en eau de l'Afrique atlantique. *Rev. Sci. Eau* 3, pp : 321–337.
- CHURCH, M., 1995 : Geomorphic response to river flow regulation: case studies and time-scales. Regul. Rivers: Res. Mgmt. 11, pp : 3-22.

- COSANDEY, C., BIGOT, S., DACHARRY, M., GILLE, E., RICHARD, L., SALVADOR, P. G., 2004 : les eaux courantes, Saint Etienne, éditions Belin, 229 p.
- 9. F.E.M., 2002 : Ministère de l'Industrie minière et de l'Environnement, Programme des Nations Unies pour le développement Projet PRC 98/G31 Habilitation du Congo et Inventaire des gaz à effet de serre (GES). Evaluation de la Vulnérabilité et des mesures d'adaptation face aux changements climatiques en République du Congo 132 p.
- FONTAINE, B., 1990 : Champ Atlantique pluviométrique ouest- africain et oscillation australe. Veille climatique satellitaire, n°32 pp : 34-51.
- HESSE, J.W., 1995 water allocation for écosystème management of the Missouri River. Regul. Riv. 5, pp :139-158.
- 12. IBIASSI MAHOUNGOU, G.,2013 : Variabilité des précipitations et relations avec la dynamique atmosphérique et océanique de 1950 à 2005. Thèse de Doctorat Unique de Climatologie, Université Marien Ngouabi, Brazzaville ; 312p.
- 13. IBIASSI MAHOUNGOU, G., et al 2013 : Fluctuations hydroclimatiques dans le bassin versant du Kouilou-Niari ; in Changement climatique : Enjeux Socio-Economiques et defis technologiques dans les pays du bassin du Congo ; Harmattan, pp.103-116
- 14. IBIASSI MAHOUNGOU, G., 2003 : Les structures spatiales des précipitations saisonnières de l'Afrique Equatoriale Atlantique et leurs relations avec les températures de surface océanique de l'Atlantique Equatoriale de 1950 à 1993. Mémoire de D.E.A. de géographie physique, Université Marien NGOUABI, Brazzaville; 141p.
- 15. LARAQUE, A. et OLIVRY, J.C., 1998 : Deux systèmes hydrologiques mitoyens mais opposés du bassin Congo Zaïre : la Cuvette Congolaise et les plateaux téké, international conférence « tropical climatology, meteorology and hydrology » (Brussels, 22-24 May 1996) preceeding edited by G. Demarée. J. Alescandre and M. De Dapper, pp : 593- 606.
- 16. LARAQUE, A., MIETTON, M., PANDI, A., OLIVRY, J.C., 1998 : Transport des matières

solides et liquides dans le bassin du Congo, hydrologie continentale n° 212, pp : 18-28.

- 17. LARAQUE, A. et OLIVRY, J.C., 1996 : Evolution de l'hydrologie du Congo Zaïre et de ses affluents rive droite et dynamique de ses transports solides et dissous, L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement actes de la conférence de Paris, mais 1995, revue AIHS- 10, pp: 135-168.
- MAHE, G. et OLIVRY, J. C., 1995 : Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989. Sécheresse, vol. 6, n°1, pp: 109-117.
- MAHE, G., 1993 : Modulation annuelle et fluctuations interannuelles des précipitations sur le bassin versant du Congo. Grands bassins fluviaux, Paris, pp: 16-26.
- MALOBA-MAKANGA, J.D., et SAMBA, G., 1997: Organisation pluviométrique de l'espace Congo Gabon (1951-1990). Sécheresse, n°1, vol 8, pp: 39-45.
- 21. MPOUNZA, M. et SAMBA-KIMBATA, M.J. 1990 : Aperçu sur le climat de l'Afrique centrale occidentale. *Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique, ORSTOM, pp : 31-41*
- 22. OLIVRY et al., 1993 Les études du PEGI sur le bassin du Congo- Zaïre dans le contexte déficitaire des ressources en eau de l'Afrique humide in : Colloque « grands bassins fluviaux péri atlantique »nov.1993 ORSTOM, Paris, 13 p.
- 23. OLIVRY, J. C., 1993 : Evolution récente des régimes hydrologiques des grands fleuves d'Afrique de l'ouest et centrale in les écosystèmes intertropicaux, fonctionnement et usage- journées du programme environnement CNRS ORSTOM, 13, 14, 15 janvier 1993, Lyon, 9 p.
- 24. PANDI, A., IBIASSI MAHOUNGOU, G., TONDO, B., LADEL, LARAQUE A., 2009 : Impact de la variabilité des écoulements sur la navigabilité de l'Oubangui, un affluent du Fleuve Congo ; Annales de l'Université Marien Ngouabi, ; 10 (1) ; pp : 75-81
- 25. SAMBA-KIMBATA, M. J., 1991 : Précipitations et bilans de l'eau dans le bassin forestier du Congo et ses marges. Thèse pour le Doctorat d'Etat, Université de Bourgogne.

