

CORRELATIONS ENTRE LES PARAMETRES AGROCLIMATIQUES ET LE SYSTEME COUPLE OCEAN-ATMOSPHERE EN COTE D'IVOIRE

Kolotioloma Alama COULIBALY

*Direction de la Météorologie Nationale, Abidjan, Côte d'Ivoire
kcoulibaly2@yahoo.fr*

Zuéli KOLI BI

*Institut de Géographie Tropicale, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody,
Abidjan, Côte d'Ivoire*

Pauline Agoh DIBI-ANOH

*Institut de Géographie Tropicale, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody,
Abidjan, Côte d'Ivoire*

Kouakou Bernard DJÈ

Direction de la Météorologie Nationale, Abidjan, Côte d'Ivoire

Kouadio Christophe N'DA

*Institut de Géographie Tropicale, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody,
Abidjan, Côte d'Ivoire*

Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer les niveaux de corrélation des paramètres agroclimatiques que sont les dates de début des saisons agricoles (DDE) et les cumuls pluviométriques de la période avril-mai-juin (CumAMJ) avec le système couplé océan-atmosphère en Côte d'Ivoire. Ainsi, des données climatiques et variables du système couplé océan-atmosphère sont collectées, et deux approches d'analyse sont utilisées. La première portant sur les composites, indique le signal défini par les paramètres agroclimatiques et le système couplé océan-atmosphère. La deuxième approche est l'Analyse Canonique des Corrélations et la cross-validation. Cette dernière a permis d'établir des équations de régression linéaire entre les paramètres agroclimatiques et les variables du système couplé océan-atmosphère. Les résultats révèlent que les corrélations des dates de début des saisons agricoles et des cumuls pluviométriques de la période avril-mai-juin avec le système couplé océan-atmosphère sont variées. Des dates de début tardives et des CumAMJ déficitaires des zones homogènes de la Côte d'Ivoire sont liées à des structures moyennes des températures de surface des océans (TSO) et des pressions moyennes atmosphériques (MSLP). Les coefficients de corrélation de Pearson (ou skills) obtenus à l'aide de différents prédicteurs ne sont pas statistiquement significatifs au niveau des zones homogènes de la Côte d'Ivoire. Toutefois, les skills significatifs à San-Pedro sur le littoral et à Dükoué dans le nord-ouest ivoirien sont des éléments utiles pour l'élaboration de modèles fiables de prévision climatique des DDE et des CumAMJ.

Mots clés : Côte d'Ivoire, paramètres agroclimatiques, océan-atmosphère, corrélation.

Abstract

The aim of this study is to assess levels of correlation of agroclimatic parameters, namely onset dates of agricultural seasons (DDE) and seasonal rainfall for april-May-june (CumAMJ) with the coupled ocean-atmosphere system in Côte d'Ivoire. Thus, climate data and ocean-atmosphere system variables are collected, and two approaches are used. The first on composites, indicates the signal defined by the agroclimatic parameters with the coupled ocean-atmosphere system. The second approach is the Canonical Correlation Analysis and cross-validation. This latter establishes linear regression equations between the agroclimatic parameters and variables of the coupled ocean-atmosphere system. Results indicate that correlations of onset dates for agricultural seasons and seasonal rainfall for april-May-june with the coupled ocean-atmosphere system are varied. Late onset dates and below average CumAMJs in homogeneous zones of Côte d'Ivoire are linked to some structures of sea surface temperatures (TSO) and mean atmospheric pressures (MSLP). Pearson's correlation coefficients (or skills) obtained by using different predictors are not statistically significant at the level of homogeneous zones in Côte d'Ivoire. However, significant skills in San-Pedro in the coastline and Duékoué in the northwest of Côte d'Ivoire are useful elements for development of reliable seasonal climate forecast models for DDE and CumAMJ.

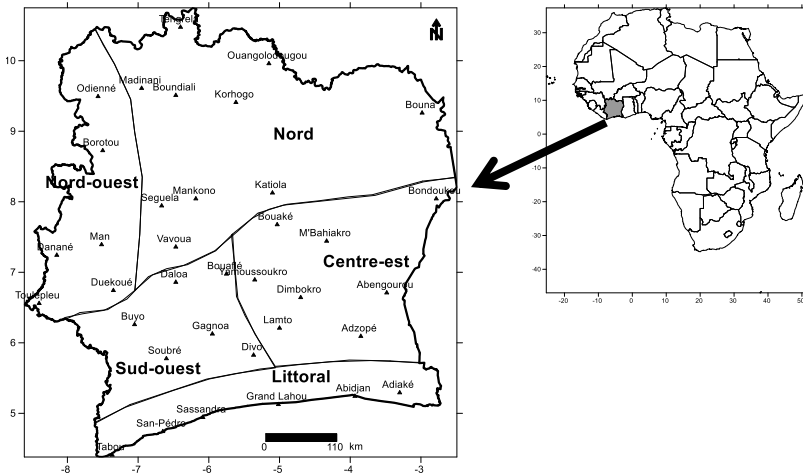
Key words: Côte d'Ivoire, agroclimatic parameters, ocean-atmosphere, correlation.

