

IDENTIFICATION DES RISQUES CLIMATIQUES EN RIZICULTURE PLUVIALE DANS LE CENTRE DE LA COTE D'IVOIRE

D. A. KOUASSI¹ (*), Y. C. BROU^{1,2}, P.-M. K. KOUAKOU^{1,2}, E.-O. TIENEBO^{1,2}

¹Unité Mixte de Recherche et d'Innovation en Sciences Agronomiques et Génie Rural (UMRI 28), Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire, BP 1313 Yamoussoukro, COTE D'IVOIRE.

²Département Agriculture et Ressources Animales, Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire, BP 1313 Yamoussoukro, COTE D'IVOIRE.

(*) Auteur correspondant : deskouas@yahoo.fr

RESUME

Cette étude a pour but d'identifier les risques climatiques majeurs auxquels est confrontée la culture du riz pluvial dans le centre de la Côte d'Ivoire. A partir des données météorologiques relevées sur trente-sept années et traitées à l'aide des logiciels Instat+ version 3.036 et Xlstat version 2018, divers indices climatiques et événements agro-climatiques ont été déterminés et analysés. La hausse des températures maximales, le démarrage tardif de la saison des pluies, la variabilité des dates de démarrage de la saison des pluies, les faux départs de la saison des pluies, le raccourcissement de la saison des pluies, la baisse du cumul pluviométrique saisonnier, les sécheresses saisonnières et les déficits hydriques constituent les risques climatiques majeurs pour la culture du riz pluvial. Au regard de la nature des risques climatiques identifiés, la sélection de variétés de riz pluvial plus résistantes au stress hydrique ainsi que la détermination de périodes optimales de semis pourraient constituer des mesures efficaces d'atténuation ou d'adaptation à ces risques.

Mots clés : risques climatiques, riz pluvial, adaptation, atténuation, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF CLIMATIC RISKS AFFECTING RAINFED RICE CULTIVATION IN CENTRAL COTE D'IVOIRE

This study aims to identify the major climatic risks affecting rainfed rice cultivation in central Côte d'Ivoire. Based on meteorological data collected over thirty-seven years and analyzed with Instat+ version 3.036 and Xlstat version 2018 softwares, several climate indices and agro-climatic events have been determined and analyzed. Increase in maximum temperatures, late start of the rainy season, variability in rainy season start dates, false starts of the rainy season, shortening of the rainy season, decrease in cumulated seasonal rainfall, seasonal droughts and water deficits are the major climate risks for rainfed rice. Considering the nature of the identified climatic risks, the selection of rainfed rice varieties that are more resistant to water stress and the determination of optimal sowing periods could represent effective mitigation or adaptation measures.

Keywords : climatic hazards, rainfed rice, adaptation, mitigation, Côte d'Ivoire.

INTRODUCTION

Cultivé pratiquement sur l'ensemble du territoire national avec une prédominance dans l'Ouest du pays (JICA & JAICAF, 2013), le riz constitue un cas particulier parmi les cultures vivrières ivoiriennes. En effet, du fait de l'urbanisation galopante et de la paupérisation des populations, le riz occupe le quatrième rang, en termes de production, après l'igname, le manioc et le bananier plantain (Bakayoko *et al.*, 2017). Il représente seulement 10 % de la production vivrière nationale mais il est l'aliment de base et l'aliment principal de la grande majorité des ivoiriens (Gala bi *et al.*, 2011 ; Kotchi *et al.*, 2018). Contrairement aux autres cultures vivrières, la demande locale est supérieure à la production nationale (JICA & JAICAF, 2013) et la consommation globale du riz en Côte d'Ivoire a été multipliée par 10 entre 1960 et 2011 pour atteindre 1,43 millions de tonnes aujourd'hui. La tendance à l'augmentation de la consommation du riz est manifeste à l'échelle nationale et environ 50 % de la demande intérieure ne sont pas couvertes par la production locale (Gala bi *et al.*, 2011).

Pour combler ce déficit, la Côte d'Ivoire a recours à des importations massives de riz blanchi. En 2008, les importations de riz se chiffraient à 757 000 tonnes pour un coût de 209 milliards de F CFA et en 2012, elles se chiffraient à 952 600 tonnes pour un coût avoisinant les 250 milliards de F CFA (Gala bi *et al.*, 2011 ; ONDR, 2012). La crise alimentaire mondiale de 2007 - 2008, marquée par une forte hausse des prix des denrées alimentaires de base, a créé un sentiment d'insécurité alimentaire lié à une trop forte dépendance à l'importation et a montré que le défi de la sécurité alimentaire est devenu un enjeu majeur avec le phénomène « des émeutes de la faim » qui ont touché le pays. Aussi, le riz qui contribue entre 6 et 8 % au PIB national, représente également un enjeu économique (JICA & JAICAF, 2013).

Dans le pays, la riziculture est essentiellement pluviale et sa productivité est faible. Bien qu'elle occupe 86 % des surfaces exploitées et contribue à hauteur de 80 % à la production nationale de paddy, les rendements de cette riziculture sont faibles (0,8 – 1,5 t/ha) (Bahan *et al.*, 2012 ;

Zingore *et al.*, 2014). A l'inverse, les rendements sont en moyenne de 2,5 t/ha pour la riziculture irriguée qui couvre seulement 5 % des surfaces exploitées et contribue pour 20 % à la production nationale de paddy (JICA & JAICAF, 2013). C'est pourquoi la stratégie nationale de développement de la riziculture met un accent particulier sur l'accroissement de la productivité de la riziculture pluviale.

Malheureusement, la productivité de cette riziculture est fortement contrariée par les aléas climatiques dont l'une des conséquences est le stress hydrique, première cause de la baisse de rendement (Mishra et Singh, 2007 ; Rao *et al.*, 2007).

Pour lutter contre l'effet des risques climatiques sur la culture du riz pluvial afin d'accroître sa productivité, l'on a recours à plusieurs stratégies d'atténuation ou d'adaptation (Akintayo *et al.*, 2008). Toutefois, la mise en œuvre et l'efficacité de ces stratégies requièrent au préalable une bonne connaissance des risques climatiques auxquels la culture est confrontée. C'est l'objectif de cette étude qui cherche à identifier les risques climatiques pour la riziculture pluviale dans le Centre de la Côte d'Ivoire.

MATERIELET METHODES

MATERIEL

Zone d'étude

La zone d'étude est le département de Yamoussoukro (latitude 6.85 Nord, longitude

5.29 Ouest, altitude 214 m) situé dans la Côte d'Ivoire préforestière. Celle-ci est marquée par des déficits hydriques annuels compris entre 300 et 500 mm (MINESUDD, 2014).

Caractéristiques biophysiques de la zone d'étude

Le climat de la zone d'étude est de type équatorial de transition avec une pluviométrie annuelle comprise entre 1000 et 1500 mm. Selon les critères de Bagnouls et Gausson (1957), le régime pluviométrique est monomodal avec deux saisons. La saison des pluies débute en mars et prend fin en novembre. Le mois le plus pluvieux

est celui de juin avec en moyenne 160 mm de pluie. Les mois les moins pluvieux sont ceux de juillet et août avec des moyennes comprises entre 95 et 101 mm de pluie. La saison sèche débute en décembre et prend fin en février avec des moyennes pluviométriques mensuelles comprises entre 7,57 mm et 38,90 mm. La température varie de 25,46 °C à 28,5°C avec une moyenne de 26°C. L'humidité relative y varie entre 75 % et 85 % avec des chutes à 40% en période d'harmattan. Le relief de la zone est relativement plat avec de faibles pentes. La végétation naturelle est dominée par la savane préforestière où abondent en saison des pluies des Gramineae, des Cypéraceae et des Dicotylédones. Le réseau hydrographique est principalement constitué du fleuve Bandama, du N'Zi, du lac de Kossou et de petits cours d'eau (MEMPD, 2016).

