

Research Application Summary

Détermination des dates favorables aux semilles du riz pluvial au Bénin par simulation mathématique des probabilités de survenue des séquences sèches

Wabi, M. A. ^{1,2*}, Vanhove, W. ¹, Idohou, R.,^{2,3} Hounkpèvi, A.,² Glèlè Kakaï, R. L.²
& Van Damme, P. ^{1,4}

¹Laboratory of Tropical and Subtropical Agriculture, and Ethnobotany (LTSAE), Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Coupure Links 653, 9000 Ghent, Belgium

²Laboratoire de Biomathématiques et d'Estimations Forestières, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 04 BP 1525 Cotonou, Bénin

³Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière, Université Nationale d'Agriculture, BP 43 Kétou, Bénin

⁴ Faculty of Tropical AgriSciences, Czech University of Life Sciences, Prague, Kamycka 129, 165 21 Prague 6 Suchdol, Czech Republic

*Auteur correspondant: wmouako@yahoo.fr

Résumé

La baisse de la pluviométrie et l'irrégularité des pluies constituent des préoccupations majeures pour les producteurs de riz pluvial. Cette étude avait pour objectif d'analyser la variabilité des débuts et fins des pluies afin de déterminer les dates favorables aux semilles de riz pluvial au Centre et au Nord-Bénin. Pour ce faire, les données pluviométriques journalières au cours de la période 1970 à 2016 de trois stations pluviométriques situées à Malanville, Tanguiéta et Savè ont été collectées à l'Agence Météorologique du Bénin. La statistique descriptive et des analyses fréquentielles ont été utilisées pour analyser la variabilité des débuts et fins des pluies. Les probabilités de survenue des séquences sèches ont été calculées en utilisant la chaîne de Markov d'ordre 1. Les séquences sèches > 5, 7 et 10 jours ont été utilisées en phases végétative et reproductive en simulant des semis de riz pluvial réalisés tous les sept (7) jours. Il apparaît que la variabilité (15 à 29%) des débuts de pluies est plus forte que celle (2 à 5%) des dates de fin. A Tanguiéta, les dates favorables aux semilles du riz pluvial vont du 9 mai au 3 juillet alors qu'aucune date n'a été favorable aux semilles du riz pluvial à Glazoué et Malanville. Dans ces deux dernières localités, les séquences sèches (> 5 jours), préjudiciables à la floraison et compromettant la productivité du riz pluvial, ont présenté des probabilités très élevées (0,7 à 1). Les résultats renforcent la résilience des riziculteurs dans le choix des dates favorables aux semis du riz pluvial et suggèrent que ces derniers courent moins de risques en optant pour les variétés à cycle court < 100 jours.

Mots-clés. Chaîne de Markov, riz pluvial, séquences sèches, choix variétal, calendrier cultural

Abstract

Declining rainfall and erratic rains are major concerns for rainfed rice producers. The objective of this study was to analyze the variability of the beginnings and ends of the rains in order to

determine the favorable dates for sowing rainfed rice in Central and Northern Benin. To do this, daily rainfall data over the period 1970 to 2016 from three rainfall stations located in Malanville, Tanguiéta and Savè were transmitted to the Benin Meteorological Agency. Descriptive statistics and frequent analyzes were used to analyze the variability of the beginnings and ends of the rains. The probabilities of occurrence of dry sequences were calculated using the Markov chain of order 1. Dry sequences > 5, 7 and 10 days were used in the vegetative and reproductive phases by simulating rainfed rice sowing carried out every seven (7) days. It appears that the variability (15 to 29%) of the onset of rains is greater than that (2 to 5%) of the end dates. In Tanguiéta, the favorable dates for sowing rainfed rice range from May 9 to July 3, while no date was favorable for sowing rainfed rice in Glazoué and Malanville. In these last two localities, the dry sequences (> 5 days), detrimental to flowering and compromising the productivity of upland rice, presented very high probabilities (0.7 to 1). The results strengthen the resilience of rice farmers in choosing favorable dates for sowing rainfed rice and prove that they run less risk by opting for varieties with a short cycle < 100 days.

