

Impact de la variation des paramètres climatiques sur la production du riz pluvial dans la région du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)

[Impact of the variation of climatic parameters on rainfed rice production in the Haut-Sassandra region (Central-Western Côte d'Ivoire)]

Affoué Berthe Yao¹, Kouao Armand Anoh¹, Zilé Alex Kouadio¹, Kouakou Lazare Kouassi¹, Kouakou Bernard Dje², and Kouassi Edouard Yao¹

¹UFR Environnement, Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

²Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2020 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In Côte d'Ivoire rice cultivation is practiced in rainy conditions and remains sensitive to climatic uncertainties. This study is conducted to analyze the variation of climatic parameters and their impact on rice production in the high Sassandra region. The daily climatic parameters (rainfall and temperature) recorded over the period from 1976 to 2005 and the agronomic characteristics of two rice varieties (NERICA 1 and IDSA 85) were used for yield simulation using SARRA-H model. The results showed that the rainy season generally begins in March while instability is observed at the end of the rainy season (between 15 July and 9 October). Overall, the annual rainfall recorded remains potentially appropriate to meet rice water requirements. However, rice cycle shortens when the temperature rises; besides it lengthens when the photoperiod is high. Regardless of sowing date, the total requirements are essentially the same for both rice species. The best yields, 17,161 kg/ha for NERICA1 and 20,048 kg/ha for IDSA85 are obtained when sowing on 5th April. On the other hand, the date of 15th March gives the lowest yields. These results constitute a significant contribution in the redefinition of the rice agricultural calendar in the high Sassandra region.

KEYWORDS: Crop season, climate variability, SARRA-H, NERICA 1, IDSA 85.

RESUME: En Côte d'Ivoire, la culture du riz est pratiquée dans des conditions pluviales et reste sensible aux aléas climatiques. Cette étude est menée afin d'analyser la variation des paramètres climatiques et leurs incidences sur la production du riz pluvial dans la région du Haut-Sassandra. Les paramètres climatiques (pluie et température) journaliers enregistrés sur la période 1976 à 2005 et les caractéristiques agronomiques de deux variétés de riz (NERICA 1 et IDSA 85) ont été utilisés pour la simulation du rendement à l'aide du modèle SARRA-H. Les résultats ont montré que la saison des pluies s'installe généralement au mois de mars alors qu'on constate une instabilité au niveau de la fin de la saison des pluies (entre le 15 juillet et le 09 octobre). La pluviométrie annuelle enregistrée reste dans l'ensemble, potentiellement apte à satisfaire les exigences hydriques du riz. Cependant, le cycle du riz se raccourcit lorsque la température augmente alors qu'il s'allonge quand la photopériode est élevée. Quel que soit la date de semis, les besoins totaux sont sensiblement identiques pour les deux espèces de riz. Les meilleurs rendements, 17 161 kg/ha pour la variété NERICA 1 et 20 048 kg/ha pour l'IDSA 85, sont obtenus lorsque le semis est réalisé le 05 avril. Par ailleurs, la date du 15 mars donne les plus faibles rendements. Ces résultats constituent un apport non négligeable dans la redéfinition du calendrier agricole du riz dans le Haut Sassandra.

MOTS-CLEFS: Saison culturale, variabilité climatique, SARRA-H, NERICA 1, IDSA 85.

1 INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, la sécurité alimentaire repose sur une large gamme de produits vivriers locaux lui permettant de vaincre un tant soit peu la misère et la faim. La culture du riz fait partie de ces produits vivriers qui visent à assurer la diversification des habitudes alimentaires [1]. Depuis lors, le riz est devenu l'aliment principal de la population avec une consommation estimée à 1 300 000 tonnes

de riz blanchi par an, soit environ, 58 kg/an/habitant. Pourtant, le pays ne couvre qu'environ 42% de ses besoins [2]. Aussi, avec l'accroissement de la population, la consommation du riz ne fait qu'augmenter, alors que sa culture est confrontée aux aléas climatiques. En effet, les changements climatiques menacent la sécurité alimentaire en Côte d'Ivoire, avec pour corollaire la baisse des précipitations, la perturbation des saisons et la recrudescence des catastrophes naturelles (inondations ou sécheresse) de forte intensité [3], [4], [5]. Les rendements des exploitations rizicoles sont faibles du fait notamment de la faible capacité des producteurs à mettre en œuvre des pratiques agricoles adaptées. Ainsi, la réussite de cette culture pluviale est rendue incertaine; non seulement à cause des difficultés à identifier les dates de début et de fin des saisons culturales, mais aussi à cause de l'irrégularité intra saisonnière des pluies. Les erreurs d'appréciation des conditions nécessaires aux semis ou des dates de démarrage de la saison des pluies entraînent souvent de mauvaises récoltes [6]; ce qui rend les populations paysannes vulnérables et les expose davantage à l'insécurité alimentaire. Malgré les efforts déployés par les pouvoirs publics, la production nationale de riz ne parvient toujours pas à satisfaire la demande [2], [7]. Il existe plusieurs moyens pour améliorer le rendement du riz. Parmi ces moyens, le calage du cycle de culture permet d'optimiser sa production. En effet, les zonages climatiques recommandés par les études antérieures ne sont plus adaptés aux conditions climatiques actuelles [8], [9]. Dès lors, une agriculture intelligente permettant l'accroissement des rendements devrait être envisagée. La présente étude entreprend d'étudier l'impact de la variation des paramètres climatiques sur la production du riz pluvial dans la région du Haut-Sassandra. L'objectif principal est d'analyser les variations climatiques et leurs incidences sur le rendement du riz pluvial en vue d'aider à l'optimisation de sa production dans la région du Haut-Sassandra.

2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La région du Haut-Sassandra est située au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire; précisément entre la latitude 6°12' et 7°49' Nord et la longitude 5°55' et 7°10' Ouest (Figure 1). Cette région est drainée par le fleuve Sassandra d'où elle tire le nom « Haut-Sassandra » sur une superficie de 15 200 km². Les principales villes rencontrées sont Daloa, Vavoua, Zoukougbeu, Issia, Gadouan, Saïoua; avec la ville de Daloa comme chef-lieu de région.