Données météorologiques

Les données climatiques journalières de 37 années (1980 - 2017) proviennent de la station météorologique de la SODEXAM de Yamoussoukro (latitude Nord 6.90 ; longitude Est : - 5.37). Ces données, caractéristiques de la zone d'étude, sont constituées de la température minimale et maximale, de l'humidité relative minimale, maximale et moyenne, de la radiation globale, de la vitesse moyenne du vent et de la hauteur de pluie. Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) de la zone ont été calculées suivant la formule de Penman-Monteith (FAO, 1998).

Données pédologiques

Le sol est sablo-argileux, de $pH_{(H_2O)}$ de 5,5 et la granulométrie est de 74,5 % de sable, 13,5 % d'argile et 9,5 % de limon, avec une réserve utile (RU) estimée à 70 mm (SODEXAM, 2013).

Matériel végétal

Deux variétés de riz pluvial, l'une de cycle court de 100 jours (Nerica 1) et l'autre de cycle moyen de 120 jours (IDSA 85), recommandées par la recherche pour notre zone d'étude (CNRA, 2018), ont été étudiées. Pour ces variétés, on distingue 4 phases majeures de croissance caractérisées chacune par un coefficient cultural Kc qui détermine les besoins en eau de ladite

phase (FAO, 1998). Les phases de croissance des deux (02) variétés étudiées, leurs stades de croissance ainsi que les coefficients culturaux associés sont donnés par la FAO (1998).

METHODES

La détermination des risques climatiques a été faite d'une part à travers la détermination d'indices climatiques, l'analyse de leur tendance évolutive et de leur variabilité, et d'autre part à travers l'identification d'événements agro-climatiques, dommageables à la culture du riz pluvial, et l'analyse de leurs probabilités d'occurrence.

Les indices climatiques étudiés sont les dates de début et de fin de la saison des pluies, les durées de la saison de pluie, les dates de faux départs et risques de faux départs de la saison des pluies, les cumuls annuels et saisonniers de la pluie, les séquences sèches (maximales annuelles, maximales mensuelles, supérieures à 5, 7, 10 et 15 jours) et l'indice I de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial.

Les événements agro-climatiques étudiés sont les températures élevées, les séquences sèches, les dates de démarrage de saison tardives, les fins de saison précoces et les saisons pluvieuses courtes.

Détermination des dates de début, de fin et des longueurs de la saison de pluie

Les dates de début et de fin de la saison des pluies ont été déterminées en adaptant à notre étude les critères élaborés par Sivakumar (1988) et repris par Sarr (2007 ; 2011). Ainsi, la saison des pluies démarre à partir du 1^{er} mars lorsqu'on enregistre plus de 20 mm de pluie en 1 ou 2 jours successifs, mais sans épisode sec de plus de 7 jours dans les 30 jours qui suivent. L'on considère qu'il n'y a pas de pluie lorsqu'on enregistre une hauteur de pluie inférieure ou égale à 0,85 mm. Aussi, la saison des pluies prend fin à partir du 1^{er} octobre, au moment où la réserve hydrique du sol est nulle. La réserve hydrique est nulle quand elle est inférieure ou égale à 0,05 mm. La longueur de la saison des pluies est exprimée par la différence entre la date de fin et la date de début de la saison.

Détermination des dates de faux départs et risques de faux départs

La date de faux départ de la saison des pluies est la date à partir de laquelle une séquence sèche supérieure à 7 jours est observée après la tombée cumulée d'au moins 20 mm de pluie en un ou deux jours consécutifs après la date du 1^{er} mars. Les faux départs sont observés probablement avant la date effective de démarrage de la saison des pluies. La différence exprimée en jours entre ces deux dates constitue un risque potentiel pour la culture. Les niveaux de risque ont été évalués à partir de cette différence sur toute la période d'observation à partir de la formule suivante :

$$N_r = \frac{(DD - DF)}{DD} \times 100 \quad (\text{éq.1})$$

Avec :

N_r , Niveau de risque exprimé en pourcentage (%)

DD, Date de démarrage ;

DF, Date de faux départ.

La probabilité d'occurrence des faux départs a été également déterminée.

Détermination des cumuls pluviométriques annuels et saisonniers

La quantité de pluie tombée durant toute l'année constitue le cumul pluviométrique annuel. La quantité de pluie tombée sur la durée de la saison des pluies constitue le cumul pluviométrique saisonnier. La durée de la saison des pluies est elle-même obtenue à partir de la détermination des dates de début et de fin de la saison des pluies.

Détermination des séquences sèches

Les séquences sèches les plus longues ont été calculées. Ces séquences sèches sont des séries de jours consécutifs sans pluie ou avec des pluies de hauteurs inférieures à 0,85 mm. Elles ont permis d'évaluer la sécheresse et d'étudier son évolution. Ce sont également des indicateurs d'appréciation de perturbation de la saison des pluies et des calendriers culturels. Il y a sécheresse saisonnière lorsqu'il y a un épisode de séquences sèches de plus de 10 jours qui intervient durant les phases critiques du développement de la plante pendant la période végétative et reproductive (Mbaiguedem, 2012).

Détermination de l'indice I de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial

Frère (1987) a mis au point une méthode d'estimation de l'indice I de satisfaction des besoins en eau des cultures dans les pays où l'eau constitue un facteur limitant de l'agriculture pluviale. L'indice I exprime le degré auquel ont été satisfaits les besoins en eau cumulés de la plante à une phase donnée ou pour la totalité du cycle végétatif. Il permet également de suivre les déficits hydriques tout au long de la période de croissance, en tenant compte des stades phénologiques et des périodes dans lesquelles la disponibilité de l'eau est la plus critique pour le développement de la culture. Le bilan hydrique est basé sur un principe relativement simple. Au début de la saison des pluies, on attribue la valeur 100 à I en presumant qu'au moment du semis, la réserve d'eau dans le sol est supérieure aux besoins en eau des plantes.

Les valeurs de I diminuent dès que survient un stress hydrique. En cas de déficit (D_i), l'indice est réduit du pourcentage de ce déficit par rapport aux besoins totaux en eau pour la saison (TMR).

Si $(E_i/D_i) < 0$ alors $I_i = I_{i-1} - (E_i/D_i \times 100) / \text{TMR}$

avec $\text{TMR} = K_c \times \text{ETP}$ (éq. 2)

Si $0 \leq E_i/D_i \leq 100$ alors $I_i = I_{i-1}$

K_c est le coefficient cultural de la plante à un stade phénologique et une décade ou une pentade i donnés (Dancette, 1983) ; ETP_i est l'évapotranspiration potentielle de la décade ou de la pentade i et E_i est l'excédent d'eau dans le sol.

En cas de surplus d'eau dans le sol supérieur à 100 mm, considéré comme excédent d'eau nuisible à la plante, l'indice sera réduit de 3 unités. Si $(E_i/D_i) > 100$, $I_i = I_{i-1} - 3$.

Selon le niveau de fréquence, nous avons des cas de très bonne ($I=100\%$), bonne ($95\% \leq I \leq 99\%$), moyenne ($80\% \leq I \leq 94\%$), médiocre ($60\% \leq I \leq 79\%$) et mauvaise ($50\% \leq I \leq 59\%$) alimentation hydrique (Sarr, Atta & Kafando, 2012 ; Yankan, 2018).