Keywords. Markov chain, upland rice, dry sequences, varietal choice, cultural calendar

Introduction

La baisse de la pluviométrie et l'irrégularité des pluies restent de nos jours des préoccupations majeures pour les agriculteurs particulièrement pour les producteurs du riz pluvial (*Oryza spp.*) en Afrique Sub-saharienne (Atidegla *et al.*, 2017; Arouna *et al.*, 2021). Les études sur les débuts et fins des pluies ont été largement documentées et exploitées en Afrique Sub-saharienne (Stern *et al.*, 1982 ; Kniveton *et al.*, 2008).

Dans certaines aires géographiques à dominance climats soudanien et sahélien, Kniveton *et al.* (2008) ont défini les débuts des pluies à travers le continent africain en utilisant trois différents seuils pluviométriques (10, 20, 30 mm) enregistrés sur deux jours consécutifs non suivis de périodes sèches de plus de dix jours. Kumi and Abiodun (2018) ont démontré pour l'Afrique de l'ouest que les dates fiables des débuts des pluies sont obtenues en considérant la première occasion où au moins 25 mm de pluie sont enregistrés sur cinq jours avec au moins deux jours pluvieux non suivis d'épisode de sécheresse de plus de sept jours consécutifs sur un intervalle de 30 jours. Les périodes sèches pouvant survenir entre le début et la fin des pluies constituent des risques majeurs en agriculture (Sarr *et al.*, 2011 ; Akinseye *et al.*, 2016) et en l'occurrence en riziculture pluviale (Kouakou *et al.*, 2016).

Au Bénin, la riziculture pluviale représentant 91% des systèmes de production du riz, est fortement tributaire du climat (Atidegla *et al.*, 2017 ; Niang *et al.*, 2018 ; Dossouhoui, 2019). Dans les bas-fonds rizicoles de Dokomey (Abomey-Calavi), 96% des riziculteurs estiment que les dates du début des pluies, la baisse pluviométrique et le raccourcissement de la saison pluvieuse impactent la productivité du riz pluvial (Atidegla *et al.*, 2017). Dans la commune de Glazoué (Centre Bénin), une baisse de rendements de riz de 2,9 t. ha⁻¹ en 2010 à 1,1 t. ha⁻¹ en 2013 serait imputable à la baisse pluviométrique et à un retard des débuts de pluies (Niang *et al.*, 2018).

De nombreux travaux ont abordé l'impact de l'évolution du climat sur les productions des cultures

vivrières (sorgho et maïs) au Bénin (Tidjani and Akponikpe, 2012; MCVDD, 2019, Adifon *et al.*, 2020). Cependant, à ce jour, très peu de recherches ont investigué la variabilité des débuts et fins des pluies ainsi que les dates favorables aux semailles du riz pluvial malgré son importance pour améliorer sa productivité (Van Diepen and Azontonde 1979; Atidegla *et al.*, 2017). Plusieurs questions de recherche restent sans réponses évidentes et méritent d'être explorées: (i) Quel est le degré de variabilités des dates du début et de la fin des pluies au cours des années passées au Centre et au Nord-Bénin? (ii) A quelle période de l'année se situe les dates favorables aux semailles du riz pluvial au Centre et au Nord-Bénin ?

La présente étude se propose d'analyser la variabilité des débuts et fins des pluies afin de déterminer les dates favorables aux semailles de riz pluvial dans les zones du Centre et du Nord-Bénin.

Materiel Et Methodes

Milieu d'étude

L'étude a été conduite dans trois communes : Malanville, Tanguiéta (Nord-Bénin) et Glazoué (Centre-Bénin) situées respectivement dans les zones à climats soudano-sahélien, soudanien et soudano-guinéen de transition du Bénin (Figure 1).