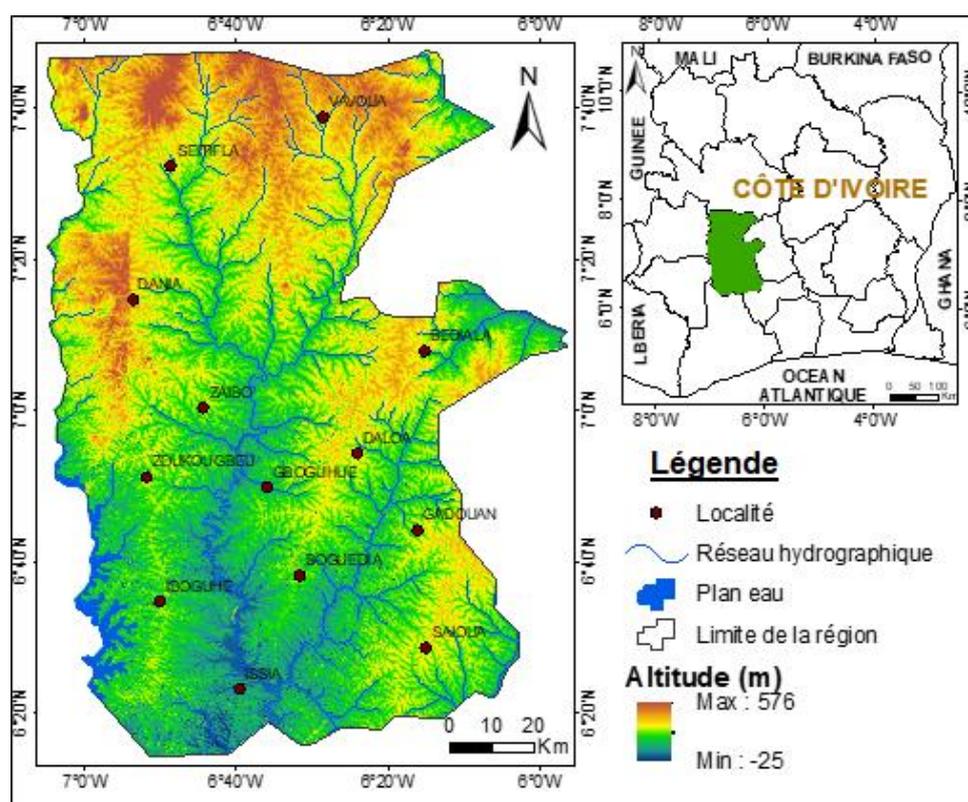


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

Au niveau climatique, la région du Haut-Sassandra est sous l'influence du climat équatorial de transition caractérisé par deux (2) saisons: une saison sèche de novembre à mars et une saison des pluies qui s'échelonne d'avril à octobre. Le maximum des précipitations s'observe en septembre. La pluie moyenne annuelle enregistrée à la station de Daloa est 1 235 mm sur la période 1976–2015. Les températures moyennes mensuelles varient entre 24,75°C en juillet et 27,72°C en février (Figure 2).

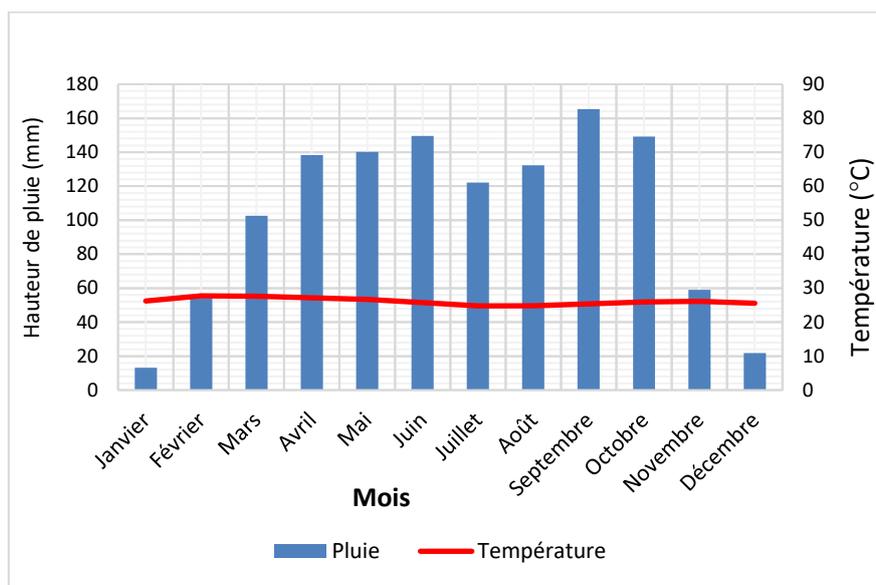


Fig. 2. Diagramme ombro-thermique de la région du Haut-Sassandra sur la période 1976-2015

Au plan morphologique, le relief de la région du Haut Sassandra est constitué d'une péninsule de faible altitude. Dans la partie Nord est observé des dômes cristallins (300–400 m d'altitude) et au Sud, des bas-plateaux (200–300 m d'altitude) [10]. La partie Nord-ouest est une zone plus aplanie et relativement déprimée. La région du Haut-Sassandra présente donc des vallées alluviales peu encaissées qui offrent de larges bas-fonds alluvionnaires favorables aux cultures irriguées. La végétation de la région du Haut-Sassandra se compose principalement de forêt semi-décidue sur sa majeure partie et de savane forestière dans sa partie Nord. Cette végétation se caractérise par une flore très variée. Il s'agit dans l'ensemble, de formations végétales de type tropical abritant une grande variété d'essences nobles propices au bois d'œuvre (Iroko, Dabema, Bois Bété, Badi, etc.) [10]. L'occupation humaine (très forte dans cette région) a profondément modifié la végétation naturelle. Ainsi, la forêt dense semi-décidue a fait place à des zones de cultures pérennes et vivrières. Les sols de la région du Haut-Sassandra sont des sols ferralitiques d'origine granitique moyennement à faiblement dénaturés ou désaturés. Ces sols présentent de bonnes aptitudes agricoles et se prêtent à tous les types de cultures pérennes telles que le café, le cacao et aux cultures vivrières de grande consommation domestique.

3 DONNÉES ET MÉTHODES

3.1 DONNÉES

Les données utilisées sont composées de données climatiques et agronomiques. Les données climatiques comprennent les hauteurs de pluie, les températures minimales et maximales, l'insolation, l'humidité maximale et minimale et la vitesse du vent. Ces données disponibles au pas de temps journalier ont été fournies par la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et météorologique (SODEXAM) sur la période 1976-2015.

Les données agronomiques concernent les sites de Daloa. Ce sont les fiches techniques de deux variétés de riz pluvial; notamment, les variétés « NERICA 1 » et « IDSA 85 ». Ces fiches techniques de culture ont été fournies par l'Office National de Développement du Riz (ONDR) de Côte d'Ivoire. Leurs cycles culturaux durent respectivement 90 jours (3 mois) et 120 jours (4 mois). Aussi, leurs rendements potentiels sont respectivement de 4,8 t/ha à 3,5 t/ha.