1. Introduction

Les fluctuations interannuelles de la pluviométrie perturbent les paramètres agroclimatiques et plus particulièrement les calendriers culturels en Côte d'Ivoire. Cela se traduit par des dates de début et fin de saisons respectivement tardives et précoces ainsi que des durées plus courtes (Diomandé, 2013 : 112-119 ; Dekoula *et al.*, 2018 : 150-152 ; Kouamé *et al.*, 2018 : 255). Le décalage des calendriers agricoles désoriente les agriculteurs sur les périodes optimales d'exécution des activités agricoles tels que les semis. Face aux effets des changements climatiques et les fluctuations des calendriers culturels, la prévision saisonnière des pluies est l'une des mesures de parade. La connaissance à l'avance de la qualité de la saison agricole avant son démarrage permet aux agriculteurs de planifier et d'utiliser rationnellement les ressources humaines et matérielles. Pour cela, il est nécessaire d'affiner la prédiction des paramètres agroclimatiques en étudiant leurs relations avec le système couplé océan-atmosphère. La recherche de corrélations à travers l'élaboration de prévisions climatiques saisonnières en Côte d'Ivoire date de la fin des années 1990 (ACMAD, 1998 : 162-167). Elle prend généralement en compte la composante océanique, c'est-à-dire les températures de surface des océans (TSO) et très rarement la

composante atmosphérique telle que la pression moyenne au niveau des océans ou le couple océan-atmosphère. C'est pour cela que l'objectif de ce travail est d'évaluer les niveaux de corrélation des paramètres agroclimatiques que sont les dates de début des saisons agricoles (DDE) et les cumuls pluviométriques de la période avril-mai-juin (CumAMJ) avec le système couplé océan-atmosphère en Côte d'Ivoire. Située en Afrique de l'Ouest entre les latitudes 4° et 11° nord et les longitudes 2° et 9° ouest, la Côte d'Ivoire couvre une superficie de 322 462 km² avec une population de 22 671 331 habitants (INS-RGPH, 2014 : 6) (Fig. 1).

Figure 1: Localisation de la Côte d'Ivoire avec les zones pluviométriques homogènes



Source : Adapté de Coulibaly *et al.* (2019a : 60)

2. Données et méthodes

2.1. Données

Les données de pluie journalière de 36 postes d'observation de la Côte d'Ivoire couvrant la période de 1951 à 2017 ont permis de calculer les dates de début des saisons agricoles (DDE) et les cumuls pluviométriques saisonniers de l'intervalle avril-mai-juin (CumAMJ). Ces relevés sont issus de la banque de données de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique. Il faut souligner que les postes d'observation retenus pour la présente

recherche, l'ont été à cause de la régularité des observations sur la période d'étude.

Les données du système couplé océan-atmosphère sont de quatre types. Le premier jeu porte sur les Températures de Surface des Océans (TSO) ou Sea Surface Temperature (SST) observées de 1983 à 2017. Ces TSO sont des valeurs obtenues par interpolation optimale et produites chaque mois en points de grille $1^\circ \times 1^\circ$ ($\approx 110 \times 110$ km) par le National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), soit 360 points en longitude et 180 en latitude (Reynolds *et al.*, 2002 : 1610-1616). Le deuxième type de données concerne celles reconstruites des TSO version 5 (ERSSTv5 : Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5) de 1951 à 2017. Ces ERSSTv5 sont relevées mensuellement à l'échelle mondiale et dérivées de la base de données de l'International Comprehensive Ocean-Atmosphere Dataset (ICOADS) (Huang *et al.*, 2017 : 8181-8185). Les données de ERSSTv5 sont créées en points de grille de $2^\circ \times 2^\circ$ ($\approx 220 \times 220$ km) soit 180 points en longitude et 89 en latitude à l'aide de méthodes statistiques. Le troisième jeu est relatif à la pression atmosphérique au niveau des océans (Mean Sea Level Pressure : MSLP). Ces données sont issues des réanalyses du National Center for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) et générées sur des points de grille de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ ($\approx 275 \times 275$ km) soit 144 points en longitude et 73 en latitude (Kalnay *et al.*, 1996 : 115). Toutefois, il faut noter que Pocard *et al.* (2000 : 1) ont souligné que les réanalyses d'avant l'année 1967 doivent être utilisées avec prudence à cause de l'insuffisance d'observations disponibles. Ainsi, les données de MSLP retenues pour les composites couvrent la période allant de 1968 jusqu'en 2017. Le quatrième type de données sont les variables simulées des modèles du consortium North American Multi Model Ensemble (NMME) (Kirtman *et al.*, 2014 : 587-598). Le NMME est composé de sept modèles dont le Climate Forecast System version 2 (CFSv2), les Canadian Meteorological Centre models versions 1 et 2 (CMC1 et CMC2), les Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) et Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - Forecast-oriented Low Ocean Resolution (GFDL-Flor), le National Aeronautics and Space Administration (NASA) et le National Center for Atmospheric Research (NCAR). Quatre types de variables simulées (SST, précipitations (precip), températures moyennes à 2 mètres du sol (t2m), composante U des vents de surface) sont testés comme prédicteurs à 1 ou 0 mois d'avance par

rapport à la saison cible. Les variables sont disponibles en points de grille avec une résolution horizontale spatiale de $1^\circ \times 1^\circ$. Il faut souligner que le choix des prédicteurs réside dans le fait qu'ils sont largement utilisés dans le monde au cours des forums climatiques régionaux pour la prévision saisonnière. De plus, l'usage de ceux du NMME permet non seulement de valider leur utilisation en Côte d'Ivoire, mais également de diversifier les sources des prédicteurs dans une stratégie de recherche de corrélation pour les modèles de prévision saisonnière.