Figure 1. Localisation des communes sélectionnées pour l'étude

Matériel végétal

Au Bénin, plusieurs variétés sont utilisées par les producteurs du riz pluvial (Atidegla *et al.*, 2017 ; Dossouhoui, 2019). Pour une variété de riz pluvial donnée, le cycle de développement d'une variété de riz pluvial (Tableau I) varie entre 100 et 130 jours (FAO, 1997).

Tableau I. Durées des phases de développement des variétés de riz pluvial

	Cycle 100	Cycle 120	Cycle 130
Phase végétative (jours)	40	55	65
Phase de reproduction (jours)	35	35	35
Phase de maturation (jours)	25	30	30
Durée totale de la croissance (jours)	100	120	130

Source. FAO (1997)

Collecte des données pluviométriques

Deux critères fondamentaux ont guidé la collecte des données pluviométriques journalières : la longueur des chroniques (≥ 30 ans) et la qualité des données. La variabilité pluviométrique s'apprécie sur une période d'au moins 30 ans (Bambara *et al.*, 2016). La commune de Glazoué ne disposant pas de station pluviométrique, les données de la Station synoptique de Savè, la plus proche ont été considérées. Ainsi, les données pluviométriques journalières de Malanville, de Savè et de Tanguiéta sur une période de 46 ans (1970-2016) ont été collectées auprès de l'Agence Météorologique du Bénin.

Traitement et analyse des données

a. Détermination de la date du début et de la fin des pluies. Sur la base des travaux de Kumi and Abiodun (2018), des considérations suivantes ont été faites pour déterminer le début des pluies :

- Le début des pluies devrait se situer à partir du 1er mai dans les trois localités (Glazoué, Malanville et Tanguiéta) (Boko, 1992 ; Aho *et al.*, 2018) ;
- Une hauteur de pluie (≥ 25 mm) enregistrée sur cinq jours avec au moins deux jours pluvieux non suivis de période sèche de plus de sept jours sur un intervalle de temps de 30 jours après le 1er mai ;
- Un jour sans pluie est considéré comme un jour avec un cumul pluviométrique $\leq 0,1$ mm (Lawin *et al.*, 2011).

La fin des pluies devrait s'installer partir du 1er septembre à Malanville et à Tanguiéta et du 15 octobre à Glazoué (Boko, 1992 ; Aho *et al.*, 2018).

Les statistiques descriptives (moyenne, minimum, maximum et coefficient de variation) et des analyses fréquentielles ont permis d'analyser la variabilité des débuts et fins des pluies au moyen du logiciel de statistique INSAT, version 3.36 (Stern *et al.*, 2006 ; Sarr *et al.*, 2011) en fixant la réserve hydrique du sol à 100 mm (Akinseye *et al.*, 2016).

b. Probabilités d'apparition des séquences sèches

En se référant à la chaîne de Markov d'ordre 1, l'état Y_t de la journée t ($t > 0$) dépend de l'état Y_s

(s<t) de la journée précédente (Fischer *et al.*, 2013 ; Ojara *et al.*, 2019). Ainsi, un jour est considéré soit sec (S) ou pluvieux (P). La chaîne de Markov d'ordre 1 est traduite par la matrice suivante (Equation 1) :

$$\begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}$$

où P00, P01, P10 et P11 sont les probabilités respectives d'un jour sec précédé par un jour sec ; d'un jour pluvieux précédé par un jour sec ; d'un jour sec précédé par un jour pluvieux ; et d'un jour pluvieux précédé par un jour pluvieux.

En considérant le modèle d'une distribution géométrique (Fischer *et al.*, 2013) et en exploitant la matrice décrite ci-dessus (Equation 1), la probabilité de survenue de séquence sèche de n jours peut être déterminée à travers la formule (Equation 2) ci-dessous :

$$P_n(SS > n) = P_{00}^{n-1}P_{01} = P_{00}^{n-1}(1 - P_{00})$$

Le nombre (n) de jours de séquence sèche fixé en fonction des besoins et objectifs de l'étude (Stern *et al.*, 2006).

