Afrique SCIENCE *15(1) (2019) 83 - 96*
ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.net

Impact de la variabilité des facteurs climatiques sur le développement du système racinaire du riz pluvial sur un sol Arenic gleyic dans la région du Gbêkê, Côte d'Ivoire

Kouamé René N'GANZOUA[1*], Zoumana KONATE[1], Olayossimi ADECHINA[2], Etienne KOUAME[3] et Albert YAO - KOUAME[2]

[1] Université Jean Lorougnon Guédé Daloa, Unité de Formation et de Recherche en Agroforesterie, Département de Agro pédologie, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire
[2] Université Félix Houphouêt-Boigny Cocody, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et de Recherche Minière, Département des Sciences du Sol, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire
[3] Centre du Riz pour l'Afrique-AfricaRice, Station Météorologique de M'bé-Bouaké, 01 BP 2551 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

* Correspondance, courriel : *renenganz@yahoo.fr*

Résumé

L'irrégularité et/ou la mauvaise répartition des précipitations associée à l'augmentation de la température constituent une contrainte quant à l'alimentation hydrique du riz pluvial, essentiellement assurée au niveau des racines. L'objectif de ce présent travail a été de déterminer l'effet de la variabilité de la pluviométrie et de la température sur la croissance et le développement des racines du riz pluvial. L'étude a été réalisée dans la région du Gbêkê, au centre de la Côte d'Ivoire, caractérisé par un régime pluviométrique bimodal. L'essai a été mis en place sur un sol de type Arenic Gleyic et le dispositif expérimental a été celui d'un bloc complet randomisé. La distribution naturelle des précipitations et de la température a été évaluée durant trois années successives (2012, 2013 et 2014) sur le riz pluvial NERICA 5. Les résultats ont montré un effet significatif ($P < 0,05$) de la pluviométrie et de la température sur les paramètres racinaires (allongement des racines, densité des racines, densité de la longueur racinaire et le taux d'exploration racinaire du sol) du NERICA5 quels que soient le stade de développement et l'année, humide ou sèche. L'étude a montré que, de par son caractère pluvial, le NERICA5 a eu, en condition d'assèchement du sol, un développement vertical des racines vers les couches en profondeur plus humides du fait de la présence d'une nappe phréatique sous-jacente. En revanche, l'humidité extrême, résultant de l'accumulation de l'eau saturant le sol, a limité l'élongation racinaire au détriment d'une croissance latérale. En somme, le développement des racines de riz pluvial NERICA 5, a été négativement ou positivement affecté par la variabilité de la pluviométrie et de la température modifiant ainsi leur l'architecture susceptible d'assurer l'alimentation hydrique de la plante cultivée.

Mots-clés : *pluviométrie, température, développement racinaire, riz NERICA 5.*

Abstract

Impact of climatic factors variability on the root rice system development on Arenic gleyic soil in the Gbêkê region, Côte d'Ivoire

The irregularity and / or the poor distribution of rainfall associated with the increase in temperature is a constraint on the water supply of rainfed rice, mainly provided at the root level. The objective of this paper was to determine the effect of rainfall and temperature variability on the growth and development of rainfed rice roots. The study was carried out in the Gbêkê region in central Côte d'Ivoire, characterized by a bimodal rainfall regime. The trial was set up on Arenic Gleyic type soil and the experimental design was that of a randomized complete block. The natural distribution of rainfall and temperature was evaluated over three successive years (2012, 2013 and 2014) on NERICA 5 rainfed rice. The results showed a significant effect ($P < 0.05$) of rainfall and rainfall. Root temperature (root elongation, root density, root length density, and soil root exploration rate) of NERICA5 regardless of stage of development and year, wet or dry. The study showed that, due to its rainfall character, the NERICA5 had, under soil drying conditions, a vertical development of the roots towards deeper wetter layers due to the presence of a subjacent water table. In contrast, extreme moisture, resulting from the accumulation of water saturating the soil, has limited root elongation to the detriment of lateral growth. In sum, the development of NERICA 5 rainfed rice roots has been negatively or positively affected by the variability of rainfall and temperature, thus modifying the architecture that can ensure the water supply of the cultivated plant.

Keywords : *rainfall, temperature, root development, rice NERICA 5.*

1. Introduction

La plante est ancrée dans le sol par ses racines. Outre ce rôle d'encrage de la plante, l'une des fonctions essentielles des racines est d'assurer l'alimentation hydrique et minérale de celle-ci [1]. Cette fonction nutritive des racines n'est efficace que si la plante dispose d'un bon développement racinaire lui permettant d'explorer un plus grand volume de sol [2]. Ce qui lui permet d'utiliser de façon efficiente la réserve en eau du sol, synonyme d'une bonne alimentation hydrique de la plante assurant sa survie [3]. Cependant, for est de constater qu'avec l'avènement des changements climatiques qui se traduit par l'irrégularité et la mauvaise répartition de la pluviométrie et/ou d'une augmentation de la température [4 - 6], la disponibilité de l'eau dans le sol est intermittente et la fonction nutritive des racines est mal assurée conduisant ainsi au flétrissement et même à la mort de la plante cultivée [7]. Ceci est particulièrement vrai en riziculture pluviale, où les quantités d'eau absorbées sont directement assurées par les eaux de pluie durant son cycle de développement [8]. En effet, la riziculture pluviale est strictement tributaire du climat et plus particulièrement, dépendante à 80 p.c. de la pluviométrie [9]. Du coup, le riz pluvial, subit les contrecoups de la variabilité climatique affectant sa croissance et son développement. Plus généralement, l'effet direct de la variabilité des paramètres du climat est perceptible sur la partie aérienne de la plante au détriment de sa partie souterraine que constituent les racines, invisibles et peu accessibles. Par ailleurs, les racines sont plus affectées que les autres organes de la plante par le stress hydrique dont les manifestations sont traduites sur la partie aérienne [10]. Cependant, les recherches sur le développement racinaire des plantes cultivées, notamment, chez le riz, sont limitées en raison de la nature laborieuse des études racinaires. Objectivement, cette étude vise à montrer l'effet de la variabilité des facteurs climatiques, notamment, la pluviométrie et la température sur le développement du système racinaire du riz pluvial dans une zone potentiellement exposé à l'incertitude du climat pour la pratique de la riziculture pluviale.