2.2. Méthodes de traitement et d'analyse

Les DDE sont déterminées en s'appuyant sur les critères de Sivakumar (1988 : 298) et ceux de Stern *et al.* (2006 : 69) qui ont été adaptés en Côte d'Ivoire par Goula Bi *et al.* (2010 : 5995). Dans le but d'avoir des séries homogènes et longues, les valeurs annuelles des paramètres agroclimatiques ont été comblées en utilisant la moyenne d'au moins deux stations voisines pour la même année. Deux approches ont été employées pour analyser les corrélations. La première est relative aux composites. Elle consiste à déterminer des structures moyennes homogènes des SST et des MSLP associées aux DDE tardives et aux CumAMJ déficitaires par zone homogène de la Côte d'Ivoire. La méthode des composites est souvent utilisée en climatologie pour voir si un signal, préalablement défini dans une variable climatique X , se retrouve aussi sur une seconde variable Y (Von Storch et Zwiers, 1999 cité par Dibi Kangah *et al.*, 2016 : 7). L'un des avantages de cette technique est qu'aucune hypothèse n'est faite sur le caractère linéaire de la relation statistique entre deux paramètres (X et Y) étudiés (Pohl, 2007 : 36). La deuxième méthode est l'Analyse Canonique des Corrélations (ACC) et la cross-validation pour la détermination des coefficients de corrélation de Pearson (ou skills) en utilisant les prédicteurs (Hotelling, 1936 : 322-349). L'ACC permet d'établir des équations de régression linéaire entre deux champs avec d'un côté les paramètres agroclimatiques ou prédictands (DDE et CumAMJ), et de l'autre les variables du système couplé océan-atmosphère appelées prédicteurs (SST observées et SST simulées). Il s'agit de rechercher les variables canoniques des prédicteurs (X) et prédictands (Y) qui soient les plus corrélées possibles tout en construisant de nouveaux ensembles de variables U_1 et V_1 qui seront des combinaisons linéaires des variables initiales X et Y choisies de telle sorte que U_1 et V_1 aient une forte corrélation. Le coefficient de corrélation r_1

entre U_1 et V_1 est appelée première corrélation canonique ou mode 1. Les variables U_1 et V_1 sont appelées les premières variables canoniques. En général, U_1 et V_1 n'expliquent pas l'ensemble des liaisons entre X et Y . Il faut alors chercher deux nouvelles variables U_2 et V_2 non corrélées avec U_1 et V_1 , de corrélation maximale et de variance unité. La cross-validation détermine une nouvelle série de valeurs prévues du paramètre agroclimatique. Le coefficient de corrélation entre les valeurs prévues et celles observées est appelé skill ou coefficient de corrélation de Pearson. La significativité statistique du coefficient de corrélation est testée à l'aide du test de Student pour un risque d'erreur $\alpha = 5\%$ et $(n - 2)$ degrés de liberté : $t_{calculé} = |R| * \sqrt{(n - 2)/(1 - R^2)}$.

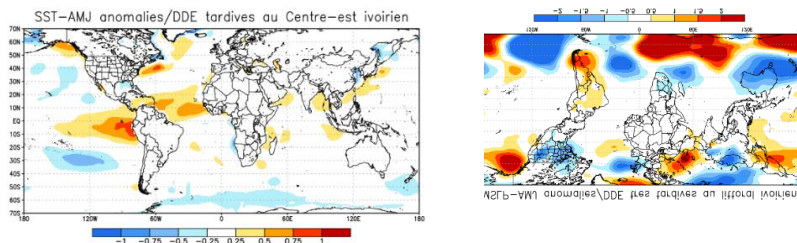
La valeur $t_{calculé}$ est comparée à celle de $t_{1-\alpha}$ lue dans la table de Student ($n =$ taille de l'échantillon). Si $t_{calculé} > t_{1-\alpha}$ alors le coefficient de corrélation est statistiquement significatif.

3. Résultats et discussion

3.1. Structures moyennes des SST et des MSLP pour les DDE tardives

Les structures spatiales moyennes des SST et MSLP de la période d'avril à juin pendant les phases de DDE tardives du centre-est et de DDE très tardives du littoral ivoirien sont montrées dans la figure 2.

Figure 2 : Configuration moyenne des SST d'avril à juin pendant les années à DDE tardives (1962 ; 1977 ; 1983 ; 1993 ; 1998 ; 2010) au centre-est et des MSLP pendant les années à DDE très tardives (1968 ; 1998 ; 2009) sur le littoral de la Côte d'Ivoire



Source : Coulibaly (2021 : 210-212)

Dans le centre-est ivoirien, l'installation tardive de la saison agricole est liée à un réchauffement des SST de l'océan Pacifique équatorial dans la zone NIÑO. La présence d'un El Niño entraîne des déficits pluviométriques en Afrique de l'Ouest, et particulièrement pendant la grande saison pluvieuse en Côte d'Ivoire (Barnston *et al.*, 1997 : 375 ; Dibi Kangah *et al.*, 2016 : 12-14). De plus, cette baisse des pluies entre avril et juin est à la base des démarrages tardifs de la saison agricole dans le centre-est ivoirien.