Les séquences sèches > 5, 7 et 10 jours ont été utilisées en phases végétative et reproductive en simulant des semis de riz pluvial réalisés tous les sept (7) jours. Le semis est favorable lorsque la probabilité de survenue des séquences sèches > 10 jours est $\leq 0,2$ (Stern *et al.*, 2006). Les dates de semis coïncidant avec les probabilités $\leq 0,1$ de survenue des séquences sèches > 7 jours en floraison du riz permettent de déterminer les dates favorables aux semis du riz pluvial (Stern *et al.*, 2006; Sarr *et al.*, 2011).

Resultats

Variabilités des débuts et fins des pluies

Les débuts des pluies ont présenté des coefficients de variation de 15% à Malanville, 16% à Tanguiéta et 29% à Glazoué (Tableau II). En moyenne, les débuts des pluies sont situés à partir des 29 mai à Glazoué, 20 mai à Tanguiéta et 12 juin à Malanville. Le coefficient de variation des fins des pluies est de 5% à Tanguiéta, 4% à Malanville et 2% à Glazoué. Les pluies se sont arrêtées en moyenne les 25 octobre à Tanguiéta, 10 octobre à Malanville et 5 novembre à Glazoué.

Probabilité de survenue de séquence sèche et dates favorables aux semences du riz pluvial

A Tanguiéta, pour les variétés de 100, 120 et 130 jours les dates de semis du riz pluvial sont situées respectivement entre : 3 juin au 3 juillet ; 19 mai au 18 juin et 9 mai au 8 juin (Figure 2). Ces dates de semis observées coïncident toutes avec des probabilités $\leq 0,1$ des séquences sèches > 7 jours au cours de la phase de floraison du riz pluvial (Figure 2). A Glazoué, il a été observé que les variétés de 100, 120 et 130 jours peuvent être semé respectivement les 10 avril et 25 mai ou du 14 au 29

juillet ; 10 avril et 5 mai et 10 avril (Figure 2). A Malanville, le riz pluvial peut être semé du 16 au 21 mai pour les variétés de 130 jours, du 11 au 31 mai pour les variétés de 120 jours et du 16 mai au 15 juin pour les variétés de 100 jours (Figure 2). Au niveau des communes de Malanville et de Glazoué, les dates de semis observées coïncident toutes avec des valeurs de probabilité de survenue des séquences sèches > 7 jours oscillant entre 0,2 et 0,6 au cours de la floraison du riz pluvial. Pour ces dates de semis, les probabilités de survenue des séquences sèches > 5 jours ont varié entre 0,7 et 1 pendant la floraison des variétés de riz pluvial.

Légende -prv > 5 : probabilités de survenue des séquences sèches > 5 jours à la phase végétative ; -prf > 5: probabilités de survenue des séquences sèches > 5 jours à la phase de floraison ; -prv > 7 : probabilités de survenue des séquences sèches > 7 jours à la phase végétative ; -prf > 7 : probabilités de survenue des séquences sèches > 7 jours à la phase de floraison ; -prv > 10 : probabilités de survenue des séquences sèches > 10 jours à la phase végétative ; -prf > 10 : probabilités de survenue des séquences sèches > 10 jours à la phase de floraison.

Tableau II. Statistiques descriptives des débuts et fins des pluies

Paramètres agro-météorologiques	Communes	Minimum	Maximum	Moyenne	CV (%)	Percentile 20%	Percentile 50%	Percentile 80%
Dates du début des pluies	Tanguiéta	01-mai	30-juin	20-mai	16,3	05-mai	17-mai	03-juin
	Malanville	07-mai	15-juillet	12-juin	15,0	27-mai	16-juin	11-juil
	Glazoué	01-mai	16-juin	29-mai	29,0	10-mai	26-mai	04-juin
Dates de la fin des pluies	Tanguiéta	01-sept	20-nov	25-oct	4,9	20-oct	27-oct	04-nov
	Malanville	01-sept	26-oct	10-oct	4,1	06-oct	12-oct	17-oct
	Glazoué	15-oct	23-nov	05-nov	2,1	01-nov	02-nov	11-nov