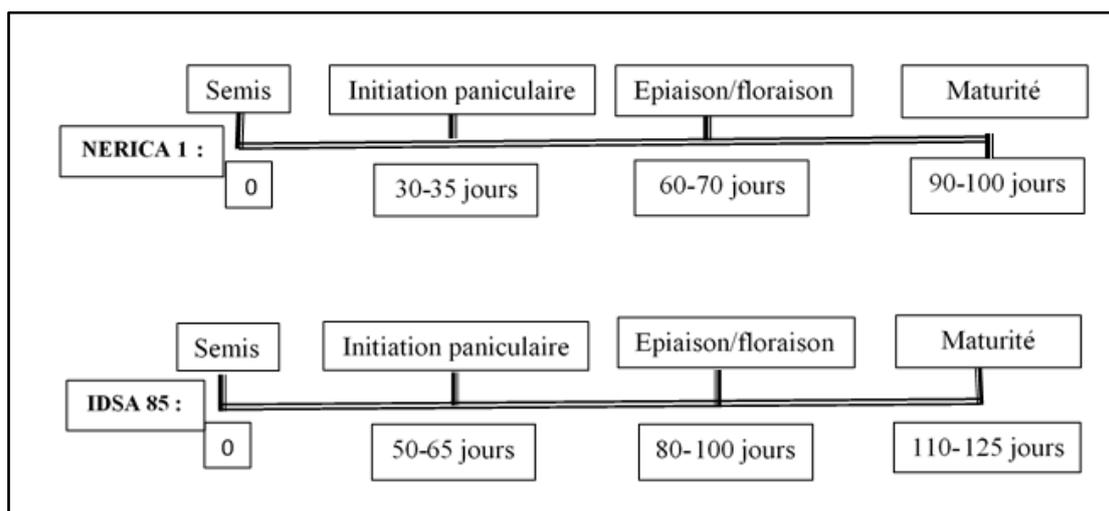


Fig. 3. Découpage des phases phénologiques des variétés de riz NERICA 1 et IDSA 85 [8]

3.2 MÉTHODES

3.2.1 DÉTERMINATION DE LA DURÉE DE LA SAISON DES PLUIES DANS LE HAUT SASSANDRA

La méthode de détermination des dates de début et de fin de la saison agricole adoptée dans cette étude est celle de Sivakumar qui a donné des résultats satisfaisants en Afrique de l'Ouest grâce à sa facilité d'application. Cette méthode, basée sur des seuils empiriques de précipitations a été utilisée par [11] et [12]. Selon [13], le début de la grande saison agricole est défini à partir du 1^{er} février lorsqu'on enregistre au moins 20 mm de pluie sur 3 jours consécutifs sans avoir observé d'épisode sèche supérieure à 10 jours dans les 30 jours qui suivent le semis. De même, la fin de la grande saison agricole est fixée à partir du 1^{er} juillet lorsqu'un sol capable de contenir 70 mm d'eau disponible est complètement épuisé par une perte quotidienne d'évapotranspiration de 4 mm.

La longueur de la saison agricole a été déterminée par la différence en jours entre la fin et le début de la saison agricole. Ce traitement a été réalisé par le logiciel Instat+. Les valeurs manquantes dans les données pluviométriques ont été codées par le nombre 9999, quant au nombre 9988, il a été assigné aux valeurs manquantes des jours 29 février (Jour Julien n° 60) des années non bissextiles afin qu'ils soient reconnus et pris en compte par le logiciel.

3.2.2 PARAMÉTRAGE DES SÉQUENCES SÈCHES

Deux types de séquences sèches ont été paramétrés dans le logiciel Instat+. Il s'agit des séquences sèches en début de saison agricole et des séquences sèches en fin de saison agricole. Les séquences sèches en début de la saison agricole représentent le nombre de jours consécutifs durant lesquels les pluies sont inférieures à un seuil de 1 mm pendant les 50 jours après la date de début de la saison agricole. Les séquences sèches en fin de la saison agricole représentent le nombre de jours consécutifs durant lesquels les pluies sont inférieures à un seuil de 1 mm vers la fin de la saison agricole; c'est-à-dire sur la période prenant en compte la phase critique d'épiaison-floraison et de maturation des cultures. En d'autres termes, ces séquences sèches en fin de saison agricole se déterminent à partir du 50^{ème} jour après la date calculée de début de saison jusqu'à la date de saison agricole fin.

3.2.3 SIMULATION DU RENDEMENT DU RIZ

3.2.3.1 PRÉSENTATION DU MODÈLE SARRA-H

Le modèle agronomique SARRA-H (Système d'Analyse Régionale des Risques Agroclimatiques - Habillée) Version 3.2 simule les rendements réalisables à l'échelle de la parcelle en condition d'eau limitée dans des conditions d'équilibre hydrique du sol, d'évaporation et de transpiration potentielle et réelle, de phénologie, d'assimilation du carbone et de partitionnement de la biomasse. Il est particulièrement adapté pour l'analyse de l'impact du climat sur la croissance et le rendement des céréales en milieu tropical [14], [15].

SARRA-H est un modèle déterministe simple fonctionnant au pas de temps journalier et disponible sur la plateforme Ecotrop¹ du Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD). Il a été développé à partir de SARRA; le modèle de bilan hydrique utilisé par les agronomes en Afrique de l'Ouest pour le mil et le sorgho [16]. Deux autres grands axes ont par la suite été pris en compte en plus du modèle de bilan hydrique SARRA pour aboutir à SARRA-H: le bilan carboné de la plante (photosynthèse et conversion du rayonnement en biomasse) et la phénologie de la plante (succession des phases de croissance de la plante).

3.2.3.2 DONNÉES D'ENTRÉE DU MODÈLE

Les données d'entrées sont composées des données climatiques enregistrées sur la période 1976-2005 et des paramètres de la culture des variétés considérées.

La date de semis a été calculée par le modèle selon une méthode de seuil adaptée de la pratique paysanne qui combine des informations climatologiques et agronomiques. On notera que la culture est non irriguée et que les caractéristiques de la parcelle en présence font références à un sol de type argilo-sableux. La géométrie de semis adoptée a été de 0,20 m entre les lignes et 0,20 m entre les poquets d'une même ligne; soit une densité de 250 000 poquets par hectare. Les plants ont été démariés à trois pieds par poquets en condition humide avant tallage; ce qui a donné un total de 750 000 plants par hectare. Les caractéristiques de la parcelle de la culture ainsi que de la pratique culturale sont présentées dans le tableau I.

Tableau 1. Caractéristiques de la parcelle, des variétés de riz et de la pratique culturale

PARCELLE					
Identifiant	Profondeur	Réserve utile (RU) (mm /m)	Humidité à la capacité de rétention	Humidité au point flétrissement (m ³ / m ³)	Humidité au point saturation
Argilo-sableux	180 cm	100	0,29	0,15	0,58
PRATIQUE CULTURALE					
Identifiant	Date de semis (date)	Densité (pieds. ha ⁻¹)	Seuil d'eau pour semis (mm)	Nombre jour test semis-germination	Irrigation
Riz-HS	15 mars 25 mars 05 Avril	750 000	10	20	Sans irrigation
CULTURES					
Identifiant	SDJ levée (°C)	SDJ BVP (°C)	SDJ RPR (°C)	SDJ Matu1 (°C)	SDJ Matu2 (°C)
NERICA_HS	54	365	402	300	130
IDSA_HS	54	639	385	300	130

SDJ levée: Somme de degrés jour du semis à la germination

SDJ BVP: Somme de degrés jours de l'émergence à l'initiation paniculaire

SDJ RPR: Somme de degrés jours de l'initiation paniculaire à la floraison

SDJ Matu1: Somme de degrés jours de la floraison à la fin de remplissage des grains

SDJ Matu2: Somme de degrés jours de la fin du remplissage des grains à la maturité totale des grains

3.2.3.3 PARAMÉTRAGE DU MODÈLE SARRA-H

Le paramétrage du modèle SARRA-H peut être décrit en trois grandes étapes qui sont [17]: phénologie et photopériodisme, bilan hydrique et bilan carboné. Pendant le paramétrage, certaines valeurs ont subi des ajustements dans les limites des intervalles de variation définis pour le riz.