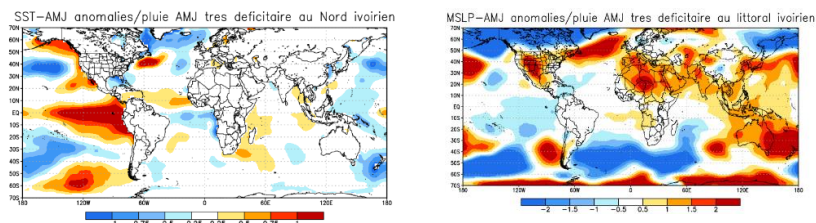
Au niveau des structures moyennes des MSLP, un dipôle Nord/Sud régule les dates de début des saisons agricoles sur le littoral de la Côte d'Ivoire. En effet, des anomalies positives des MSLP dans l'océan Atlantique Nord renforcent l'activité de l'anticyclone des Açores alors que des anomalies négatives au sud de cet océan inhibent l'activité de l'anticyclone de Saint Hélène. Ce gradient de pression Nord/Sud emmène les vents secs du Sahara vers le Sud, ce qui a pour conséquence une baisse de l'activité pluviométrique et donc l'installation très tardive de la saison agricole en Côte d'Ivoire, particulièrement sur le littoral ivoirien. En plus, du fait de la linéarité des composites, une hausse des MSLP entraîne une baisse des cumuls pluviométriques et par conséquent des démarrages tardifs des saisons agricoles. Ce résultat s'inscrit dans les conclusions de NDong (2006 : 34) ainsi que celles de Mahoungou *et al.* (2015 : 5). Ces auteurs ont montré qu'une baisse des pluies, respectivement au Sénégal et au Congo, est liée à une hausse de la pression en surface. Plus en détail, NDong (2006 : 34) a indiqué que par corrélation simple il y a une relation significative inverse entre les précipitations et la pression en surface.

Ainsi, le démarrage tardif des saisons agricoles dans le centre-est et le littoral de la Côte d'Ivoire est dû aux états des SST et des MSLP dont la conséquence est le décalage des activités agricoles. Dans ce cas, l'utilisation des variétés culturales à cycle court est recommandée pour les agriculteurs car l'une des conséquences des DDE tardives est le raccourcissement des durées des saisons agricoles constaté au cours de ces dernières décennies particulièrement en Côte d'Ivoire (Goula Bi *et al.*, 2010 : 6000-6001 ; Dekoula *et al.*, 2018 : 152-153).

3.2. Structures moyennes des SST et des MSLP pour les CumAMJ très déficitaires

La figure 3 indique les structures moyennes spatiales des SST et MSLP d'avril à juin pour des CumAMJ très déficitaires au nord et sur le littoral de la Côte d'Ivoire.

Figure 3 : Configuration moyenne des SST d'avril à juin pendant les années à CumAMJ très déficitaires (1983 ; 1993) au nord et des MSLP pendant les années à CumAMJ très déficitaires (1987) sur le littoral de la Côte d'Ivoire



Source : Coulibaly (2021 : 216-218)

Des anomalies positives des SST dans la région NIÑO sont liées à une pluviométrie très déficitaire au cours de la période avril-mai-juin dans le nord de la Côte d'Ivoire. La présence d'un épisode El Niño dans l'océan Pacifique équatorial ne favorise pas une hausse pluviométrique dans certaines zones du globe, notamment en Côte d'Ivoire (Barston *et al.*, 1997 : 375 ; Dibi Kangah *et al.*, 2016 : 12-14). De plus, la présence d'un dipôle Atlantique marqué par un refroidissement dans le golfe de Guinée et des conditions variant de neutres à chaudes dans l'océan Atlantique Nord occasionnent une situation pluviométrique très sèche dans le Nord ivoirien. Au niveau des MSLP, des anomalies positives correspondent à des hautes pressions dans le désert du Sahara. Cela entraîne une baisse des pluies d'avril à juin principalement sur le littoral de la Côte d'Ivoire. En effet, une haute pression au Sahara renforce les vents secs d'harmattan venant du nord-est et descendant vers l'océan. Cela contribue à une baisse des pluies en Côte d'Ivoire. Il faut noter que les zones de hautes pressions correspondant à une subsidence de l'air, sont défavorables au développement des activités orageuses, responsables des pluies. Cela confirme les résultats de NDong (2006 : 34) dans une étude similaire menée au Sénégal. Cet auteur a montré que le déficit pluviométrique au Sénégal relève d'une augmentation de puissance de

l'anticyclone des Açores. Il faut noter que la baisse des CumAMJ au nord et sur le littoral de la Côte d'Ivoire est étroitement liée à l'état moyen des SST et des MSLP. Cette perturbation des cumuls pluviométriques est également observée différemment sur le globe. Ainsi, Deschamps (2011 : 40) a souligné que des précipitations intenses dans le bassin méditerranéen sont soumises aux oscillations Nord Atlantique mais surtout par des phénomènes internes à la méditerranée telle que la cellule dépressionnaire interne.

3.3. Coefficients de corrélation de Pearson pour les DDE, CumAMJ et analyse avec le système couplé océan-atmosphère

3.3.1. Cas des DDE

Les valeurs moyennes des coefficients de corrélation de Pearson (ou skills) obtenues des simulations à l'aide des différents prédicteurs en ce qui concerne les DDE sont variables et faibles dans la plupart des cas (Tableau 1). Le plus grand skill moyen est observé sur le littoral ivoirien pour 0,162. Dans cette zone, le skill le plus élevé et statistiquement significatif est enregistré à San-Pedro avec 0,475. La valeur significative est obtenue à l'aide des SST simulées du modèle CMC1 des conditions initiales du mois de mars de la zone Niño 3.4. Cette performance montre qu'un lien linéaire existe entre les DDE du littoral ivoirien, particulièrement celles de San-Pedro avec les SST simulées de CMC1 des conditions initiales de mars de la région Niño 3.4. La figure 4 illustre la corrélation entre les deux champs selon les modes 1 et 2 de l'ACC.