CV : coefficient de variation

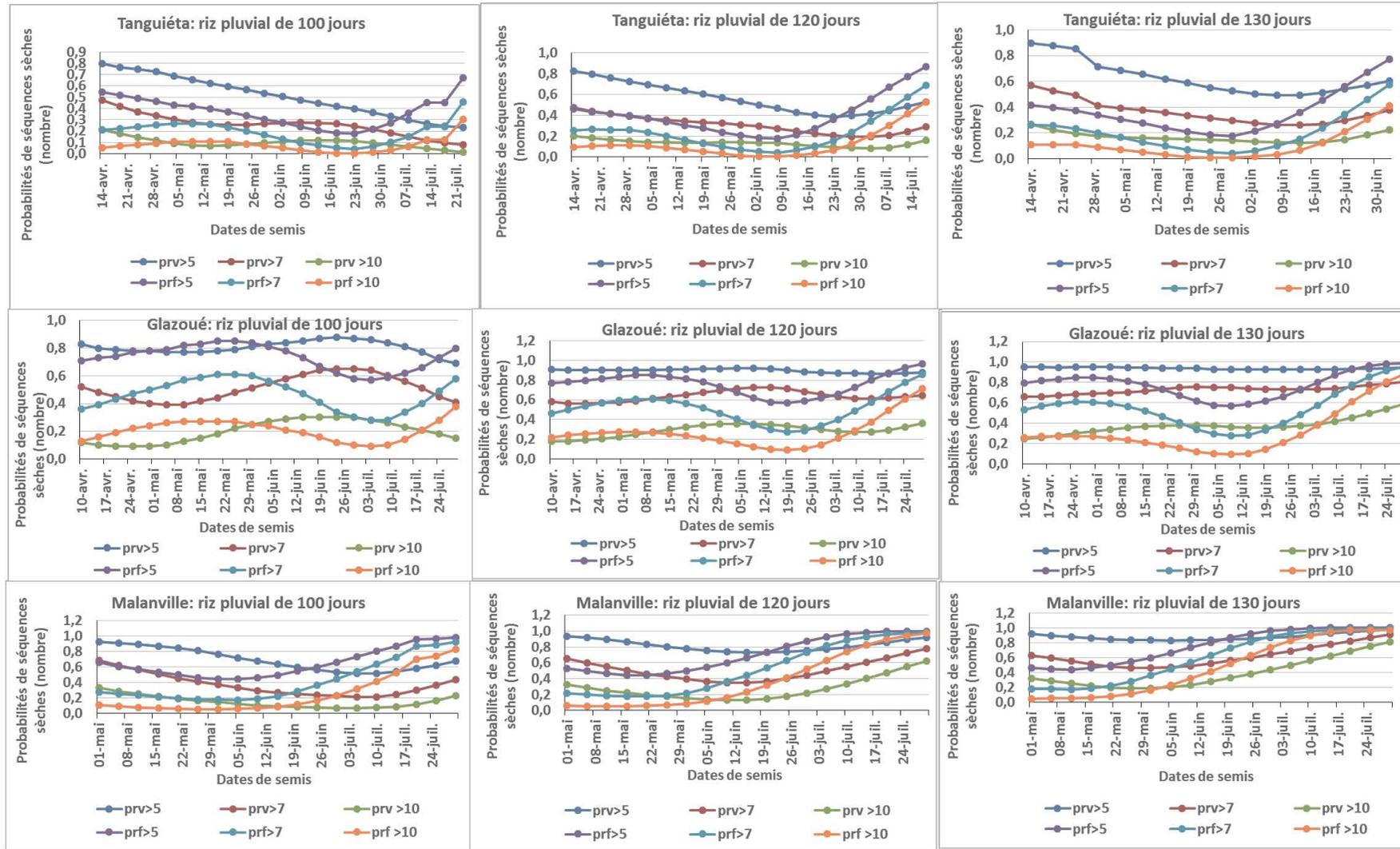


Figure 2. Evolution des probabilités de survenue des séquences sèches au cours des phases végétative et de floraison du riz pluvial