Analyse de l'évolution des indices climatiques

L'évolution d'un indice climatique a été déterminée par la représentation graphique de la droite de tendance sur l'histogramme de l'évolution de la variabilité interannuelle de cet

indice. La pente de son équation de forme $Y = aX + b$ indique la tendance. Si $a > 0$, on a une tendance à la hausse et si $a < 0$, on a une tendance à la baisse. Le test de Pettitt a été utilisé pour détecter la présence d'éventuelles ruptures dans la série de l'indice et pour mettre en évidence une modification du comportement moyen de celle-ci (Paturel, Servat, Delattre, & Lubes-Niell, 1998). Lorsque le test de Pettitt a mis en évidence des sous-séries, le test paramétrique de comparaison des moyennes de Student a été utilisé pour vérifier si ces sous-séries sont statistiquement différentes.

Analyse de la variabilité des indices climatiques

La variabilité d'un indice climatique a été mise en évidence à travers l'analyse des anomalies standards au travers de l'indice de Lamb (1982). Elle a permis de déterminer les périodes excédentaires et déficitaires pour cet indice à travers la formule :

$$I = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (\text{éq.3})$$

Où I est l'anomalie standardisée (indice de Lamb), X_i est la variable étudiée pour le temps (i), \bar{X} est la moyenne de la période de référence considérée, σ est l'écart-type de la période de référence. Si $I > 0$, la période est dite excédentaire et si $I < 0$, la période est dite déficitaire.

Analyse des probabilités d'occurrence d'événements agro-climatiques

L'analyse des probabilités d'occurrence d'événements agro-climatiques a été faite à travers l'analyse fréquentielle des événements agro-climatiques pour des niveaux de probabilités 20 %, 50 % et 80 %.

Outils d'analyse

Logiciel INSTAT+

Le logiciel Instat+ version 3.036 (2006 Statistical Service Centre, The University of Reading, United Kingdom), logiciel d'analyse statistique de données agro-climatologiques et modèle de simulation agrométéorologique, a été utilisé pour analyser les facteurs clés des saisons agricoles, notamment les dates de début et de fin de la saison des pluies, la longueur de la saison des

pluies et la durée des séquences sèches selon des critères prédéfinis. Il a permis également de réaliser des analyses fréquentielles d'événements agroclimatiques pour des niveaux de probabilités 20 %, 50 % et 80 %.

Logiciels EXCEL et XLSTAT

Le logiciel EXCEL version 2007 (© 2008 Microsoft Corporation), a permis d'effectuer la saisie des données et leur traitement. Le logiciel XLSTAT version 2018 (© Addinsoft 1995 - 2019), logiciel d'analyse de données et de statistiques pour Microsoft Excel, a permis de réaliser les graphiques de tendance et d'analyser les anomalies standards à travers l'indice de Lamb et d'effectuer les tests de Pettitt (1979) et de Student.

RESULTATS

ANALYSE DES TEMPERATURES

Les températures maximales sont comprises entre 30,78°C et 35,63°C avec une moyenne de 31,82°C. Dans plus de 80 % des années, elles sont inférieures à 32,86°C et donc inférieures aux seuils dommageables qui se situent autour de 35°C. Elles augmentent d'en moyenne 0,7°C par décennie et présentent une rupture en 2002 (Figure 1) avec la période de 1980 - 2009 qui est froide et celle de 2010 - 2017 qui est chaude. Quant aux températures minimales, elles sont comprises entre 19,78°C et 22,75°C avec une moyenne de 21,80°C. Pour plus de 80 % des années, les températures minimales sont supérieures à 21,45°C, donc supérieures aux seuils dommageables compris entre 7°C et 22°C. Elles diminuent d'en moyenne 0,2°C par décennie avec une rupture en 2007 (Figure 2) et sont caractérisées par deux périodes froides (1980-1986 et 2010-2015) et deux périodes chaudes (1987-2009 et 2016 - 2017). Concernant les extrêmes de températures maximales, on observe, pendant la saison agricole (mars-novembre), une augmentation du nombre de jours où les températures maximales dépassent le seuil de 35°C (Figure 3).

Dans la zone d'étude, les températures ne constituent pas un risque climatique majeur pour la culture du riz pluvial. Cependant, la hausse des températures maximales, avec l'accroissement des extrêmes dépassant le seuil dommageable de 35°C, en constitue un.

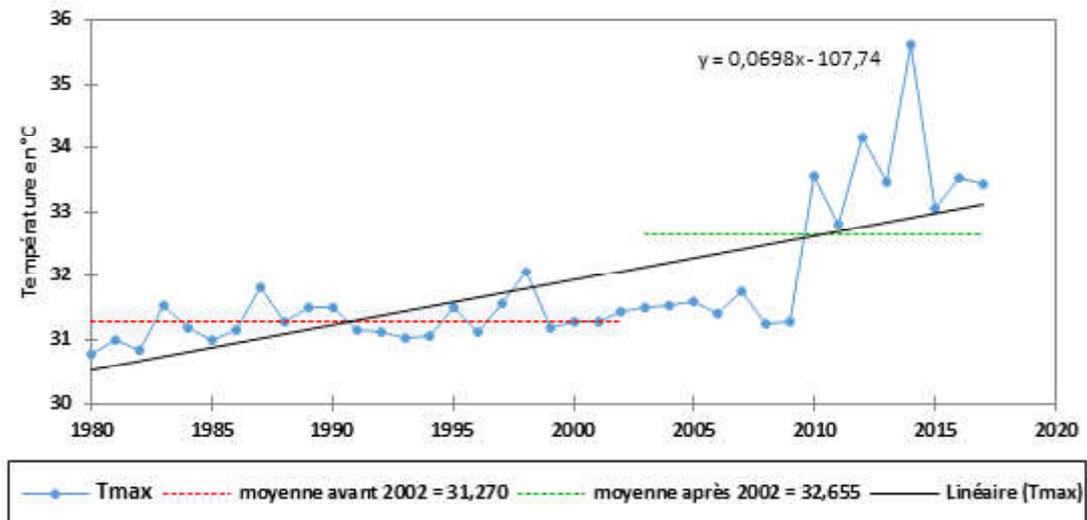


Figure 1 : Evolution des températures maximales-Test de rupture de Pettitt.

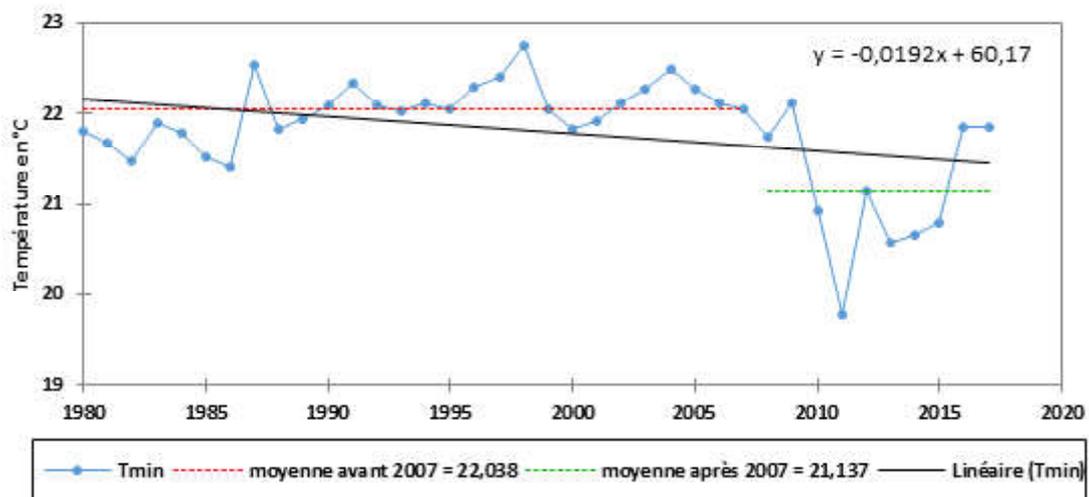


Figure 2 : Evolution des températures minimales-Test de rupture de Pettitt.