Tableau 1 : Synthèse des skills moyens pour les DDE en Côte d'Ivoire

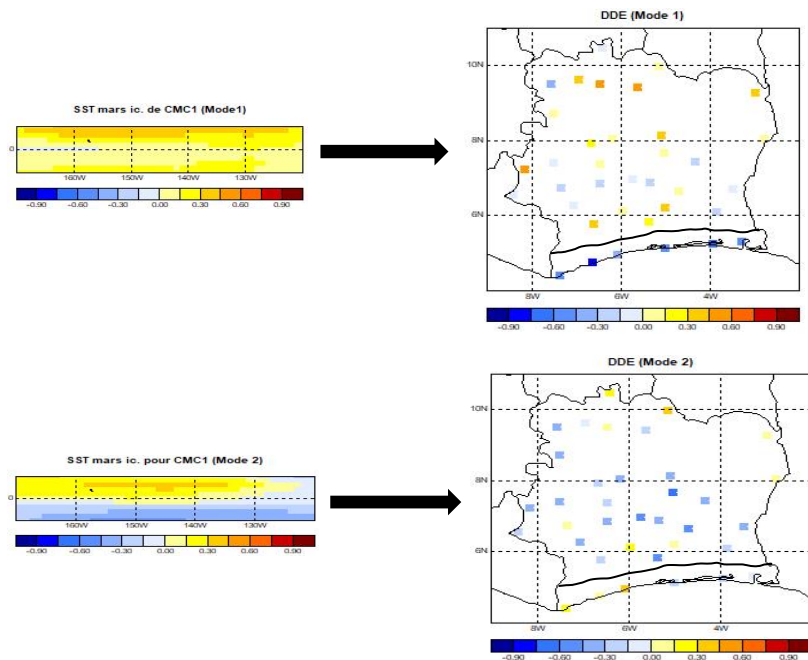
Zone	Skill moyen	Pourcentage des postes à skill>0	Skill le plus élevé (localité)	Source du prédicteur	Prédicteur	Domaine du prédicteur
Nord	-0,032	60%	0,094 (Séguéla)	CMC1	t2m mars ic_mai	Côte d'Ivoire : 11°N; 4°N; 9°W; 2°W
Nord-ouest	-0,016	67%	0,067 (Man)	Observation	SST mars	Atlantique Sud : 10°N; 40°S; 50°W; 20°E
Centre-est	0,127	50%	0,518 (Dimbokro)	CMC2	U 850 avril ic	Globe:

						30°N; 30°S; 0°; 360°
Sud-ouest	0,032	67%	0,187 (Buyo)	CFSv2	U 925 mars ic	Pacifique : 10°N; 10°S; 130°E; 80°W
Littoral	0,162	67%	0,475 (San-Pedro)	CMC1	SST mars ic_mai	Nino 3.4: 5°N; 5°S; 170°W; 120°W

ic = initial conditions (conditions initiales) ; N = Nord ; S = Sud ; E = Est ; W = West (Ouest)

Source : Adapté de Coulibaly (2021 : 228)

Figure 4 : Corrélation canonique des modes 1 et 2 entre les SST simulées de CMC1 des conditions initiales de mars de la région Niño 3.4 et les DDE en Côte d'Ivoire notamment sur le littoral



Source : Coulibaly (2021 : 231)

Pour le mode 1 de l'ACC, des anomalies positives à neutres des SST simulées de conditions initiales de mars de la zone Niño 3.4 entraînent des anomalies négatives des DDE sur le littoral ivoirien, particulièrement à San-Pedro. Le coefficient de corrélation linéaire est de 0,591. En passant au mode 2 de l'ACC, des anomalies négatives à neutres des SST de la région Niño 3.4 produisent des résultats contrastés de DDE avec des anomalies positives sur le littoral-ouest et négatives sur le littoral-est de la Côte d'Ivoire. Le coefficient de corrélation linéaire pour le mode 2 est 0,486 inférieur à celui du mode 1.

Ainsi, les skills moyens non statistiquement significatifs à l'échelle des zones homogènes de la Côte d'Ivoire s'expliquent par la grande variabilité des DDE, de l'installation progressive de la mousson en Afrique de l'Ouest du Sud vers le Nord à partir du mois de mars et du mouvement Nord/Sud de la zone de convergence intertropicale (Coulibaly *et al.*, 2019b : 11-15). De plus, Coulibaly *et al.* (2019b : 13-15) ont montré que les dates de début des saisons agricoles en Côte d'Ivoire ont une cohérence spatio-temporelle faible. Cela explique aussi la non significativité statistique des coefficients de corrélation de Pearson dans la présente étude. En outre, Marteau *et al.* (2010 : 207) ont également conclu à la faiblesse de la prévisibilité des dates de début de saison au Sahel issue de forçages océaniques d'échelle planétaire, zonale et/ou régionale. Cependant, dans l'optique de satisfaire les besoins des agriculteurs de l'Afrique de l'Ouest dont ceux de la Côte d'Ivoire en matière d'informations agroclimatiques, les prévisions des dates de début des saisons agricoles sont élaborées depuis 2014 par l'African Centre of Meteorological Applications for Development (ACMAD), le Centre Régional Agrhymet et leurs partenaires avant le démarrage de la saison agricole. Ainsi, les corrélations obtenues dans la présente étude pour le littoral ivoirien et particulièrement pour la localité de San-Pedro sont actualisées et contribuent à l'élaboration des prévisions climatiques saisonnières des DDE.

3.3.2. Cas des CumAMJ

Les skills moyens des CumAMJ obtenus pour les simulations avec les différents prédicteurs sont pour la plupart non statistiquement significatifs à l'échelle des zones homogènes en Côte d'Ivoire (Tableau 2). Le Nord-ouest ivoirien présente le skill moyen le plus élevé de 0,169 obtenu avec les températures de surface de l'océan Atlantique Nord-Sud

observées de février. Dans cette zone, la ville de Duékoué a le skill le plus élevé qui est 0,650. Cette performance signale une corrélation linéaire entre les CumAMJ et les températures de surface de l’océan Atlantique Nord-Sud observées du mois de février (Figure 5).