Discussion

Le présent travail tente de répondre aux degrés de variabilités des dates du début et de la fin des pluies au centre et au Nord du Bénin. L'étude révèle que les débuts des pluies connaissent une grande variabilité par rapport à leurs fins. Le début des pluies connaît une grande variabilité du fait du retour des pluies après une longue période de sécheresse. Le début des pluies est une période critique pour les riziculteurs, car indiquant le début des premiers travaux champêtres et les périodes potentielles de semis du riz pluvial. La variabilité des débuts des pluies engendre d'énormes préjudices à la productivité du riz pluvial en Afrique (Niang *et al.*, 2018 ; Arouna *et al.*, 2021). Dans la commune de Glazoué (Centre Bénin), une baisse de rendements de riz de 2,9 t.ha⁻¹ en 2010 à 1,1 t.ha⁻¹ en 2013 a été révélée par les travaux de Niang *et al.* (2018), en raison du retard du début des pluies et de la baisse pluviométrique.

Les probabilités de survenue des séquences sèches indiquent que les dates favorables aux semences du riz pluvial à Tanguéta, vont du 3 juin au 3 juillet ; 19 mai au 18 juin et 9 mai au 8 juin respectivement pour les variétés de riz pluvial de 100, 120 et 130 jours. Les dates 3 au 8 juin restent très favorables aux semences du riz pluvial, car il est possible de semer simultanément les trois groupes de variétés dans ce même intervalle de temps. Ces dates de semis observées coïncident toutes avec des probabilités $\leq 0,1$ de survenue des séquences sèches > 7 jours pendant la phase de floraison du riz pluvial. Ces résultats révèlent une bonne répartition temporelle des pluies au cours des phases végétative et reproductive. En semant à ces dates, les probabilités de survenue des séquences sèches > 5 jours restent également faibles et varient entre 0,2 et 0,3 alors que la probabilité de survenue des séquences sèches > 10 jours reste nulle tout au long du cycle de développement des trois groupes de variétés.

Aucune date n'a été favorable aux semences du riz pluvial à Malanville et Glazoué car bien que les dates de semis soient favorables à la phase végétative, elles ne garantissent pas un bon développement du riz pluvial pendant la phase de floraison. Selon, Sarr *et al.* (2011), les dates favorables aux semis doivent coïncider avec des probabilités $\leq 0,1$ des séquences sèches > 7 jours au cours de la floraison. Au cours de cette phase critique du riz pluvial, la sécheresse finale inhibe la floraison et un faible remplissage des grains (Niang *et al.*, 2018). Ces résultats corroborent les travaux de Niang *et al.* (2018) qui ont rapporté que le rendement en grain de riz pluvial est affecté par l'intensification de survenue des séquences sèches à Glazoué. A Malanville comme à Glazoué, l'élévation des probabilités de survenue des séquences sèches au cours de la phase de floraison du riz pluvial pourrait être justifiée du fait de la mauvaise répartition pluviométrique entre les débuts et fins des pluies. En riziculture pluviale, la répartition pluviométrique engendre plus la baisse des rendements que les totaux pluviométriques annuels (Niang *et al.*, 2018 ; Arouna *et al.*, 2021). Nos résultats confirment les travaux de Bouraima *et al.* (2015) qui ont indiqué l'apport d'un complément de 383 mm d'eau sous forme d'irrigation au cours de la saison pluvieuse afin de combler les déficits hydriques pendant le développement du riz pluvial à Malanville. Au Bénin, de nombreuses études ont déjà révélé la perturbation des calendriers agricoles en raison de la variabilité et du changement climatiques (Tidjani and Akponikpe, 2012 ; Atidegla *et al.*, 2017 ; Idrissou *et al.*, 2020).