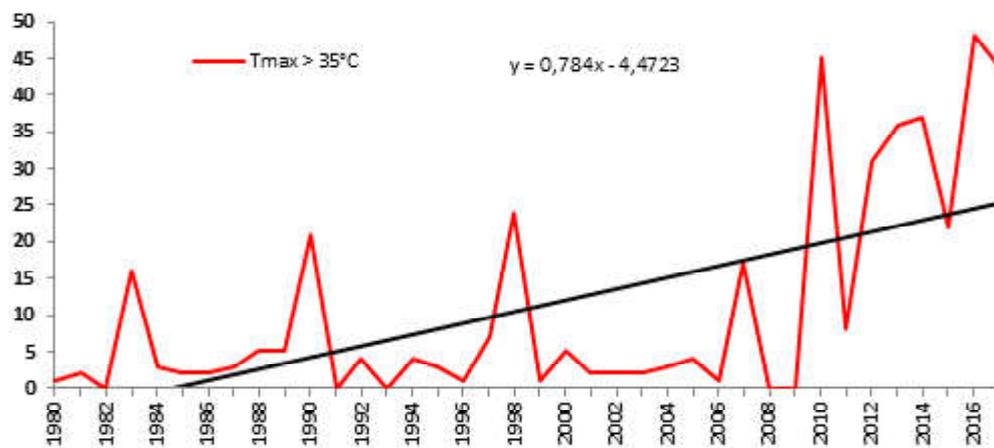


Figure 3 : Evolution du nombre de jours ou des Tmax > 35°C pendant la saison agricole (Mars-Novembre).

Analyse des dates de démarrage, de fin et des durées de la saison des pluies

Les dates de démarrage de la saison des pluies oscillent entre le 1^{er} mars et le 21 mai avec comme moyenne la date du 28 mars. Plus de 80 % des saisons de pluie démarrent après le 11 mars. La saison des pluies est retardée d'en moyenne 1 jour chaque décennie (Figure 4). Il n'y a pas de rupture dans la série des dates de démarrage de la saison des pluies et l'on observe de fortes variabilités. Quant aux faux départs de la saison des pluies, ils ont été observés au mois de mars (92 %) et d'avril (8 %). Ceux-ci ont une probabilité d'occurrence de 35 % avec des niveaux de risques annuels à tendance haussière, variant de 13 % à 53 % (Figure 5). Pour les dates de fin de la saison des pluies, elles sont comprises entre le 1^{er} octobre et le 19 novembre avec comme moyenne la date du 20 octobre. Plus de 80 % des saisons de pluie finissent avant le 3 novembre. La saison des pluies est avancée d'en moyenne 4 jours chaque décennie. Il n'existe aucune rupture dans la série des dates de fin de la saison des pluies et l'on observe une période de fin tardive de la saison des pluies (1980-1995) et une période de fin

précoce de cette saison (1996-2017).

Concernant les durées de la saison des pluies, elles oscillent entre 135 jours et 248 jours avec 205 jours comme moyenne. Dans plus de 80% des années, la durée de la saison des pluies est supérieure à 187 jours. L'on observe un raccourcissement de cette durée d'en moyenne 5 jours chaque décennie. Il n'existe aucune rupture dans la série des durées de la saison des pluies et l'on note une période de longues saisons des pluies (1980 -1995) et une période de courtes saisons des pluies (1996 - 2017) malgré de fortes variabilités. Les durées de la saison des pluies demeurent supérieures aussi bien à la durée du cycle du riz de 100 jours qu'à celle du riz de 120 jours.

La durée de la saison des pluies ne constitue pas un risque pour la culture du riz pluvial. Cependant, le démarrage tardif de la saison des pluies, la variabilité des dates de démarrage, les faux départs de la saison des pluies, le raccourcissement de la saison des pluies sont des risques climatiques majeurs pour la culture du riz pluvial. Ils exposent les paysans à un mauvais choix de date de semis et par conséquent, le riz à une sécheresse durant son cycle cultural.

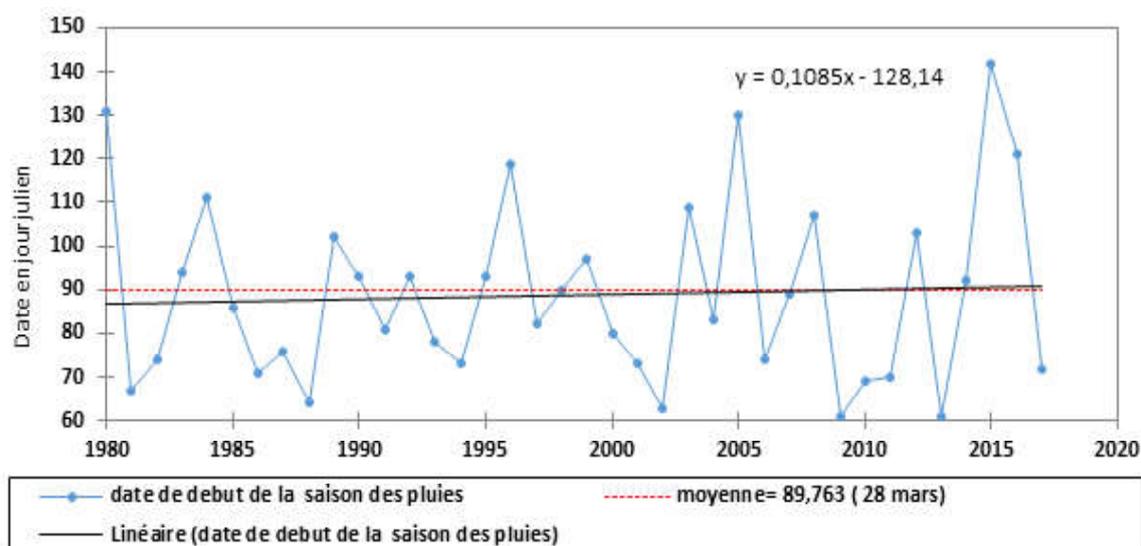


Figure 4 : Evolution des dates de démarrage de la saison des pluies-Test de rupture de Pettitt.

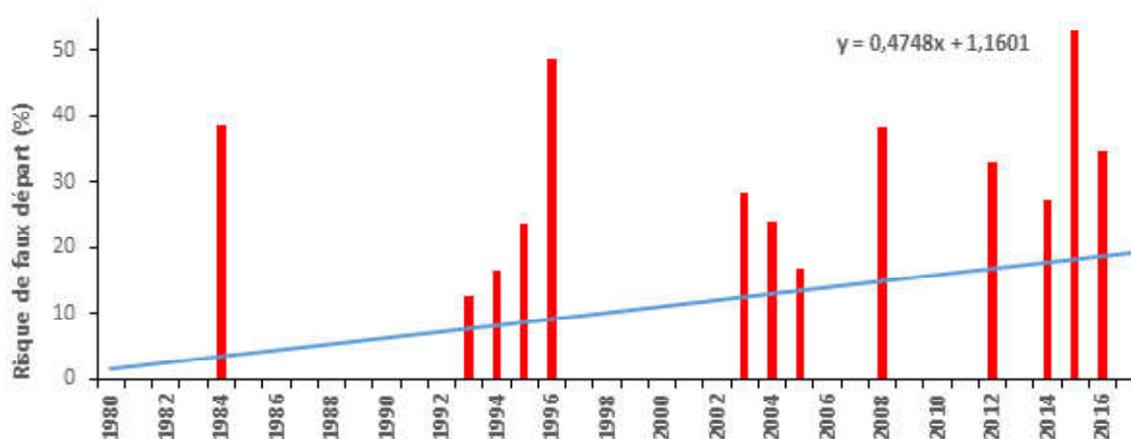


Figure 5 : Niveaux de risques de faux départs au cours de la période 1980-2017.