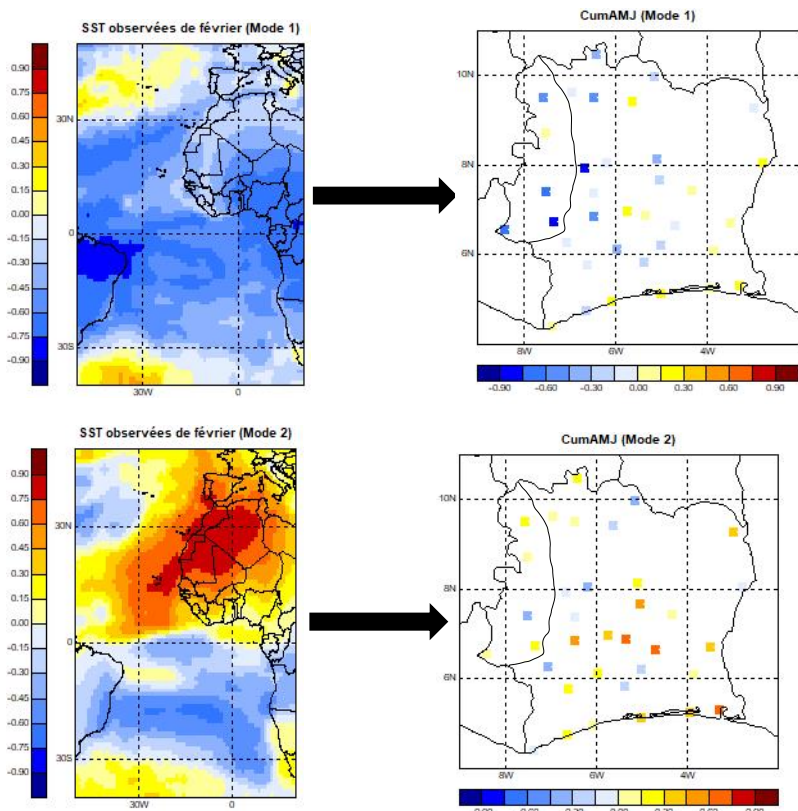
Tableau 2 : Synthèse des skills moyens pour les CumAMJ en Côte d’Ivoire

Zone	Skill moyen	Pourcentage des postes à skill>0	Skill le plus élevé (localité)	Source du prédicteur	Prédicteur	Domaine du prédicteur
Nord	0,148	80%	0,407 (Katiola)	GFDL	SST février ic	Pacifique : 10°N; 10°S; 130°E; 80°W
Nord-ouest	0,169	80%	0,650 (Duékoué)	Observation	SST février	Atlantique Nord-Sud : 50°N; 40°S; 50°W; 20°E
Centre-est	0,034	63%	0,285 (Abengourou)	CMC2	SST mars-ic	Niño 3.4 : 5°N; 5°S; 170°W; 120°W
Sud-ouest	0,019	50%	0,329 (Daloa)	CMC1	U 850 mars-ic	Niño 3.4 : 5°N; 5°S; 170°W; 120°W
Littoral	0,050	67%	0,144 (Grand-Lahou)	CMC2	t2m mars-ic	Côte d’Ivoire : 11°N; 4°N; 9°W; 2°W

ic = initial conditions (conditions initiales) ; N = Nord ; S = Sud ; E = Est ; W = West (Ouest)

Source : Adapté de Coulibaly (2021 : 240)

Figure 5 : Corrélation canonique des modes 1 et 2 entre les températures de surface de l'océan Atlantique Nord-Sud observées du mois de février et les CumAMJ en Côte d'Ivoire notamment au Nord-ouest



Source : Coulibaly (2021 : 243)

Le mode 1 de l'ACC indique qu'un refroidissement (ou anomalie négative) des températures de surface de l'océan Atlantique Nord-Sud observées de février conduit à des anomalies négatives des CumAMJ dans le nord-ouest de la Côte d'Ivoire, particulièrement à Duékoué. La corrélation entre ces deux variables pour le mode 1 est de 0,780. En revanche, pour le mode 2 de l'ACC, des anomalies positives des températures de surface de l'océan Atlantique Nord-Sud observées de février conduisent à des anomalies positives des CumAMJ dans le nord-

ouest ivoirien, notamment à Duékoué. Ceci correspond à un niveau de corrélation de 0,219 entre les deux variables. Ainsi, il ressort que les modes 1 et 2 conduisent respectivement à des relations inverses entre les températures de surface de l'océan Atlantique Nord-Sud observées de février et les CumAMJ du nord-ouest de la Côte d'Ivoire.

La non significativité statistique des coefficients de corrélation à l'échelle des zones homogènes de la Côte d'Ivoire montre que les SST observées et celles simulées issues du consortium NMME, ne sont pas pertinentes pour établir une corrélation linéaire des CumAMJ. Ce résultat confirme celui de Marteau (2010 : 104) qui a montré que le maximum de potentiel de prévisibilité ($\approx 30\%$ à 45%) par le modèle de circulation atmosphérique générale ECHAM 4.5 des pluies saisonnières de la période avril-mai-juin en Afrique de l'Ouest, se concentre sur l'océan Atlantique équatorial et à proximité des côtes guinéennes. En Côte d'Ivoire, ce potentiel est très faible et reste inférieur à 25% . Dans la présente étude, les prédicteurs utilisés ne sont donc pas les seuls indiqués pour établir des corrélations.