L'incapacité de pouvoir trouver une date favorable aux semences du riz pluvial à Glazoué et

Malanville n'implique pas une disparition de cette culture dans ces deux localités. Cette étude prenant en compte seulement l'interaction de la variabilité pluviométrique et la production du riz pluvial, révèle plutôt que le choix des variétés précoces devra jouer un rôle très important en riziculture pluviale. En optant pour la production des variétés à cycle court < 100 jours, il convient de noter que les riziculteurs du Bénin courront moins de risques.

Conclusions

Cette étude a montré que les débuts des pluies ont connu une grande variabilité dans les trois localités du Bénin. A Tanguiéta, les dates favorables aux semailles du riz pluvial vont du 3 juin au 3 juillet ; du 19 mai au 18 juin et du 9 mai au 8 juin, respectivement pour les variétés de 100, 120 et 130 jours. En revanche, l'étude n'a révélé aucune date favorable pour les semailles de riz pluvial à Malanville et Glazoué, car les dates de semis bien que favorables à la phase végétative ne garantissent pas un bon développement du riz pluvial à la phase de floraison. En effet, les séquences sèches (> 5 et 7 jours) très présentes surtout à la phase de floraison, sont très préjudiciables au développement du riz pluvial dans ces deux localités. Les résultats suggèrent que les riziculteurs courront moins de risques en optant pour la production des variétés à cycle court < 100 jours. Ces résultats permettent de renforcer la résilience des producteurs de riz pluvial aux variations climatiques en faisant le bon choix du calendrier cultural ainsi que celui des variétés du riz pluvial.

Remerciements

Nous remercions le Directeur Général de l'Environnement et du Climat et le Directeur Général de l'Agence Météorologique du Bénin pour avoir facilité la mise à disposition des données pluviométriques journalières dans le cadre de cette étude. Nos sincères remerciements vont également à l'endroit de l'Université de Gand (UGENT) qui a financièrement soutenu l'étude sous le code de la bourse : 01W00414 et à la Fondation Internationale pour la Science pour leur contribution financière sous l'accord de subvention N° C/ 5762-1 au premier auteur. Cet article est une contribution à la Semaine africaine de l'enseignement supérieur 2021 et à la Conférence triennale du RUFORUM qui s'est tenue du 6 au 10 décembre à Cotonou, au Bénin.

Références

- Adifon, F.H., Atindogbé, G., Bello, D.O., Balogoun, I., Yabi, I., Dossou, J., Ahoton L. and Saïdou, A. 2020. Effect of Climate variability on yams (*Dioscorea* spp.) production in Central and Northern Benin. *American Journal of Climate Change* 9 (4): 423-440 <https://doi.org/10.4236/ajcc.2020.94027>.
- Aho, N., Aho, S., Agbokou, I., Kaffo, B.A., Seni, S. and Loconon, D.Z. 2018. Introduction à la résilience aux changements climatiques en Afrique de l'Ouest : répertoire des dates prédéterminées des saisons pluvieuses dans les villages et quartiers de ville du