¹ <http://ecotrop.cirad.fr>

PHÉNOLOGIE ET PHOTOPÉRIODE

Les phases phénologiques sont définies par des seuils de somme de températures à la limite duquel la germination et le développement de la plante est possible. Le modèle assure la gestion des différentes phases phénologiques à travers des sommes thermiques exprimés en somme degrés jours (SDJ). Pour chaque variété, il s'agit de calculer les sommes de degrés jours de chaque stade de développement (de la levée à la maturation). Ces sommes de degré jour, spécifiques à chaque variété de riz, représentent les taux de développement par unité de degré jour dans le modèle (respectivement les taux de développement du semis à la germination, de l'émergence à l'initiation paniculaire, de l'initiation paniculaire à la floraison, de la floraison à la fin de remplissage des grains et du remplissage des grains à la maturité totale des grains). Ces degrés jours calculés sont ensuite comparés et réajustés par rapport aux degrés jours simulés sur la période 1976 à 1990 de sorte à obtenir le meilleur synchronisme entre les valeurs de ces variables de croissance (phénologie). Les sommes de degré jours sont obtenues selon l'équation suivante (Eq. 1):

$$SDJ = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_b \right) \quad (Eq.1)$$

Où :

n = nombre de jours après le semis pour atteindre le stade de maturation.

T_{max} = température maximale (°C);

T_{min} = température minimale (°C);

T_b = température de base = 13 °C.

Dès que le seuil défini pour une phase donnée est atteint, le modèle passe à la phase suivante. La durée de la phase sensible à la photopériode complète celle de la phase phénologique qui devient alors variable en fonction de la date de semis et de la sensibilité de la variété au photopériodisme.

Lors de la simulation du rendement du riz à l'aide du modèle SARRA-H, les paramètres tels l'ET₀, l'ET_M et la photopériode sont calculés par le modèle.

L'ET₀ est donnée par l'équation de Penman-Monteith (Eq. 2)

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (Eq. 2)$$

Avec :

ET₀: évapotranspiration de référence (mm/ Jour)

R_n: radiation nette à la surface de la culture (MJ/ m².jour)

G: flux de chaleur du sol (MJ/ m².jour)

T: température moyenne à 2 m (°C)

U₂: vitesse du vent mesurée à 2 m (m/s)

(e_a-e_d): déficit pression de vapeur (Kpa)

Δ: pente de la courbe de tension de vapeur (Kpa/°C)

γ: Constante psychrométrique (Kpa/°C)

3.3 COEFFICIENT DU VENT (S / M)

Une fois l'ET₀ connu, le modèle procède au calcul de l'évapotranspiration maximale (ET_M) qui est la quantité totale d'eau qui s'évapore du sol/substrat (évapotranspiration) et des plantes lorsque le sol est à son taux d'humidité naturel. ET_M est déterminée par l'équation (Eq. 3) suivante:

$$ET_M = K_c \times ET_0 \quad (Eq. 3)$$

Où:

K_c: coefficient cultural

ET₀: évapotranspiration de référence

Dans cette étude, l'ET_M représente les besoins en eau de la culture du riz dans les conditions pluviales.

BILAN HYDRIQUE ET BILAN CARBONÉ

SARRA-H simule le bilan hydrique pour évaluer le devenir de l'eau dans le système sol–plante–atmosphère sur la base d'un système de réservoirs auquel est soustrait le bilan des stocks. Au niveau des réservoirs (2 réservoirs), seuls les flux verticaux et descendants sont pris en compte. Le premier réservoir dit de surface est soumis aux processus d'évaporation tandis que le second réservoir (réservoir de profondeur) aux processus de transpiration. Les processus de transpiration et d'évaporation dépendent de la demande climatique, de la couverture foliaire du sol (LAI) et des phases phénologiques de la plante.

Le bilan carboné à travers le processus d'interception du rayonnement solaire en vue de produire de la matière sèche. Le processus de production de la matière sèche est fonction du:

- Taux de couverture foliaire
- Taux conversion de la fraction de lumière interceptée en matière sèche

3.3.1.1 EVALUATION DE LA PERFORMANCE DE LA SIMULATION DU RENDEMENT DU RIZ

L'évaluation de la performance du modèle imposant une comparaison entre le rendement en grain simulé et observé, la simulation du rendement du riz a été réalisée sur la période 1997 à 2005. Le choix de cette période est dicté par la disponibilité des données de rendements réellement observées. Le niveau d'accord entre les valeurs simulées et observées est évalué par l'erreur quadratique moyenne normalisée (NRMSE) (Eq. 3).

$$\text{NRMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (oi - si)^2}{n}} / \bar{O} \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Avec :

NRMSE: erreurs quadratiques moyennes normalisée (en %)

i: numéro d'observation

n: nombre total d'observations

O_i: observation i

S_i: valeur simulée pour l'observation i

\bar{O} : moyenne des n valeurs observées

La calibration et la validation sont acceptées si la valeur de NRMSE est inférieure ou égale à 30% [18].

4 RESULTATS

4.1 ANALYSE DE LA DATE DE DÉMARRAGE, DE FIN ET LA LONGUEUR DE LA SAISON AGRICOLE

Le tableau 2 montre que le début de la saison culturale dans la région du Haut Sassandra se localise dans le mois de mars pour toutes les stations et prend fin entre le 15 juillet (jour Julien n°197) et le 09 octobre (jour Julien n°283). A Daloa et à Vavoua, la saison des pluies prend fin plus tôt que prévue alors qu'elle traîne jusqu'au mois d'octobre pour les localités de Pélési, Gadouan et Zoukougbeu. En effet, l'évolution des classes délimitées par les isohyètes montrent que les dates d'apparition, de la fin des saisons dépendent des hauteurs de pluies enregistrées. Pour les zones les plus arrosées (Gadouan, Pélési et Zoukougbeu), la saison des pluies tend à s'allonger. Ainsi, la longueur de la saison agricole varie de 119 à 217 jours. Sur l'ensemble des localités considérées, la plus longue saison est observée à Gadouan tandis que la plus petite se situe à Daloa.