Centre de recherches de climatologie, Dijon, 241p+ figures.

- 26. SAMBA-KIMBATA, M.J., 1978 :Le climat du Bas Congo, thèse de doctorat du 3è cycle Université de Bourgogne, 280 p. et figures
- 27. SAMBA, G., MPOUNZA, M. 2005 : Application du processus de Markov sur les occurrences des précipitations journalières au Congo-Brazzaville.Compte Rendu Geoscience 337: pp :1355–1364.
- SAMBA, G., NGANGA, D., MPOUNZA, M. 2008: Rainfall and temperature variations over Congo-Brazzaville between 1950-1998. Theoreticaland Applied Climatolology 91: pp : 85–97.
- 29. SCHWARTZ, D., 1991 : La couverture pédologique de l'Afrique centrale atlantique.
 InR. Lanfranhi et D. Schwartz (eds)-Paysages quaternaires de L'Afrique centrale atlantique. Coll. Didactiques, Edition ORSTOM, pp : 52-59
- SNEYERS, R. 1975 : L'analyse statistique des séries d'observations. Note technique n°143, OMM, (415), 192 p
- SUCHEL, J-B., 1988 : Les climats du Cameroun. Thèse de doctorat d'Etat. Université de Saint-Etienne, 4, vol. 1186 p. + figures.
- 32. SUCHEL, J-B., 1972 : La répartition des pluies et régimes pluviométriques au Cameroun. GEGET et C.N.R.S., n°5 Yaoundé, 287 p.

ANNEXE B

TEXTE INTEGRAL DE L'ARTICLE PUBLIE DANS LES ACTES DU COLLOQUE AIC 2013

ANALYSE DE L'INFLUENCE DE LA DYNAMIQUE OCEANIQUE SUR LA VARIABILITE DECENNALE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES EN REPUBLIQUE DU CONGO DE 1950 à 2009

IBIASSI MAHOUNGOU G. (1), SAMBA-KIMBATA M. J. (1), ASSANI A. A. (2)

In Actes du XXVIème Colloque International de l'Association

Internationale de Climatologie (AIC)

CLIMAT AGRICULTURE RESSOURCES EN EAU

D'HIER A DEMAIN

Cotonou, Bénin, 03 - 07 septembre 2013 ISSN : 1840-5452 ISBN-10 : 99919-58-64-9

ANALYSE DE L'INFLUENCE DE LA DYNAMIQUE OCEANIQUE SUR LA VARIABILITE DECENNALE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES EN REPUBLIQUE DU CONGO DE 1950 à 2009

Geoffroy IBIASSI MAHOUNGOU(1), Marie Joseph SAMBA-KIMBATA(1), Ali Arkamose ASSANI (2)

(1)Centre de Recherches sur les Tropiques Humides, Département de Géographie, Université Marien Ngouabi