Analyse de la pluviométrie

Les cumuls pluviométriques annuels sont compris entre 846 mm et 1452 mm avec une moyenne de 1139 mm. Pour huit années sur dix (80 %), les cumuls pluviométriques annuels sont supérieurs à 989 mm. Ils augmentent d'en moyenne 8,11 mm par décennie (Figure 6). Il n'y a aucune rupture dans la série des cumuls pluviométriques annuels et l'on note une alternance entre les années humides et les années sèches sans qu'aucune périodicité véritable ne s'en dégage. Concernant les cumuls pluviométriques saisonniers, ils sont compris entre 324 mm et 1160 mm avec une moyenne de 881 mm. Pour huit années sur dix (80 %), les cumuls pluviométriques saisonniers sont supérieures à 725 mm et l'on observe une diminution de ceux-ci d'en moyenne 32,7 mm par décennie. Il n'y a aucune rupture dans la série des cumuls pluviométriques saisonniers et l'on note une grande variabilité. Pratiquement 100 % des cumuls pluviométriques de la saison des pluies couvrent les besoins totaux en eau du riz, aussi bien de cycle court de 100 jours (pour un besoin moyen de 301 mm) que de cycle moyen de 120 jours (pour un besoin moyen de 351 mm).

Dans la zone d'étude, les cumuls pluviométriques annuels et saisonniers sont nettement supérieurs aux besoins totaux en eau du riz pluvial de 100 jours et de 120 jours. Ils ne constituent donc pas un risque pour la culture du riz pluvial. Cependant, la baisse du cumul pluviométrique saisonnier constitue un risque pour la culture du riz pluvial. Elle pourrait entraîner des sécheresses saisonnières dommageables à cette culture.

Analyse des séquences sèches

Les séquences sèches maximales annuelles sont comprises entre 19 et 101 jours avec une moyenne de 39 jours. Pour plus de 80 % des années, les séquences sèches maximales sont supérieures à 27 jours. Le nombre maximal de jours consécutivement secs durant une année diminue d'en moyenne 1,9 jours chaque décennie et il n'existe aucune rupture dans la série des séquences sèches maximales (Figure 7). L'on note deux périodes froides (1980-1987 et 1999-2017) et une période chaude (1988-1998). Pour les séquences sèches maximales mensuelles, durant la saison des pluies (mars-novembre), en dehors des mois de mars et de novembre, le nombre de jours consécutivement secs est en hausse pour tous les autres mois de la saison. Ceci est particulièrement vrai pour les mois les plus pluvieux (mai et juin) qui connaissent une hausse des séquences sèches les plus longues. Concernant les séquences sèches supérieures à 5, 7, 10 et 15 jours (Figure 8), durant la saison sèche (décembre-février), les risques de séquences sèches supérieures à 5 et 7 jours sont de 100 % pour tous les mois. Pour les séquences sèches supérieures à 10 jours, ils sont de 100 % pour les mois de décembre et janvier et de 76 % pour le mois de février. Pour les séquences sèches supérieures à 15 jours, les risques sont de 74 % pour le mois de décembre, 87 % pour le mois de janvier et 39 % pour le mois de février. Durant la saison des pluies

(mars-novembre), les risques de séquences sèches supérieures à 5 et 7 jours oscillent entre 11 % (en juin) et 100 % (en juillet). Les risques de séquences sèches supérieures à 10 et 15

jours varient de 0 % (en mai et juin) à 55 % (en novembre). Ils ont été enregistrés notamment durant les mois pluvieux d'avril, septembre et octobre, qui présentent des sécheresses saisonnières. Relativement au semis (Figure 9), les probabilités d'occurrence de séquences sèches supérieures à 5 jours, 30 jours après le semis, restent supérieures à 80 % entre mi-octobre et début mars. A partir de début mars, elles décroissent jusqu'à fin mai, mais restent toujours supérieures à 20 %. Elles croissent de fin mai à fin juin pour atteindre les 100 %. Puis décroissent de fin juin à mi-septembre où elles atteignent le minimum relatif de 7 %. Elles connaissent enfin une croissance de mi-septembre à mi-octobre. Les probabilités d'occurrence de séquences sèches supérieures à 7 jours, 30 jours après le semis, restent supérieures à 80 % entre début novembre et mi-février. Elles décroissent de mi-février à fin mai où elles atteignent les 3 %. Elles croissent de fin mai à mi-juillet où elles atteignent 66 % puis décroissent de mi-juillet à mi-septembre où elles s'annulent. Elles croissent enfin de mi-septembre à mi-novembre. Les probabilités d'occurrence de séquences sèches

supérieures à 10 jours, 30 jours après le semis restent supérieures à 80 % entre fin novembre et fin janvier. Elles décroissent de fin janvier à fin avril où elles s'annulent. Elles croissent de début juin à fin juillet avant de décroître pour s'annuler à la mi-août et croître à nouveau de début octobre à fin novembre. Concernant la floraison (Figure 10), les risques d'occurrence de séquences sèches supérieures à 5 jours pendant la floraison du riz sont relativement élevés (>20 %) entre fin août et mi-avril. Ils deviennent faibles de mi-avril à mi-mai et redeviennent élevés entre mi-mai et fin juillet avant de redevenir faibles entre fin juillet et mi-août. Quant aux risques d'occurrence des séquences sèches supérieures à 7 jours, ils sont élevés de mi-septembre à fin février, puis faibles de fin février à fin mai, élevés à nouveau de fin mai à début juillet et faible entre début juillet et mi-septembre.

Avec des probabilités d'occurrence variables au cours du cycle du riz pluvial, les séquences sèches, particulièrement les sécheresses saisonnières, dommageables pour la levée et les phases végétative et reproductive du riz pluvial, constituent des risques climatiques majeurs pour la culture.

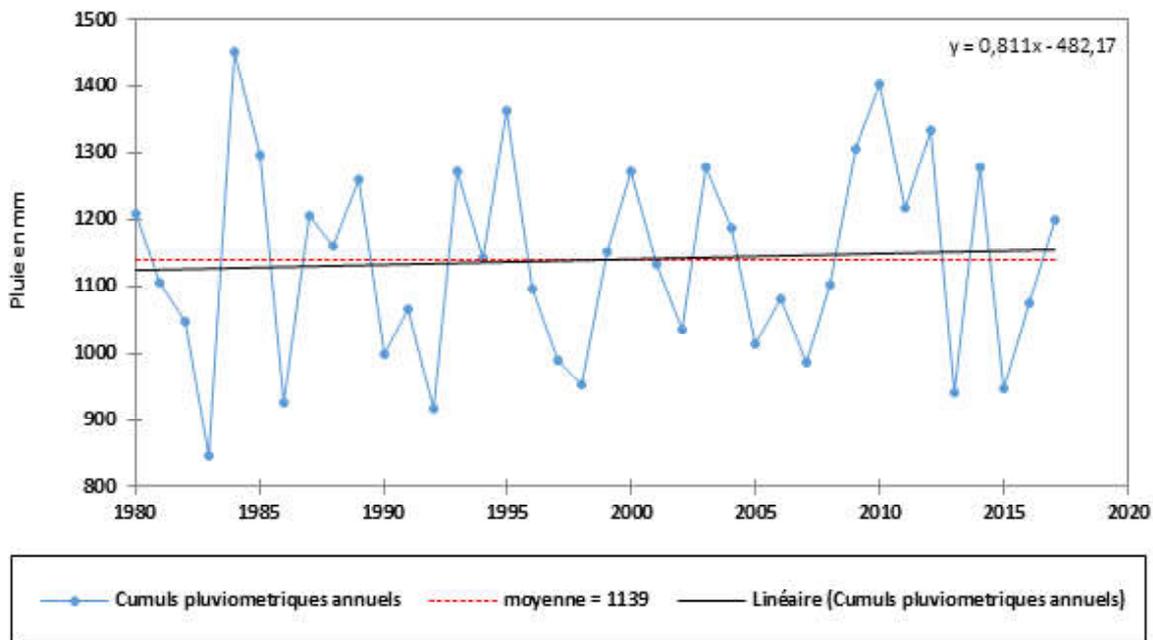


Figure 6 : Evolution des cumuls pluviométriques annuels-Test de rupture de Pettitt.