Tableau 2. Variabilité des dates de début, de fin et des longueurs de la saison agricole sur la période 1976-2005

Stations	Dates de début	Dates de fin	Longueurs de la saison (jour)
Daloa	17 Mars	15 Juillet	119
Issia	09 Mars	30 Septembre	205
Vavoua	22 Mars	27 Juillet	127
Pelezi	18 Mars	07 Octobre	202
Gadouan	06 Mars	09 Octobre	217
Zoukougbeu	11 Mars	05 Octobre	208
Saïoua	07 Mars	24 Septembre	201

4.2 ANALYSE DE LA LONGUEUR DES ÉPISODES SECS

L'observation de la figure 4 montre que les séquences sèches en début de la saison des pluies (50 jours après la date de début de saison) peuvent durer 6 à 10 jours. Pour les localités de Pelezi, Daloa, Zoukougbeu et Issia, ces séquences sèches se situent entre 7 à 9 jours. Seule, la station de Vavoua a enregistré une séquence sèche de plus de 9 jours sur la période 1976-2005.

Les séquences sèches en fin de saison culturale s'étendent en moyenne sur 9 à 18 jours dans la zone d'étude. Les séquences sèches à Vavoua et Pelezi varient de 11 à 18 jours. Dans les localités de Zoukougbeu, Daloa, Saïoua, Gadouan et Issia, ces séquences sèches durent environ 9 à 11 jours.

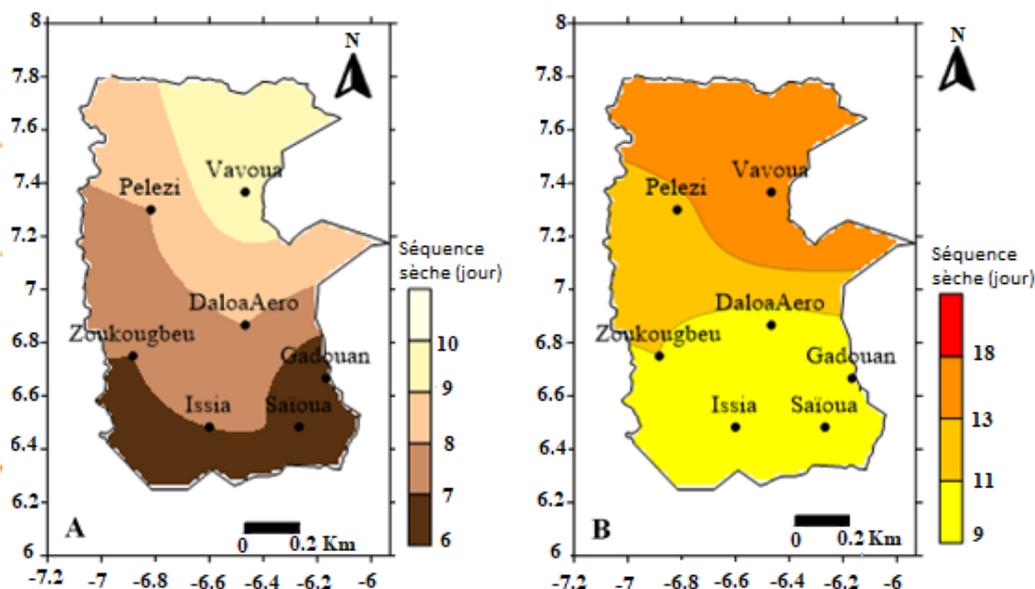


Fig. 4. Répartition des séquences sèches: A) en début et B) en fin de saison agricole sur la période 1976 à 2005

4.3 ANALYSE DE L'IMPACT DE LA VARIATION DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES SUR LE RENDEMENT DU RIZ

4.3.1 PERFORMANCE DU MODÈLE SARRA-H

L'analyse du graphique (Figure 5) montre que le modèle surestime les rendements observés des deux variétés de riz étudiées. Néanmoins, l'écart entre les rendements simulés et observés reste inférieur à 30%. Cet écart est de 14,7% pour la variété NERICA 1 et 16,73% pour la variété IDSA 85. Ainsi, les valeurs de rendement simulées sont donc acceptables.

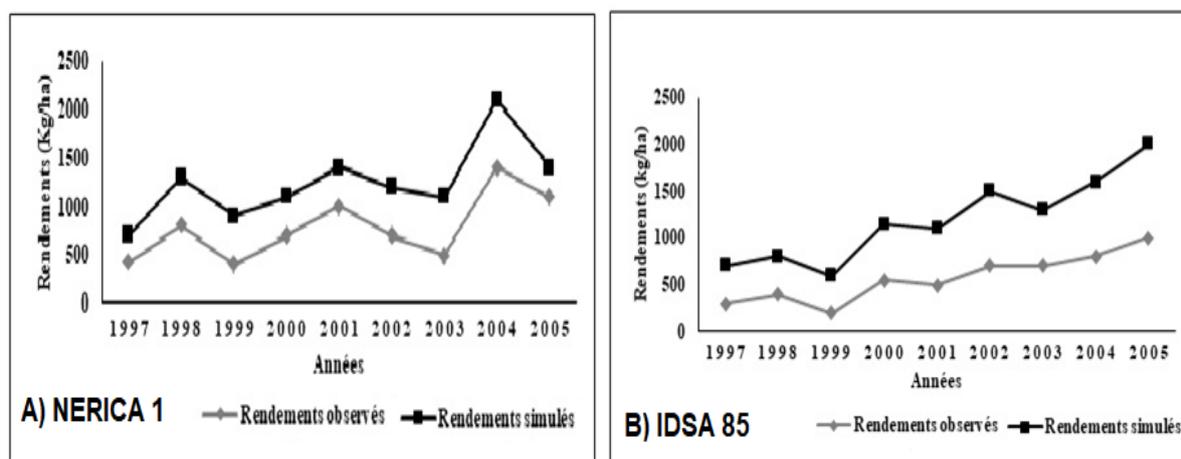


Fig. 5. Comparaison des rendements du riz observés et simulés

4.3.2 IMPACTS DE LA HAUSSE DES TEMPÉRATURES SUR L'ÉVAPOTRANSPIRATION DE RÉFÉRENCE ET L'ÉVAPOTRANSPIRATION MAXIMALE

L'analyse des graphes montre que les besoins en eau des deux variétés de riz augmentent avec la température (Figure 6). A une température de 32°C, l'évapotranspiration de référence est estimée à 375 mm pour la variété NERICA 1, alors qu'elle vaut environ 450 mm pour la variété du riz IDSA 85. A cette même température, l'ETM atteint 450 et 550 mm respectivement pour les variétés NERICA 1 et IDSA 85. Ces résultats montrent que la croissance ou le rendement du riz peut être retardée en cas de stress hydrique suite à une hausse des températures.