B P 3069 Brazzaville-Congo

e-mail: ibiassigeoff7@yahoo.fr

(2) Laboratoire d'hydro-climatologie et de géomorphologie fluviale, section de géographie, Université du Québec à Trois-Rivières, 3351, boulevard des Forges, Québec, G9A 5H7, Canada

e-mail : <u>Ali.Assani@uqtr.ca</u>

Résumé

Cette étude analyse les relations entre la variabilité temporelle des précipitations annuelles du Congo, extraite par analyse en composante Principale avec rotation varimax (ACPRV) sur la période 1950-2009, à celle d'indices océaniques de plus large échelle calculés au pas de temps annuel: AMO (Atlantic Multi-décennal Oscillation), NAO (North Atlantic Oscillation), SOI (Southern Oscillation Index) et Nino3.4 (Indices de températures de surface océaniques). L'évolution décennale des précipitations du Congo traduit la présence de trois décennies humides antérieures à 1970 sur les trois composantes principales et de trois décennies sèches postérieures à 1970 au Centre du Congo et au Nord du Congo. Les corrélations canoniques entre les indices des précipitations et les indices océaniques révèlent des corrélations significatives entre d'une part les précipitations du Nord Congo et la NAO et Nino3.4 de l'ordre de (60%) et d'autre part entre les précipitations du Centre Congo et l'AMO de l'ordre de 70%.

Mots-clés : République du Congo, indices pluviométriques, variabilité pluviométrique, indices océaniques, corrélations canoniques.

Abstract

The analysis of the relations between pluviometric variability and oceanic dynamic aims to shed light on the current pluviometric variability in Congo. The precipitation variability reveals two types of changes. The first type, occurred around 1950-1970, concerns the spatial distribution of precipitations in Congo. The second type (1971-2009) consist in a fall of precipitations (period of fall) and marks all the main components. We notice three pluviometric regions: South-Congo, Centre-Congo and North-Congo. The investigation of the statistical significativity of correlations has been evaluated from Bravais-Pearson and Mann-Kendall tests. Yearly and seasonal precipitations present a significative fall tendency from 1980 for North-Congo and a non-significative tendency for South-Congo as well as Centre-Congo.

Key-words: Republic of Congo, Pluviometric variability, mains components analysis, indications of oceanic.

1. Introduction générale

La République du Congo comprise entre 4°N et 5°S et 11° et 19°E (figure 1), est caractérisée par un potentiel hydrique qui fait que la question de la variabilité pluviométrique ne constitue pas une préoccupation majeure comme elle l'est pour l'Afrique de l'Ouest (*Janicot et Fontaine, 1997 ; Fontaine et Philippon, 2000*). Depuis cinq décennies, le Congo semble pourtant être concerné par le signal d'une extension de la baisse pluviométrique qui a frappé l'Afrique de l'ouest depuis 1970 (*Moron, 1994 ; Camberlin, 1995 ; Nicholson, 2000*). La baisse se caractérise en Afrique Equatoriale Atlantique par de grandes irrégularités dans la distribution des précipitations (*Nicholson, 2000 ; Samba Kimbata, 1991 ; Bigot et al. 1997 ; Maloba Makanga et Samba, 1997; Bigot, 1997, Samba, et Mpounza M. 2005 ; Samba et Nganga, 2008*). Cette baisse semble être plus prononcée après la décennie 1970 qui marque le passage d'une période humide antérieure à 1970 à une période sèche, postérieure à 1970. La compréhension des principaux modes pluviométriques du Congo et surtout des mécanismes régissant leurs modes de variabilité est très important pour une possible prévision des téléconnexions entre les décennies pluviométriques d'autre part. Dans la mesure ou

plusieurs études ont montrées une relation significative entre la baisse des précipitations et la hausse ou la baisse des indices océaniques (NAO, AMO, NINO3.4) telles que : *Assani et al., 2008, Vizy et Cook (2001, 2002), Janicot et al. (1998),* Lamb (1978a, b). Cette étude se propose d'analyser l'influence des indices océaniques sur la variabilité décennale des précipitations au Congo et se fixe comme objectif d'apprécier le degré de la baisse des précipitations par décennie afin d'établir des possibles inter connexions avec des indices océaniques.