Il ressort de ce travail que la non significativité statistique des skills moyens des DDE et des CumAMJ dans la plupart des cas s'explique par la mise en place de la mousson en Afrique de l'Ouest qui se fait progressivement avec un saut au mois de juin (Sultan et Janicot, 2003 : 3407). De plus, Bouali (2009 : 66) avait évoqué que le saut en latitude du mois de juin, c'est-à-dire la remontée rapide vers le Nord de la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT) qui se traduit par une augmentation soudaine des précipitations est mal reproduit par les modèles du projet Development of an European Multimodel Ensemble system for seasonal to inTERannual prediction (DEMETER). Ces résultats signalent la difficulté pour les climatologues de faire des prévisions avec une grande fiabilité. Il faut noter que Salack *et al.* (2020 : 31-43) ont souligné que la date de début de la saison des pluies ne signifie pas forcément le début des saisons culturales. Les faux départs des saisons culturales et les longues séquences sèches entravent le bon déroulement de la campagne agricole et par conséquent augmentent les risques d'insécurité alimentaire. C'est pourquoi le diagnostic des corrélations doit se poursuivre avec d'autres types ou sources de variable océan-atmosphère pour la mise en place de modèles robustes à partir de fortes corrélations des paramètres agroclimatiques avec le système couplé océan-atmosphère.

4. Conclusion

Les DDE tardives et les CumAMJ déficitaires sont liées à des états de structures moyennes des températures de surface des océans (TSO) et des pressions moyennes atmosphériques (MSLP). Une situation El Niño, caractérisée par une augmentation des températures de l'océan Pacifique équatorial par rapport à la moyenne à long terme, entraîne des dates tardives de début des saisons agricoles et des cumuls pluviométriques déficitaires au cours de la période avril-mai-juin particulièrement au Nord et Centre-est de la Côte d'Ivoire. Une connaissance de l'état des configurations des variables du système couplé océan-atmosphère constitue un outil essentiel pour la prévision climatique saisonnière des DDE et des CumAMJ. L'analyse des coefficients de corrélation de Pearson (ou skills) des DDE et des CumAMJ avec le système couplé océan-atmosphère a montré une relation non statistiquement significative à l'échelle des zones homogènes de la Côte d'Ivoire. Cependant, certaines localités ivoiriennes comme Duékoué au Nord-ouest et San-Pedro sur le littoral enregistrent des skills positifs et statistiquement significatifs. Cela montre l'existence d'une linéarité entre les prédicteurs c'est-à-dire les variables du système couplé océan-atmosphère et les principaux paramètres agroclimatiques. Ce diagnostic sur la détermination des structures moyennes des SST et des MSLP ainsi que la recherche des coefficients de corrélation de Pearson des DDE et des CumAMJ constituent une panoplie de produits utiles pour les scientifiques dans l'élaboration des prévisions climatiques saisonnières fiables pour les acteurs du monde agricole.

References bibliographiques

ACMAD, African Centre of Meteorological Application for Development (1998), *Prévision climatique en Afrique*. WMO/TD N° 927, Niamey, 209p.

Barnston Anthony G., Chelliah Muthuvel, Goldenberg Stanley B. (1997), « Documentation of a highly ENSO-related SST region in the equatorial Pacific » in *Atmos.-Ocean*, 35, pp. 367-383.

Bouali Lotfi (2009), *Prévisibilité des précipitations ouest africaines (échelles intrasaisonnières et saisonnières) au travers des simulations type DEMETER et des observations*, Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 160p.

Coulibaly Kolotioloma Alama, Dibi-Kangah Pauline Agoh, Djè Kouakou Bernard, Koli Bi Zuéli (2019a), « Détection de structures pluviométriques spatio-temporelles homogènes en Côte d'Ivoire sur la période 1951-2017 » in *Revue de Géographie, d'Aménagement Régional et de développement des Suds (Regardsuds)*, Deuxième numéro, Abidjan, pp. 49-64.

Coulibaly Kolotioloma Alama, Dibi-Kangah Pauline Agoh, Koli Bi Zuéli (2019b), « Variations interannuelles récentes des paramètres climatiques majeurs en Côte d'Ivoire depuis 1951 » in *Climat et Développement*, N°26, Cotonou, pp. 5-16.

Coulibaly Kolotioloma Alama (2021), *Impacts de la variabilité récente de la pluviométrie sur les paramètres agroclimatiques majeurs et les calendriers agricoles pour une corrélation avec le système couplé océan-atmosphère en Côte d'Ivoire*, Thèse de Doctorat unique en Géographie, Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, 360p.

Dekoula Charles Sékpa, Kouamé Brou, N'goran Emmanuel Kouadio, Yao Guy Fernand, Ehounou Jean-Noël, Soro Nagnin (2018), « Impact de la variabilité pluviométrique sur la saison culturale dans la zone de production cotonnière en Côte d'Ivoire » in *European Scientific Journal*. Vol.14, N°12, pp. 143-159.

Deschamps Quentin (2011), *Conditions atmosphériques associées aux précipitations intenses du bassin méditerranéen*, Mémoire de Master 1 TMEC, Université de Bourgogne, 45p.

Dibi Kangah Agoh Pauline, Kouakou Bernard Djè, Kolotioloma Alama Coulibaly (2016), « Influences des températures de surface des océans Atlantique et Pacifique sur la pluviométrie en Côte d'Ivoire » in *Climat et Développement*, N°20, Cotonou, 15p.

Diomandé Métangbo (2013), *Impact du changement de pluviosité sur les systèmes de production en zone de contact forêt-savane de Côte d'Ivoire*, Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, 162p.