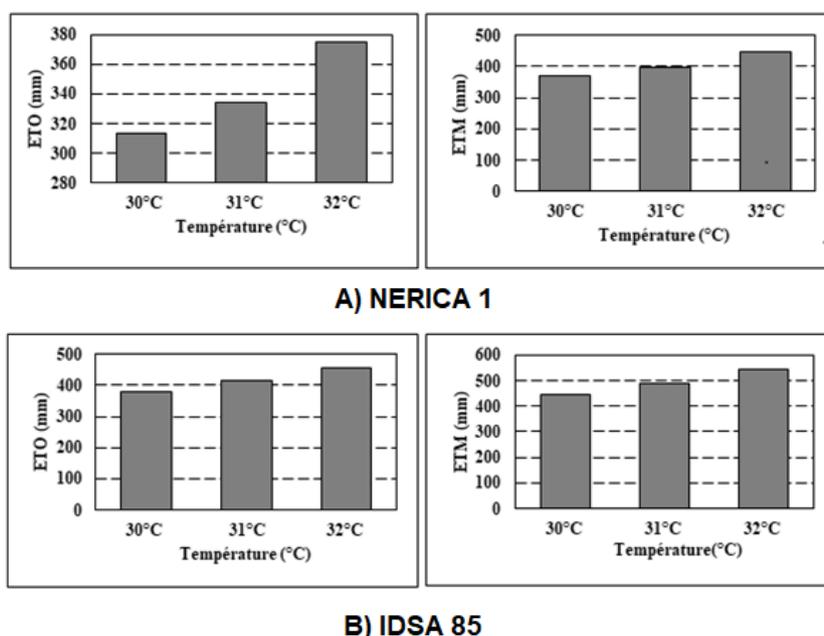


Fig. 6. Variation de l'évapotranspiration de référence (ETO) et de l'évapotranspiration maximale (ETM) du riz en fonction de la température: A) NERICA 1; B) IDSA 85

4.3.3 EFFETS DE LA TEMPÉRATURE ET DE LA PHOTOPÉRIODE SUR LE DÉVELOPPEMENT DU RIZ

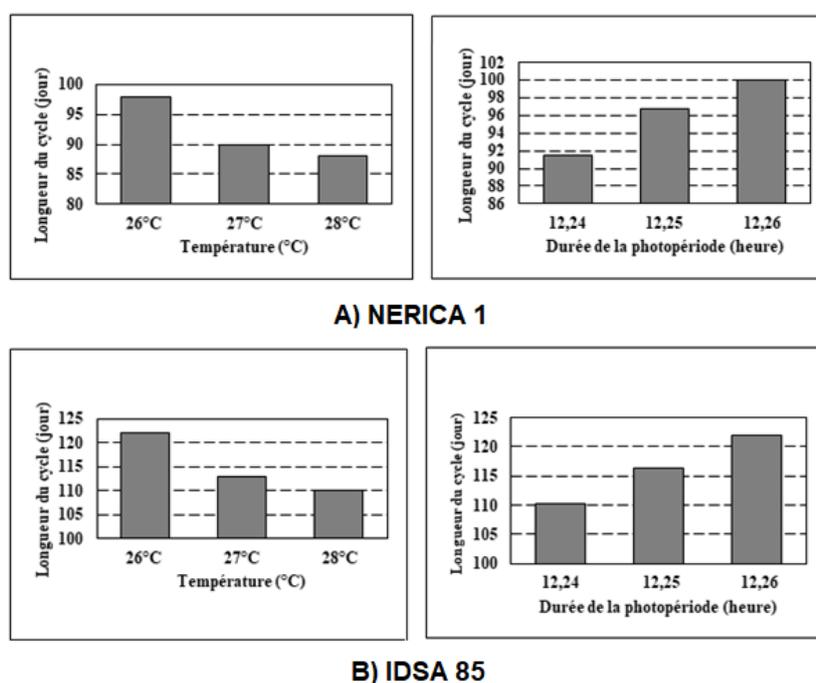


Fig. 7. Variation de la longueur du cycle des variétés de riz NERICA1 et IDSA 85 en fonction de la photopériode

L'analyse de l'évolution de la longueur du cycle du riz en fonction de la température et de la photopériode montre une variation en sens inverse (Figure 7). A des températures élevées, le cycle du riz se raccourcit quel que soit la variété du riz. Pour NERICA 1, le cycle passe de 98 jours à 26°C à 88 jours lorsque la température atteint 28°C. Ces résultats révèlent également que la température nécessaire à cycle de croissance de 90 jours de la variété NERICA 1, est en moyenne de 27°C. Contrairement à la température, une augmentation de la photopériode fait passer le cycle du riz NERICA 1 de 92 à 100 jours et de 110 à 123 jours pour la variété IDSA 85.

4.3.4 IMPACT DE LA PLUVIOMÉTRIE SUR LES BESOINS EN EAU DU RIZ

Les résultats montrent que les besoins en eau du riz varient en fonction de la date de semis (Figure 8). Les hauteurs de pluies annuelles observées sur la période 1976-2005 restent généralement supérieures à la demande en eau du riz pour les deux variétés pour les semis du 15 mars et le 05 avril. Contrairement à ces deux dates, le semis du 25 mars montre des besoins en eau plus élevés que les hauteurs pluviométriques et donc non couverts à l'exception des années 1979 et 2001.

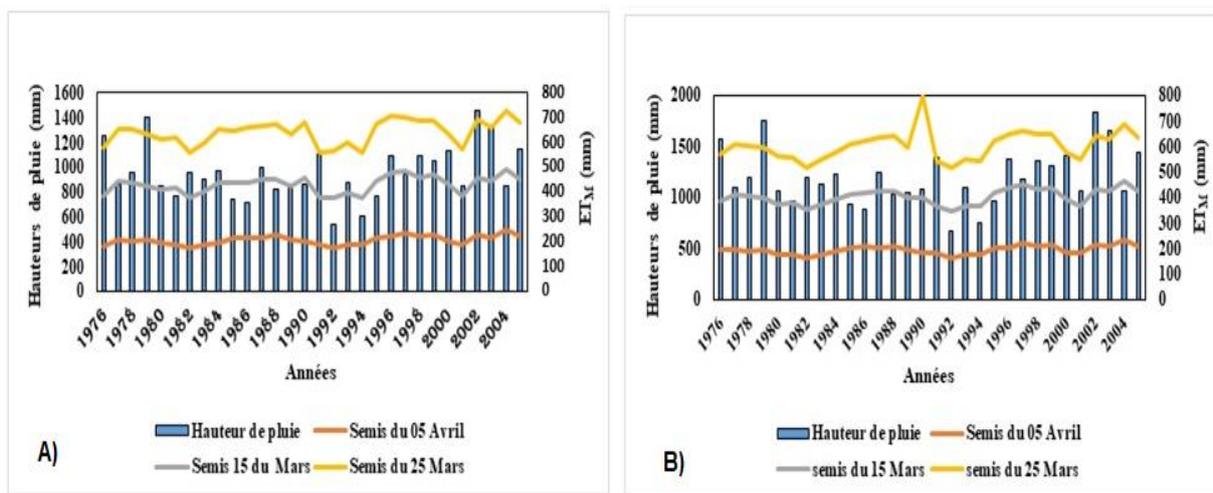


Fig. 8. Variations des besoins totaux en eau du riz en fonction des hauteurs de pluie annuelles: A) NERICA1; B) IDSA 85

4.3.5 VARIATION DES RENDEMENTS SIMULÉS PAR LE MODÈLE SARRA-H EN FONCTION DE LA DATE DE SEMIS

Les rendements des variétés NERICA 1 et IDSA 85 ont été simulés en fonction de trois dates de semis (Figure 9) sur la période 1976-2005. Les résultats montrent que les meilleurs rendements sont obtenus lorsque le semis est réalisé le 05 avril avec 20 048 Kg/ha pour la variété IDSA 85 et 17 161 Kg /ha pour la variété NERICA 1. Les rendements les plus faibles sont observés avec le semis du 15 mars.