2. Méthodologie

2.1. Données utilisées

Pour pouvoir analyser l'influence des indices océaniques sur la variabilité décennale des précipitations au Congo, deux types des données sont utilisées : d'une part, les données des précipitations mensuelles provenant du réseau des pluviomètres de la Météorologie Nationale du Congo (ANAC) mesurées sur une période de 1950 à 2009 (figure 1). D'autre part, les données mensuelles des indices océaniques (tableau 1): l'ONA (l'Oscillation Nord Atlantique), l'AMAO (Atlantic Multi Decadal Oscillation), l'SOI (Southern Oscillation Index), et les températures de surface océaniques (Nino3 et Nino4), données en point de grilles provenant de la NOOA, sur une période de 1950 à 2009.



Figure 1 : localisation de la zone d'étude et les stations pluviométriques utilisées (source : Samba et Nganga,

2011)

Indices	Localisation du phénomène	Mode de calcul des indices océaniques
Nino3(Nin3)	Pacifique tropical oriental (5°N-5°S, 150°W-90°W)	Anomalies de la température des eaux de surface océanique.
Nino4(Nin4)	Central Tropical Pacific 5°N–5° S and 160° E–150° W	Anomalies de la température des eaux de surface océanique.
NAO	Zone nord-Atlantique extratropicale	Différence de pressions entre le sud (Ponta Delgado en Espagne) et le nord (Reykjavik en Islande) du bassin Atlantique Nord
SOI	Tropical South Pacific	Différence de pressions entre le Pacifique austral occidental (Darwin) et le Pacifique austral central (Tahiti)
AMO	North Atlantic Ocean 0° N–60°N and 75° W–7.5° W	Mean SST north of the equator in the North Atlantic Ocean

 Tableau 1 : Description sommaire des indices océaniques utilisés

2.2. Analyse statistique de données

La première étape consiste à régionaliser les précipitations à partir des analyses en composantes principales avec rotation varimax (ACPR). Avec les stations comme variables et

les totaux mensuels et annuelles des précipitations comme observations. Les ACPRV ont pour particularité de conserver l'orthogonalité entre les facteurs (Richman, 1986).

La deuxième étape analyse l'évolution temporelle des indices océaniques et des indices pluviométriques. Les anomalies standardisées par rapport à la moyenne : 1950-2009 (soustraction de la moyenne de la CP), puis multipliées par 100 sont calculées pour chaque indice pluviométrique (representant la moyenne des précipiations de chaque CP : CP1, CP2 et CP3) et pour chaque indice océanique. Ceci a permis de déceler les décennies sèches et humides.

La troisième étape analyse les corrélations entre les séries lissées standardisées des indices océaniques (groupe des variables indépendantes) et les indices des précipitations (groupe des variables dépendantes) au moyen de la méthode des corrélations canoniques. La significativité statistique des corrélations a été évaluée à partir du test de Bravais-Pearson (*Assani et al : 2008 ; Norrant et Douguédroit, 2004*). Pour notre cas, les corrélations sont jugées statistiquement significatives au niveau 0,05 et 0,01 si elles sont en valeur absolue supérieur ou égale à 0.50.

3. Résultats

3.1. Variabilité décennale des précipitations

L'évolution décennale des précipitations (figure 2), montre deux groupes : les décennies humides et les décennies sèches. Pour la CP1, la décennie sèche est 1970 ; et les décennies humides sont : 1960, 1980 et 1990. Pour la deuxième composante CP2, la décennie humide est 1960, les décennies légèrement humides sont 1950 et 1970. Tandis que les décennies 1980, 1990 et 2000 sont sèches.



Figure 2: Evolution décennale des indices des précipitations, période (1950-2009). Les termes CP1, CP2 et CP3 représentent les trois premières composantes principales.