- Bénin. Ministère de l'Énergie, de l'Eau et des Mines-PNUD Bénin, Cotonou.
- Akinseye, F.M., Agele, S.O., Traore, P.C.S., Adam, M. and Whitbread, A.M. 2016. Evaluation of the onset and length of growing season to define planting date: « a case study for Mali (West Africa) ». *Theoretical and Applied Climatology* 124: 973-983.
- Arouna, A., Fatognon, I.A., Saito, K. and Futakuchi, K. 2021. Moving toward rice self-sufficiency in sub-Saharan Africa by 2030: lessons learned from 10 years of the Coalition for African Rice Development. *World Development Perspectives* 21pp. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
- Atidegla, C.S., Koumassi, H.D., Mouzoue, E.T. and Houssou, E. 2017. Variabilité climatique et production du riz dans le bas-fond de Dokomey au Bénin. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé* 19 (2): 259-276.
- Bambara, D., Thiombiano, A. and Hien, V. 2016. Changements climatiques en zones nord-soudanienne et sub-sahélienne du Burkina-Faso : comparaison entre savoirs paysans et connaissances scientifiques. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)* 7 (1): 35-58.
- Boko M. 1992. Saisons et types de temps au Bénin: analyse objective et perceptions populaires. *L'Espace Géographique* 21 (4): 321-332.
- Bouraima, A-K., Weihua, Z. and Chaofu, W. 2015. Irrigation water requirements of rice using Cropwat model in Northern Benin. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 8 (2): 56-64.
- Dossouhoui, V.F. 2019. Développement d'un secteur semencier intégré aux chaînes de valeur du riz local au Bénin, Thèse de doctorat, Université de Liège-Gembloux Agro-Bio Tech, 230Pp.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1997. Systèmes améliorés de riziculture pluviale. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Fischer, B.M.C., Mul, M.L. and Savenije, H.H.G. 2013. Determining spatial variability of dry spells: a Markov-based method, applied to the Makanya catchment, Tanzania. *Hydrology and Earth System Sciences* 17: 2161-2170.
- Idrissou, Y., Seidou, A.A., Tossou, F.M., Worogo, H.S.S., Baco, M.N., Adjassin, J.S., Assogba, B.G.C. and Traore, I.A. 2020. Perception du changement climatique par les éleveurs de bovins des zones tropicales sèches et subhumide du Béni : comparaison avec les données météorologiques. *Cahier Agriculture* 29 (1): 1-9.
- Kouakou, K.P-M., Muller, B., Fofana, A. and Guisse, A. 2016. 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: 9382-9394.
- Kniveton, D.R., Layberry, R., Williams, C.J.R. and Peck, M. 2008. Trends in the start of the wet season over Africa. *International Journal of Climatology* doi: 10.1002/joc.1792.
- Kumi, N. and Abiodun, B.J. 2018. Potential impacts of 1.5 °C and 2 °C global warming on rainfall onset, cessation and length of rainy season in West Africa. *Environmental Research Letters* 13 (5): 055009.
- Lawin, A.E., Afouda, A. and Lebel, T. 2011. Analyse de la variabilité du régime

- pluviométrique dans la région agricole d'Ina au Bénin. *European Journal of Operational Research* 50 (3): 445-439.
- MCVDD. 2019. Troisième Communication Nationale (TCN) sur les changements climatiques. Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable, Cotonou, Bénin, 354pp.
- Niang, A., Becker, M., Ewert, F., Tanaka, A., Dieng, I. and Saito, K. 2018. Yield variation of rainfed rice as affected by field water availability and N fertilizer use in central Benin. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 110: 293-305.
- Ojara, M.A., Lou, Y., Aribó, L., Namumbya, S. and Uddin, M.D.J. 2019. Dry spells and probability of rainfall occurrence for Lake Kyoga Basin in Uganda, East Africa. *Natural Hazards*, doi.org/10.1007/s11069-019-03822-x.
- Sarra, B., Kafando, L. and 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.
- 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: 295-305.
- Stern R.D., Dennett M.D. and Dale I.C. 1982. Analysing daily rainfall measurements to give agronomically useful results. I. Direct methods. *Experimental Agriculture* 18: 223-236.
- Stern, R., Rijks, D., Dale, I. and Knock, J. 2006. INSTAT+ for Windows V 3.036. Statistical Services Center, University of Reading.
- Tidjani, M.A. and Akponikpe, P. 2012. Evaluation des stratégies paysannes d'adaptation aux changements climatiques : cas de la production du maïs au nord-Bénin. *African Crop Science Journal* 20 (s2): 425-441.
- Van Diepen, C.A. and Azontonde, A.H. 1979. Détermination des dates de semis basée sur l'analyse fréquentielle de la pluviométrie décadaire au Bénin, Projet d'Agro-Pédologie, Etude N°208, 100pp.