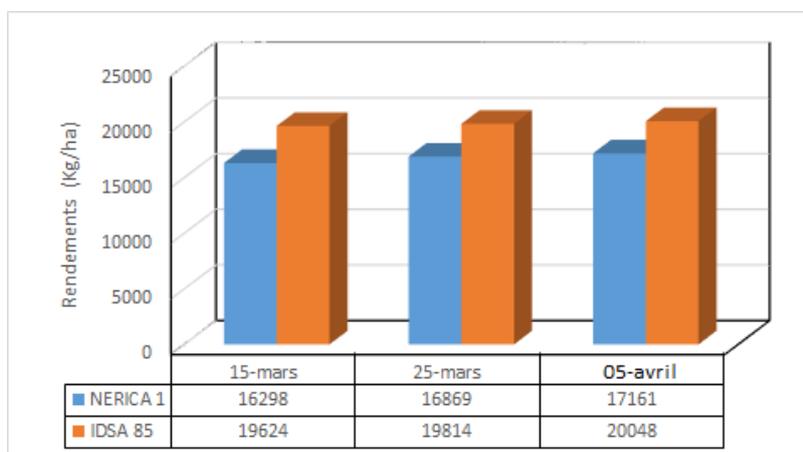


Fig. 9. Rendements des variétés de riz NERICA 1 et IDSA 85 en fonction des dates de semis

5 DISCUSSION

L'examen des résultats montre que pour toutes les stations, la saison des pluies s'installe généralement au mois de mars alors qu'on constate une instabilité au niveau de la fin de la saison agricole qui se situe entre le 15 juillet et le 09 octobre. Cette saison agricole dure entre 119 et 217 jours dans la région du Haut-Sassandra. Cette instabilité de la fin de la saison des pluies nécessite une adaptation des activités agricoles car la maîtrise de la durée de la saison des pluies est très importante pour la planification des opérations culturales afin d'éviter les éventuelles pertes de récolte. Ces résultats s'accordent avec ceux de [19] qui ont montré 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 de la Côte d'Ivoire. Toutefois, les travaux de [20] révèlent que malgré le raccourcissement des périodes pluvieuses, l'on note que les durées actuelles demeurent supérieures à la durée du cycle des variétés de riz pluvial cultivées dans la zone étudiée. Néanmoins, des épisodes secs en début et en fin de la saison culturale existent. Ces épisodes secs varient en moyenne de 6 à 10 jours en début de saison et de 9 à 18 jours en fin de saison culturale. En effet, les épisodes secs en début ou en fin de saison culturale peuvent entraîner, comme l'a montré [21], une défaillance des tallages, un retard de la floraison, un remplissage incomplet des grains et une baisse du rendement du riz. Ces résultats ont été également mis en évidence lors des travaux menés à partir de la répartition des jours secs, des bilans hydriques et des indices pluviométriques par de nombreux auteurs qui ont montré que parmi les paramètres climatologiques, les précipitations affichent la plus grande irrégularité [22], [3], [7], [23], [24]. Les travaux de [8] ont montré que cette situation compromet souvent la récolte.

La simulation du rendement du riz à l'aide du modèle SARRA-H a montré des écarts entre les rendements observés et simulés sur la période 1997 à 2005. Plusieurs facteurs peuvent expliquer les écarts entre les rendements simulés par le modèle et les rendements observés. En effet, les données d'entrée du modèle ne correspondent pas toujours aux réalités de terrain. De plus le modèle ne tient pas compte de facteurs biotiques pouvant baisser les rendements, comme les attaques de ravageurs, la pédologie ou encore les pertes au moment de la récolte. Comme les simulations effectuées considéraient que le seul facteur limitant était l'eau, il était quasiment impossible de reproduire les rendements influencés par les autres facteurs.

L'analyse de l'impact de la température sur la production du riz indique qu'à des températures élevées, les besoins en eau du riz augmentent ce qui va influencer les ressources hydriques qui réduiront la disponibilité en eau car l'évapotranspiration maximale du riz dépend essentiellement de l'évapotranspiration de référence (ET_o) qui, elle-même, dépend des paramètres du climat [25]. Le cycle du riz se raccourcit lorsque la température augmente. En effet, les températures élevées représentent le facteur limitant de toute première importance car elles contrôlent l'ensemble des phénomènes métaboliques de la plante. A très haute température, les échanges entre le sol et les plantes, les fonctions physiologiques principales, l'assimilation chlorophyllienne ou photosynthèse et la respiration sont très accélérées. Ces résultats sont conformes à ceux de [26] qui ont montré les liens entre la demande climatique, le raccourcissement du cycle des cultures avec la hausse des températures.

Concernant la photopériode, le cycle du riz s'allonge quand la photopériode est élevée. L'intensité de la lumière conditionne l'activité photosynthétique. Un éclaircissement faible ou fort va inhiber la photosynthèse. La référence [27] confirme nos résultats selon lesquels le développement du riz est ralenti quand la photopériode augmente souvent au-delà de 11 heures environ par jour. L'analyse des besoins en eau à différentes dates de semis du riz a montré que ces besoins varient de 414 à 519 mm, cependant, en prenant en compte les quantités de pluies annuelles enregistrées, on retient que la région du Haut-Sassandra est potentiellement apte à satisfaire les exigences hydriques du riz.

6 CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif d'analyser les impacts de la variation des paramètres climatiques sur la production du riz pluvial dans la région du Haut-Sassandra. L'examen des résultats montre que pour toutes les stations, la saison des pluies s'installe généralement au mois de mars alors qu'on constate une instabilité au niveau de la fin de la saison agricole (entre le 15 juillet et le 09 octobre). Cette saison agricole dure entre 119 et 217 jours. Des épisodes secs de 6 à 10 jours et de 9 à 18 jours peuvent apparaître respectivement en début et fin saison culturale.

A des températures élevées, le cycle du riz se raccourcit pour les deux variétés du riz étudié. Contrairement à la température, une augmentation de la photopériode fait passer le cycle du riz NERICA 1 de 92 à 100 jours et de 110 à 123 jours pour la variété IDSA 85. Les hauteurs de pluies annuelles observées sur la période 1976-2005 restent généralement supérieures à la demande en eau du riz pour les deux variétés lorsque les semis sont réalisés le 15 mars et le 05 avril. Ainsi, les meilleurs rendements sont obtenus lorsque le semis est réalisé le 05 avril avec 20 048 Kg/ha pour la variété IDSA 85 et 17 161 Kg /ha pour la variété NERICA 1.