3.2. Variabilité décennale des indices océaniques

L'évolution décennale des indices océaniques est montrée par la figure 3. Sur 6 decennies, l'indice AMO affiche 2 décennies déficitaires (refroidissement) et 2 décennies excédentaires (réchauffement); l'indice SOI affiche 2 décennies excédentaires, et 4 décennies déficitaires ; l'évolution décennale des TSO (Nino 3Nino 4) revèle: 2 décennies déficitaires (réfroidissement) et 4 décennies excédentaires (réchauffement) ; l'indice NAO indique 3 decennies déficitaires (baisse), et 3 décennies excédentaires (hausse).



Figure 3 : L'évolution inter annuelle des indices océaniques ; période 1950-2009

3.3. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques de 1950-1970

L'analyse des corrélations canoniques calculées au pas de temps annuel entre les indices pluviométriques (variables dépendantes) et les indices océaniques (variables indépendantes) durant la période 1950-1970 (période dite humide) (tableau 2), montre les résultats suivants : les indices AMO, SOI, et Nin3.4 ont des corrélations non significatives avec les précipitations de la CP1, CP2 et CP3. L'indice NAO a une corrélation positive significative avec les précipitations de la CP3 de l'ordre de 52%. Ces résultats traduisent une faible influence du SOI, Nino3.4 et l'AMO sur l'évolution à la hausse des précipitations annuelles de la période humide de l'indice Sud-Congo et l'indice Centre. Par contre, la hausse des précipitations annuelles de la CP3 est influencée par la baisse de l'indice NAO.

	CP1	CP2	CP3
NAO	40	38	52
NINO3_4	-33	-6	-48
SOI	25	-34	45
АМО	-34	-33	31

Tableau 2 : Résultats des corrélations canoniques (en pourcentage) entre les indices océaniques et les indices pluviométriques ; période 1971-2009, en gras sont illustrées les corrélations significatives

3.4. Recherche des corrélations entre les indices océaniques et les indices pluviométriques de 1971-2009

L'analyse des corrélations canoniques entre les indices des précipitations du Congo et les indices océaniques pendant la période 1971-2009 (période sèche) d'après la rupture constatée sur les séries des précipitations des (CP2 et CP3) (tableau 3), montre les résultats suivants : l' indice AMO a une corrélation significative avec la CP2 (- 59%) au seuil de 5%. L'indice NAO a une corrélation significative avec la CP3 (-58%). L'indice Nin3_4 a une corrélation significative avec la CP3 (-58%).

En somme, l'analyse des corrélations canoniques entre les indices océaniques et les indices pluviométriques à l'échelle annuelle pendant la période sèche indique que la baisse des précipitations de la CP3 est liée à une hausse de la NAO et une baisse de Nino3.4. De même, la baisse des précipitations de la CP2 durant la période sèche est sous influence de l'évolution à la baisse de l'AMO.

Tableau 3: Résultats des corrélations canoniques (en pourcentage) entre les indices océaniques et les indices pluviométriques, période de 1971 à 2009, en gras sont illustrées les corrélations significatives

	CPI	CP2	CP3
NAO	29	-38	-58
NINO3_4	-48	-34	-55
SOI	40	39	47
AMO	40	-59	-41

4. Conclusion

La variabilité décennale des précipitations au Congo pendant les six dernières décennies de 1950 à 2009, montre une tendance à la diminution à partir de la décennie 1970, traduisant deux périodes : antérieure à 1970 humide et postérieure à 1970 sèche. Les décennies 1950 et 1960 sont humides pour l'ensemble des trois composantes principales. Par contre, les décennies 1970, 1980, 1990 et 2000 sont sèches pour la CP2 et la CP3.