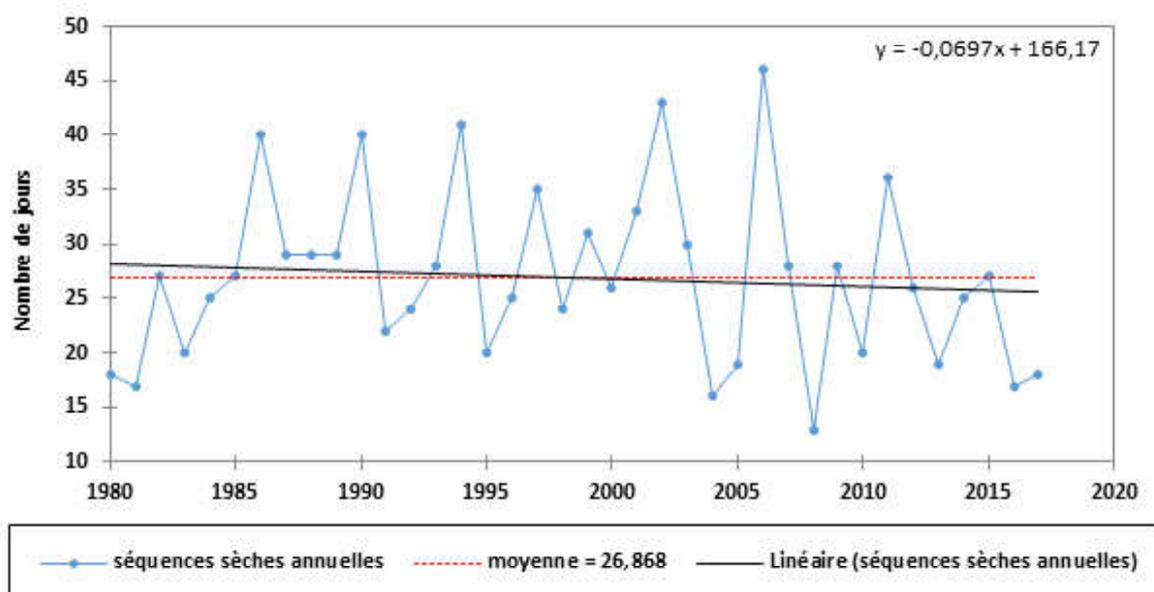


Figure 7 : Evolution des séquences sèches annuelles-Test de rupture de Pettitt.

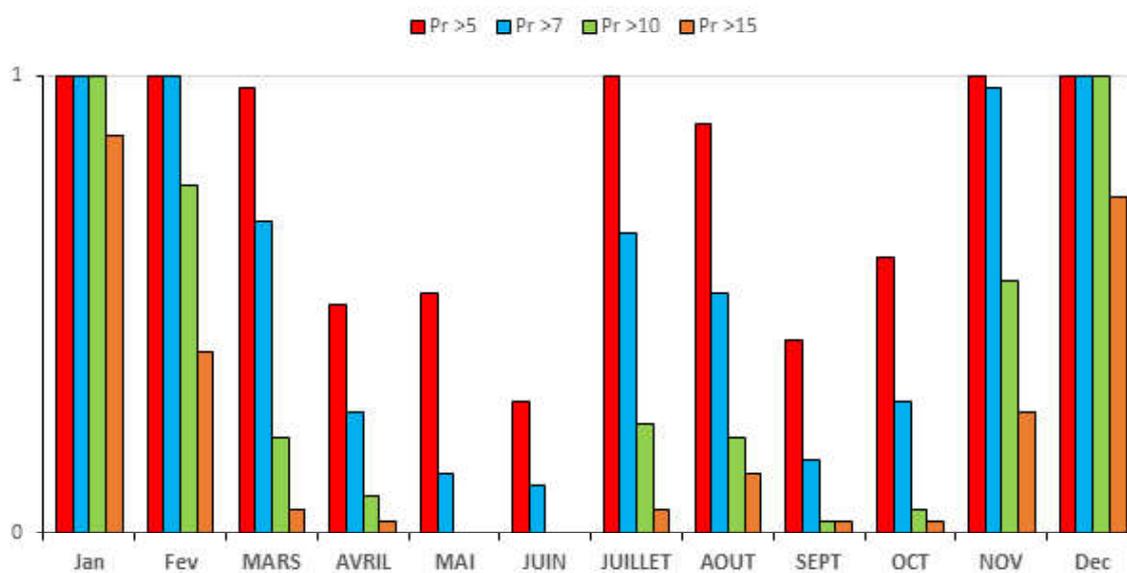


Figure 8 : Probabilités d'occurrence de séquences sèches supérieures à 5, 7, 10 et 15 jours.

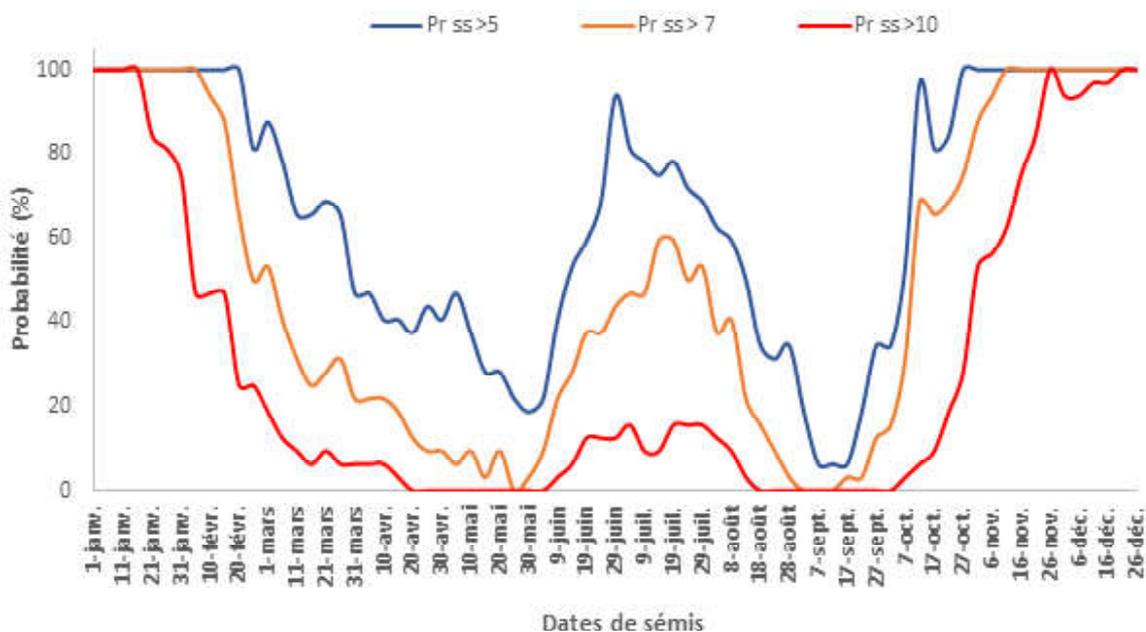


Figure 9 : Evolution de la probabilité d'occurrence de séquences sèches supérieures à 5, à 7 et 10 jours, 30 jours après le semis du riz pluvial.