REFERENCES

- [1] K.T.S.U. Yeboué, "Problématique de la consommation du riz importé dans les bassins de production du riz local du centre de la Côte d'Ivoire", *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, N°7, pp. 293-311, 2019.
- [2] C. Koffi et A. K. N'Dri, "Marché et commercialisation du riz local au centre-ouest de la Côte d'Ivoire", *Agronomie Africaine*, 18, pp. 299-308, 2006.
- [3] A. M. Kouassi, K. F. Kouamé, Y. B. Koffi, K. B. Djé, J. E. Paturel et S. Oularé, "Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'Zi (Bandama) en Côte d'Ivoire", *Cybergéo: European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, 513, 29 p, 2010.
- [4] K. F. Epse Otchoumou, S. M. Bachir, Aké G. E., "Savané I, Djé K. B. Variabilité climatique et production du cacao en zone tropicale humide: Cas de la région de Daoukro (Centre-est de la Côte d'Ivoire)", *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol 1, N°2, pp.194-215, 2012.
- [5] B. I. Diomandé et K. F. Kouassi, "Situation pluviométrique et sécurité alimentaire dans le département de Dimbokro dans le Centre-est de la Côte d'Ivoire", *Revue de géographie du laboratoire Leïdi*, N°12, pp. 82-99, 2014.
- [6] K. P.-M. Kouakou, B. Muller, A. Fofana, A. Guisse, "Performances agronomiques de quatre variétés de riz pluvial NERICA de plateau semées à différentes dates en zone soudano-sahélienne au Sénégal", *Journal of Applied Biosciences*, 99, pp. 9382-9394, 2016.
- [7] A. M. Kouassi, N'G. J. Kouassi, K. B. Djé, K. F. Kouamé et J. Biémi, "Analyse de la durée de la saison pluvieuse à partir de la date de démarrage des pluies", *Agronomie Africaine*, 30, 2, pp. 147 – 156, 2018.
- [8] K. E Kouakou, A. Kouassi, F. W. Kouassi, B. T. A. Goula., I. Savane, "Détermination des périodes optimales de semis du riz pluvial au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire", *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 3, No. 3, pp. 719-726, 2013.
- [9] B. T. A Goula., B. Srohourou, A. Brida, K. A. N'Zué, G. Goroza, "Determination and variability of growing seasons in Côte d'Ivoire", *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2, 11, pp. 5993-6003, 2010.
- [10] B. C. Y. Koffié et K. S. Kra, "La région du Haut-Sassandra dans la distribution des produits vivriers agricoles en Côte d'Ivoire" *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 2, pp. 95-103, 2013.
- [11] B. Sarr, Manuel d'utilisation destiné aux ingénieurs en agrométéorologie, Centre Régional AGHYMET, Niamey, 72p, 2007.
- [12] K. E. Kouakou, A. Kouassi, A. M. Kouassi, B.T.A. Goula et I. Savané 2015. Caractérisation des contraintes pluviométriques sur le riz pluvial de 90 et 105 jours dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*, 11 (5), 144-158.
- [13] M.V.K. Sivakumar, "Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa", *Agricultural and Forest Meteorology*, 42, pp. 295-305, 1988.
- [14] C. Baron, B. Sultan, M. Balme, B. Sarr, S. B Traore, T. Lebel, S. Janicot, M. Dingkuhn. From GCM grid cell to agricultural plot: scale issues affecting modelling of climate impact. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 360 (1463), pp.2095–2108, 2005.
- [15] M. Kouressy, M. Dingkuhn, M. Vaksman, A. Clement-Vidal, J. Chantereau. "Potential contribution of dwarf and leaf longevity traits to yield improvement in photoperiod sensitive sorghum", *European Journal of Agronomy* 28, (3), pp. 195–209, 2008.
- [16] A. Samba, "les logiciels DHC de diagnostic hydrique des cultures. Prédiction des rendements du mil en zones soudano-sahélienne de l'Afrique de l'Ouest". *Sécheresse*, 9, 4, 281-288, 1998.
- [17] A. Alhassane, S. B. Traore, V. Bonnal, C. Baron, SARRA-H: Modèle de simulation de la croissance des cultures, Centre Régional AGRHYMET, Niamey/Montpellier, Juin 2013.
- [18] K. P. M. Kouakou, Evaluation des possibilités de culture du riz pluvial et risques climatiques associés au Sénégal, Thèse unique de Doctorat, Production et Protection des végétaux, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 122 p, 2017.
- [19] K. B. Djé, Programme National Changement Climatique (PNCC): Document de Stratégie, PNCC, Cote d'Ivoire, 84 p, 2014.
- [20] D. A. Kouassi, Y. C. Brou, P.-M. K Kouakou, E.-O. Tiénébo, "Identification des risques climatiques en riziculture pluviale dans le centre de la Cote d'Ivoire", *Agronomie Africaine*, N°32 (1), pp. 1 – 14, 2020.
- [21] M. Beavogui, Impacts du changement climatique sur la culture du riz pluvial en haute guinée et proposition de stratégies d'adaptation, Centre Regional Agrhymet, Niger, 95 p, 2012.
- [22] K. E Kassin, K. Doffangui, B. Kouamé, G. Yoro, A. Assa, "Variabilité pluviométrique et perspectives pour la replantation cacaoyère dans le Centre Ouest de la Côte d'Ivoire", *Journal of Applied Biosciences*, 12: 633 – 641, 2008.
- [23] K. Amani, T. Li, T. Amadou, H. Gbakatchétché, A. Bouet, K. A. N'Zué, B. Kouamé, A. N'Guessan, B. T. A. Goula, Rainfed rice management adaptation to the increased climate variability in Côte d'Ivoire: application of ORYZA (v3) model to the bimodal areas of San-Pedro and Dimbokro, Vol. 20, No. 3, pp. 792-803, 2017.
- [24] Kouakou K.E., Kouassi A.M., Kouadio Z.A., Zoura B.J., Goula, B.T.A. Savané I. Caractérisation des saisons des pluies dans un contexte de changement climatique: Cas du bassin versant de Sassandra (Côte d'Ivoire). *Environmental and Water Sciences, Public Heath & Territorial Intelligence*, 1 (1), 01-10, 2017.
- [25] J. Doorenbos & A. H. Kassam. Réponse des rendements à l'eau, Bulletin d'irrigation et drainage, 33, Rome, Italie, FAO, 235 p, 1987.

- [26] A. A. K. Jallow, Impact de hausses des températures sur la l'agriculture au sahel: quelle implications pour l'Afrique dans les négociations sur le climat. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master en changement climatique et développement durable, centre régional AGRHYMET (Niamey, Niger), 75 P, 2012.
- [27] M.C.S. Wopereis, T. Defoer, P. Idinoba, S. Diack, M-J Dugué, "Curriculum d'apprentissage participatif et recherche action (APRA) pour la gestion intégrée de la culture de riz de bas-fonds (GIR) en Afrique subsaharienne", Manuel technique. Le Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO), Cotonou (Bénin), 128 p, 2008.