Les corrélations canoniques entre les indices pluviométriques et les indices océaniques indiquent que durant la période 1950-1970, période humide un seul indice océanique (NAO) est significativement corrélé à l'indice Nord-Congo (CP3). Par contre au cours de la période 1971-2009 (période sèche), trois indices océaniques sont significativement corrélés aux indices des précipitations du Congo : AMO à l'indice Centre-Congo (CP2) et la NAO et l'indice Nin3.4 à l'indice Nord-Congo (CP3). Cela traduit d'une part, une implication directe des températures de l'Atlantique nord sur la baisse des précipitations du Centre et du Sud Congo durant la période dite sèche et d'autre part, une implication directe de la baisse des températures du Pacifique (central et oriental) et de la hausse des pressions de la zone nord-Atlantique extratropicale sur la baisse des précipitations du Nord-Congo.

5. Bibliographie

- Assani A., Lajoie F., Vadnais M.,E., Guillaume Beauchamp G, 2008 : Influence de l'oscillation arctique sur les précipitations dans le bassin versant de la Saint-François ; Revue des Sciences de l'Eau 21(1), 21-33
- Bigot S., Camberlin P., Moron V., Richard Y, 1997: Structures spatiales de la variabilité des précipitations en Afrique: une transition climatique à la fin des années 1960?. Comptes Rend. De l'Acad. des Sciences., série II, Sciences de la terre et des planètes, 324, 181-188.
- 3. Camberlin P.,1995 : June-September rainfall in North-Eastern Africa and atmospheric signals over the tropics : a zonal perspective. *J. Climatol.*, **15**, 773-784.

- Fontaine B., Philippon N. 2000: Seasonal evolution of boundary layerheat content in the West African monsoon from the NCEP/NCARreanalysis (1968-1998). International Journal of Climatology 20:1777–1790.
- Janicot S. et Fontaine B. 1993 : L'évolution des idées sur la variabilité interannuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest. *La météorologie*, XIII°Série, 1, 28-51.
- Leroux M. 1980. Le climat de l'Afrique tropicale. These d´ Etat, Université de Bourgogne, Dijon, 1 427 p. + atlas.
- Lamb P. J., 1978a: Case studies of tropical Atlantic surface circulation patterns during recent sub-saharan weather anomalies: 1967 and 1968. Mon. Wea. Rev., 106, pp: 482-491
- 8. Lamb P. J., 1978b: Large –scale tropical surface circulation patterns associated with sub-saharan weather anomalies. Tellus, Serie A, 30, pp: 240-251.
- Maloba Makanga J.D. et Samba G., 1997 : Organisation pluviométrique sur l'espace Congo-Gabon (1950-1990). Sécheresse, n°1, vol. 8, 39-45.
- Moron V., 1994: Guinean and Sahelian rainfall anomaly indices at annual and monthly time scales (1933 – 1990). *Intern. J. Climatologie*. 14, 325-341.
- Nicholson S. E., 2000: The nature of rainfall variability over Africa on time scale of decades to millennia. *Global and Planetary Change*, 26, 137-158.
- Richman, M.B (1986): Rotation of principal components, Journal of Climatology, 7, pp: 293-335.
- Samba G., Nganga D., Mpounza M. 2008: Rainfall and temperature variations over Congo-Brazzaville between 1950-1998. Theoreticaland Applied Climatolology 91: 85–97.
- Samba G., Mpounza M. 2005: Application du processus de Markov sur les occurrences des précipitations journalières au Congo-Brazzaville. *Compte Rendu Geoscience* 337: 1355–1364.

- 15. Samba-Kimbata M. J., 1991: Précipitations et bilans de l'eau dans le bassin forestier du Congo et ses marges. Thèse pour le Doctorat d'Etat, Université de Bourgogne. Centre de recherches de climatologie, Dijon, 241p+ figures.
- 16. Vizy, E.K. ET K.H. Cook (2002): Development and application of a meso scale climate model for the tropic: Influence of sea surface temperature anomalies on the West African Monsoon, Journal of Geophysical Research, 107, doi: 10.1029/2001JD000686.
- Vizy, E.K. et K.H. Cook (2001): Mechanisms by which Gulf of Guinea and Eastern North Atlantic sea surface temperatures anomalies can influence African rainfall, Journal of Climate, 14p.