Goula Bi Tié Albert, Srohourou Bernard, Brida A. B., N'zué Kouakou Augustin, Goroza Guéhi (2010), « Determination and variability of growing seasons in Côte d'Ivoire » in *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 2(11), pp. 5993-6003.

Hotelling Harold (1936), « Relations between two sets of variables » in *Biometrika Trust*, Vol. 28, N° 3/4, pp. 321-377.

Huang Boyin, Thorne Peter W., Banzon Viva F., Boyer Tim, Chepurin Gennady, Lawrimore Jay H., Menne Matthew J., Smith Thomas M., Vose Russell S., Zhang Huai-Min (2017), « Extended

Reconstructed Sea Surface Temperature, version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons » in *J. Climate*, 30, pp. 8179-8205.

INS-RGPH, Institut National de la Statistique-Recensement Général de la Population et de l'Habitat (2014), *Etat et structure de la population*. Vol. 1, tome 3, Abidjan, 12+26p.

Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds B., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K. C., Ropelewski C., Wang J., Jenne Roy, Joseph Denis (1996), « The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project » in *Bulletin of the American Meteorological Society*, 124p.

Kirtman Ben P., Min Duchong, Infanti Johnna M., Kinter III James L., Paolino Daniel A., Zhang Qin, Van Den Dool Huug, Saha Suranjana, Mendez Malaquias Pena, Becker Emily, Peng Peitao, Tripp Patrick, Huang Jin, Dewitt David G., Tippet Michael K., Barnston Anthony G., Li Shuhua, Rosati Anthony, Schubert Siegfried D., Rienecker Michele, Suarez Max, Li Zhao E., Marshak Jelena, Lim Young-Kwon, Tribbia Joseph, Pegion Kathleen, Merryfield William J., Denis Bertrand, Wood Eric F. (2014), « The North American Multimodel Ensemble: Phase-1 seasonal-to-interannual prediction; Phase-2 toward developing intraseasonal prediction » in *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 95, pp. 585-601.

Kouamé Brou, Ehounou Jean-Noël, Kassin Koffi Emmanuel, Dekoula Charles Sépka, Yao Guy Fernand, N'goran Emmanuel Kouadio, Kouakou Brou Julien, Koné Boaké, Soro Nagnin (2018), « Caractérisation des paramètres agroclimatiques clés de la saison culturale en zone de contact forêt-savane de Côte d'Ivoire » in *European Scientific Journal*, Vol.14, No.36 ISSN: 1857-7881, pp. 243-259.

Louvet Samuel (2008), *Modulations intrasaisonniers de la mousson d'Afrique de l'Ouest et impacts sur les vecteurs du paludisme à Ndïop (Sénégal) : diagnostics et prévisibilité*, Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 255p.

Mahoungou Geoffroy Ibiassi, Kimbata Marie-Josèph Samba, Assani Ali A. (2015), « Analyse de l'influence des pressions atmosphériques de la basse troposphère sur la variabilité interannuelle et inter-décennale des précipitations au Congo de 1950 à 2010 » in *Revue de*

Géographie Tropicale et d'Environnement (GEOTROPE), n°1, EDUCI, pp. 5-14.

Marteau Romain (2010), *Cohérence spatiale et prévisibilité potentielle des descripteurs intra-saisonniers de la saison des pluies en Afrique Soudano-Sahélienne: application à la culture du mil dans la région de Niamey*, Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 243p.

Marteau Romain, Philippon Nathalie, Fontaine Bernard, Moron Vincent (2010), « Approche multi-scalaire du démarrage de la saison des pluies au Sahel central et occidental : cohérence spatiale et prévisibilité » in *Bulletin de l'Association de géographes français*, 87^{ème} année, pp. 207-220.

Ndong Jean-Baptiste (2006), « Tendances saisonnières des précipitations et de la pression en surface au Sénégal (1951-2002) » in *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement (GEOTROPE)*, n° 6, pp. 34-44.

Perraud A. (1971), « Les sols » in *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*. Mémoires ORSTOM, pp. 265-391.

Poccard Isabelle, Janicot Serge, Camberlin Pierre (2000), « Comparison of rainfall structures between NCEP/NCAR reanalyses and observed data over tropical Africa » in *Climate Dynamics*, 16(12), pp. 897-915.

Pohl Benjamin (2007), *L'oscillation de Madden-Julian et la variabilité pluviométrique régionale en Afrique Subsaharienne*, Thèse de Doctorat, Centre de Recherches de Climatologie - CNRS UMR, 284p.

Reynolds Richard W., Rayner Nick A., Smith Thomas M., Stokes Diane C., **Wang Wanqiu** (2002), « An improved in situ and satellite SST analysis for climate » in *J. Climate*, 15, pp. 1609-1625.

Salack Seyni, Hien Koufanou, Lawson Namo K. Z., Saley Inoussa Abdou, Paturel Jean-Emmanuel, Waongo Moussa (2020), « Chapitre 2. Prévisibilité des faux-départs de saison agricole au Sahel » in *Risques climatiques et agriculture en Afrique de l'Ouest* (en ligne cité le 04 octobre 2021), DOI : <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.36114>.

Sivakumar M. V. K. (1988), « Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa » in *Agricultural and Forest Meteorology*, 42, 4, pp. 295-305.

Stern Roger, Rijks Derk, Dale Ian, Knock Joan (2006), *Instat Climatic Guide*, University of Reading, 330p.

Sultan Benjamin, Janicot Serge (2003), «The West African monsoon dynamics. Part II: The pre-onset and the onset of the summer monsoon » in *J. Climate*, 16, pp. 3407-3427.

Von Storch. H., Zwiers F. W. (1999), *Statistical analysis in climate research*. Cambridge University Press, 484p.