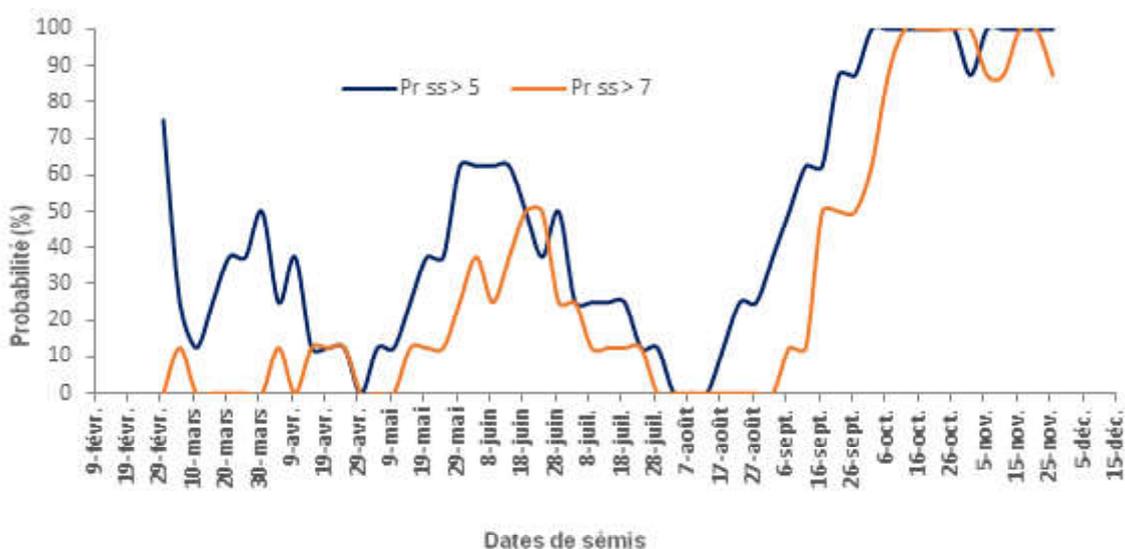


Figure 10 : Evolution de la probabilité d'occurrence de séquences sèches supérieures à 5 et 7 jours durant la floraison du riz pluvial de 100 jours.

DISCUSSION

Plusieurs auteurs à l'image de Djè (2014) ont mis en évidence le changement climatique observé en Côte d'Ivoire et qui contribue à accroître la vulnérabilité de l'agriculture ivoirienne. La modification des paramètres climatiques, constatée spécifiquement au niveau de toute la zone préforestière, est décrite par plusieurs auteurs dont Diomandé *et al.*, (2017) qui révèle que, dans le V baoulé, le régime pluviométrique à quatre saisons s'organise progressivement en régime pluviométrique à deux saisons. Dans la zone d'étude, le régime pluviométrique bimodal a été remplacé par un régime pluviométrique monomodal. Ce qui a accru le risque de déficit pluviométrique pour les cultures pluviales et perturbé les calendriers culturels. L'effet de ce changement climatique est perceptible à travers deux paramètres climatiques majeurs que sont la température et la pluviométrie. La nécessité de l'adaptation des pratiques culturelles au changement climatique n'est plus à démontrer. De ce fait, une bonne connaissance des risques climatiques, découlant du changement climatique auxquels sont confrontés les cultures pluviales, est indispensable.

L'analyse des températures a montré que la zone d'étude est sujette à une hausse des températures maximales qui constitue un risque pour la culture du riz pluvial. En effet, comme l'a montré Chaudhary *et al.*, (2003), les températures élevées peuvent entraîner, chez le riz pluvial, une augmentation du besoin en eau, un stress hydrique et thermique accru, un tallage réduit, des panicules blanches, un nombre réduit d'épillets lors de l'initiation florale, une stérilité accrue lors de l'épiaison et un remplissage réduit des grains lors de la maturation. Ce qui entraînerait une baisse des rendements. Cette tendance à la hausse des températures est confirmée par les études de la Direction Météorologique Nationale qui indiquent que la Côte d'Ivoire, dans son ensemble, s'est réchauffée en moyenne de 0,5°C depuis la décennie 80. Aussi, Djè (2014) relève une hausse de la température de 3°C, allant du nord au sud, d'ici 2100 sur la majeure partie du pays. Yao *et al.*, (2013) ont montré que de 1960 à 2010, la température des 4 zones agro-climatiques ivoiriennes et singulièrement celle de la zone préforestière, qui abrite la zone d'étude, a cru de 1,6 °C en moyenne. Cette tendance à la hausse des températures est

également confirmée par le rapport de la CEDEAO-CSAO/ OCDE (2008) qui indique que les températures en Afrique de l'Ouest ont évolué avec des augmentations allant de 0,2°C à 0,8°C par décennie depuis la fin des années 1970. L'analyse de la durée de la saison des pluies a révélé un raccourcissement de cette durée dû au démarrage tardif de ladite saison, à un nombre élevé des faux départs et une fin précoce de la saison des pluies. Toutes ces manifestations constituent des risques climatiques majeurs pour la culture du riz pluvial dans cette zone. En effet, comme l'a indiqué Beavogui (2012), l'occurrence de ces risques se traduit par l'inadaptation des périodes de semis et des variétés cultivées et un plus grand déficit hydrique. Ce qui expose le riz à des sécheresses qui se traduisent par la baisse inéluctable des rendements. Ce raccourcissement de la durée de la saison des pluies est confirmé par Goula *et al.*, (2006) qui ont indiqué qu'en Côte d'Ivoire, le début des saisons de pluie accuse un retard dont la durée reste variable d'une région à l'autre. Aussi, une étude de la SODEXAM citée par Djè (2014), indique qu'en Côte d'Ivoire, la saison des pluies s'est raccourcie en moyenne de 10 à 27 jours sur le littoral avec un retard de démarrage de deux semaines. A l'intérieur du pays, on observe une réduction de la longueur de la saison des pluies de 10 à 20 jours dans le Nord, de 20 à 30 jours dans le Sud intérieur et de 10 à 28 jours au Centre où se situe la zone d'étude. Toutefois, malgré le raccourcissement des périodes pluvieuses dans la zone d'étude, l'on note que leurs durées actuelles demeurent supérieures à la durée du cycle des principales variétés de riz pluvial cultivées dans la zone. Il semble donc que le risque climatique, découlant du raccourcissement des périodes pluvieuses et encouru par la culture du riz pluvial, serait due, en grande partie, à un mauvais calage du calendrier culturel par les producteurs.

L'analyse des cumuls pluviométriques indique une tendance haussière des cumuls annuels mais baissière des cumuls saisonniers. Si les cumuls pluviométriques annuels semblent ne pas constituer un risque pour la culture du riz pluvial, la baisse des cumuls pluviométriques saisonniers constitue un risque climatique pour cette culture. En effet, comme l'a mentionné Beavogui (2012), cette baisse peut entraîner des déficits hydriques qui se traduisent par la baisse du rendement du riz pluvial. La baisse des cumuls pluviométriques de la saison des pluies

est confirmée par Djè (2014) qui montre que la Côte d'Ivoire est exposée à une baisse journalière de 8 % des précipitations pendant les mois pluvieux d'avril à juillet.

L'analyse des séquences sèches révèle que, sur l'année, l'on observe une diminution du nombre maximal de jours consécutivement secs tandis que ce nombre augmente pendant la saison des pluies notamment durant les mois les plus pluvieux. Une progression de la sécheresse saisonnière est donc observée dans la zone d'étude et constitue un risque majeur pour la culture du riz pluvial. Elle peut entraîner, comme la montré Beavogui (2012), une défaillance des tallages, un retard de la floraison, un remplissage incomplet des grains et une baisse du rendement.

CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'identifier les principaux risques climatiques auxquels est confrontée la culture du riz pluvial dans le centre de la Côte d'Ivoire. Pour ce faire, les indices climatiques et les événements agro-climatiques ont été déterminés. L'évolution ainsi que la variabilité des indices climatiques ont été analysées grâce aux graphiques de tendance et aux indices de Lamb, et les probabilités d'occurrence des événements agro-climatiques ont été déterminées à travers l'analyse fréquentielle pour des niveaux de probabilités 20, 50 et 80 %. La hausse des températures maximales, le démarrage tardif de la saison des pluies, la variabilité des dates de démarrage de la saison des pluies, les faux départs de la saison des pluies, le raccourcissement de la saison des pluies, la baisse du cumul pluviométrique saisonnier, les séquences sèches, les sécheresses saisonnières et les déficits hydriques constituent les risques climatiques majeurs qui pourraient contrarier la culture du riz pluvial dans le centre de la Côte d'Ivoire. La connaissance de ces risques climatiques permet d'envisager plusieurs mesures d'atténuation ou d'adaptation parmi lesquelles la sélection de nouvelles variétés de riz plus résistantes au stress hydrique et l'adaptation des périodes culturales aux nouvelles saisons par la détermination des périodes optimales de semis.

REFERENCES

- Akintayo, I., Cissé, B., & Zadj, L. D. 2008. Guide pratique de la culture des NERICA de plateau. ADRAO, 36 p.
- Bagnouls, F., & Gaussen, H. 1957. Les climats biologiques et leur classification. *Annales de Géographie*, 66 (355), 193 - 220.
- Bahan F, Kéli J., Yao-Kouamé A., Gbakatchéché H., Mahyao A., Bouet A. & Camara M. 2012. Caractérisation des associations culturales à base de riz (*Oryza* sp) : cas du Centre-Ouest forestier de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 56 : 4118 - 4132.
- Bakayoko, G. A., Kouamé, K. F., & Boraud, N. K. M. 2017. Culture de l'igname au Centre-Est de la Côte d'Ivoire/ : contraintes, caractéristiques sociodémographiques et agronomiques. *Journal of Applied Biosciences*, 110(1), 10701 - 10713. <https://doi.org/10.4314/jab.v110i1.1>
- Beavogui, M. 2012. *Impacts du changement climatique sur la culture du riz pluvial en haute guinée et proposition de stratégies d'adaptation*. Centre Regional Agrhyment. Niger. 95 p.
- CEDEAO-CSAO/OCDE.2008. *Le Climat et les changements climatiques. Série environnement . Atlas de l'Intégration Régional de L'Afrique de l'Ouest, série environnement*. CEDEAO-CSAO/OCDE. 13 p.
- Chaudhary, R. C., Nanda, J. S., & Van Tran, D. 2003. *Guide d'identification des contraintes de terrain à la production de riz*. FAO. 79 p.
- Dancette, C.1983. Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano-sahélienne. *L'agronomie tropicale*, 38 (4), 281 - 294.
- Diomandé, M., Dongo, K., Koné, B., Cissé, G., Biémi, J., & Bonfoh, B. 2017. *Vulnérabilité de l'agriculture pluviale au changement de régime pluviométrique et adaptation des communautés rurales du « V-Baoulé » en Côte d'Ivoire*. Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire. Côte d'Ivoire. 11 p.
- Djè, K. B. 2014. *Programme National Changement Climatique (PNCC): Document de Stratégie*. PNCC. Cote d'Ivoire. 84 p.
- Frère, M. 1987. *Suivi agrométéorologique des cultures et prévision des rendements*. FAO. Rome, Italie. 170 p.

- Gala bi, T. J., Camara, M., Yao-Kouame, A., & Zagbahi, K. J. 2011. Rentabilité des engrais minéraux en riziculture pluviale de plateau: Cas de la zone de Gagnoa dans le Centre Ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 46, 3153 - 3162
- Goula, B. T. A., Savane, I., Konan, B., Fadika, V., & Kouadio, G. B. 2006. Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide). *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 7 (1), 1 - 12. <https://doi.org/10.4000/vertigo.2038>
- JICA, & JAICAF. 2013. *Etude de Collecte d'informations dans le secteur agricole en Côte d'Ivoire*. JICA. Japon. 236 p.
- Kotchi, J. K., Ouattara-Coulibaly, Y. R., & N'guessan, G. K. 2018. Impact socio-économique de l'aménagement hydro-rizicole de Guiguidou dans la sous-préfecture de Divo (Côte d'Ivoire). *EchoGéo*, (43), 1 - 17. <https://doi.org/10.4000/echogeo.15275>
- Lamb, P. J. 1982 Persistence of Sub-Saharan drought. *Nature*, 299 (5878), pp. 46 - 48. doi:10.1038/299046a0
- Mbaiguedem, M. 2012. *Etude de vulnérabilité et adaptation des femmes rurales face au changement climatique : Cas du Département du Chari au Tchad*. Master. Centre Régional AGRHYMET. 85 p.
- MEMPD. 2016. *Etudes monographiques et économiques des Districts de Côte d'Ivoire. District Autonome de Yamoussoukro (PEMED-CI)*. MEMPD.
- MINESUDD. 2014. *L'agriculture Intelligente face au Climat en Côte d'Ivoire: état des lieux et besoins d'appui pour mieux intégrer l'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC) dans le Programme National d'Investissement Agricole (PNIA)*. MINESUDD. 14 p.
- Mishra, J. S., & Singh, V. P. 2007. Integrated weed management in zero-till direct-seeded rice (*Oryza sativa*) - wheat (*Triticum aestivum*) cropping system. *Indian Journal of Agronomy*, 52 (3), 198 - 203.
- ONDR. 2012. *Stratégie Nationale Révisée de Développement de la filière Riz en côte d'Ivoire (SNDRI) 2012 - 2020*. ONDR. Côte d'Ivoire. 40 p.
- Paturel, J. E., Servat, E., Delattre, M. O., & Lubes-Niell, H. 1998. Analysis of rainfall long series in non-Sahelian West and Central Africa within a context of climate variability. *Hydrological Sciences Journal*, 43 (6), 937 - 946. <https://doi.org/10.1080/02626669809492188>
- Rao, A. N., Johnson, D. E., Sivaprasad, B., Ladha J. K., & Mortimer, A. M. 2007. Weed Management in Direct Seeded Rice. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 93, pp. 153 - 255). [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(06\)93004-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)93004-1)
- Sarr, B. 2007. *Manuel d'utilisation destiné aux ingénieurs en agrométéorologie*. Centre Régional AGHYMET, Niger, 72 p.
- Sarr, B., Kafando, L., & Atta, S. 2011. *Identification des risques climatiques de la culture du maïs au Burkina Faso*. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 5 (4), 1659 - 1675.
- Sarr, Atta, S., & Kafando, L. 2012. *Revue des indices climatiques utilisés dans les systèmes d'assurances agricoles indiciaires en Afrique*. Science et changements planétaires/Sécheresse. pp. 255 - 260.
- Sivakumar, M. V. K. 1988. Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 42 (4), 295 - 305. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(88\)90039-1](https://doi.org/10.1016/0168-1923(88)90039-1)
- Yao, N., Oulé, A., & N'Goran, K. 2013. *Etude de Vulnérabilité du Secteur Agricole face aux Changements Climatiques En Côte d'Ivoire*. PNUD Côte d'Ivoire. 105 p.
- Zingore, S., Wairegi, L & Ndiaye, M.K. 2014. Guide pour la gestion des systèmes de culture de riz. Consortium Africain pour la Santé des Sols, Nairobi.