2. Matériel et méthodes

2-1. Description de la zone d'étude

Le travail a été réalisé à M'bé Foro-Foro (07°50 N, 05°10 W, alt.264m) dans la région de Gbêkê au centre de la Côte d'Ivoire ***(Figure 1)***. Cette région a été choisie parce que la zone du M'bé Foro-Foro regorge d'immenses activités agricoles des populations, notamment, la riziculture pluviale. Selon [11], la région du Gbêkê est une zone de climat équatorial de transition entre les climats subéquatoriaux et subtropicaux, connue sous l'appellation locale de climat baouléen. Dans cette zone, le régime pluviométrique est bimodal et définit quatre saisons bien réparties : deux saisons sèches (une grande, novembre-février et une petite, juillet-août) et deux saisons pluvieuses (mars-juin pour la grande saison et septembre-octobre pour la petite saison).

Figure 1 : *Carte administrative de la région du Gbêkê indiquant le site d'étude*

Les précipitations annuelles atteignent 1200 mm et la température moyenne se situe autour de 27°C. Au niveau pédologique, l'étude a été réalisée sur un sol de type hydromorphe (gleysol) à cause de sa forte exploitation pour les cultures pluviales. C'est un sol sableux à caractère arénique sans horizon B avec en profondeur une nappe phréatique à environ 70 cm et classé comme un sol arénic gleyic [12]. La végétation est essentiellement herbacée, colonisée par *Imperata cylindrica* [13].

2-2. Variété de riz

La variété de riz utilisée dans cette étude expérimentale en culture pluviale est le NERICA 5 développé par AfricaRice ***(Figure 2)***. Elle est issue du croisement interspécifique entre le riz d'origine asiatique *Oryza sativa*

L. et le riz d'origine africain *Oryza glaberrima* L. Cette variété est précoce avec un cycle court de 95 à 100 jours et un rendement potentiel à la récolte de 4 tonnes à l'hectare [14]. Le NERICA 5 a de très bons caractères agro morphologiques et résiste aux maladies et insectes. Il a un bon goût au niveau organoleptique.

a) Riz NERICA 5 b) Paddy du riz NERICA 5

Figure 2 : *Variété du riz pluvial NERICA 5*

2-3. Mise en place des essais

Les essais ont été réalisés pendant trois années successives (2012, 2013 et 2014). A chaque année, après nettoyage d'une surface en jachère de sept cents mètres carrés (700 m^2) à la machette et débarrassés de ses débris végétaux, toute la surface est labourée à l'aide d'une daba avant de faire un piquetage pour la délimitation des micro-parcelles disposées en blocs complets randomisés de quatre répétitions. Dans chaque répétition, sont distribuées huit (08) micro-parcelles de 5 m x 3 m. Une allée de 0,5 m est maintenue entre les micro-parcelles dans une répétition et une autre de 1,5 m entre les différentes répétitions. Dans chaque micro-parcelle et dans un espacement régulier de 20 cm x 20 cm, le riz a été semé directement en poquets, à raison de quatre (04) grains par poquet creusé à une profondeur maximale de 3 cm à l'aide d'une houe. Les semis ont été faits en juin conformément au calendrier cultural du riz pluvial dans le Gbêkê. Après germination, pour favoriser une bonne croissance et un bon développement du riz, un démariage a été fait à raison de 2 pieds par poquet au stade plantule. Un sarclage manuel a été réalisé à chaque fois que cela est nécessaire et aucune irrigation ni traitement phytosanitaire n'a été appliqué durant l'expérimentation

2-4. Collecte des données

Les données de l'expérimentation ont été obtenues en deux étapes :

- la première étape a consisté d'abord à déterminer les paramètres climatiques conditionnant la pratique de la riziculture de type pluvial. Bien que diversifiés, les plus pertinents et perceptibles rendant compte de la possibilité de la pratique du riz pluvial en milieu rural sont la pluviométrie et la température. C'est pourquoi la présente étude s'est particulièrement intéressée à la variation de ses deux paramètres du climat. Les données de pluviométrie et de température ont été relevées tous les matins à 7 heures et soirs à 18 heures, par la lecture d'un pluviomètre et d'un thermomètre à la station météorologique d'AfricaRice Bouaké installée à une centaine de mètres de notre site durant les trois années respectives de l'essai. Ces heures de lecture du pluviomètre et du thermomètre ont été choisies pour mieux apprécier les variations journalières et noctures de ces paramètres climatiques durant cette étude.
- la deuxième étape a consisté à la détermination des paramètres d'enracinement qui sont d'ailleurs multiples. Dans cette étude, la priorité est accordée à l'allongement des racines, à la densité des racines, à la densité de la longueur des racines et au taux d'exploration du sol par les racines du riz. Le critère de l'allongement des racines a été retenu vu qu'une meilleure adaptation au déficit hydrique des plantes cultivées résiderait dans l'augmentation de la profondeur racinaire permettant

une meilleure utilisation des réserves en eau des couches profondes du sol [15, 16]. La densité racinaire indique une bonne stimulation de la rhizogénèse [17], tandis que la densité de la longueur des racines et le taux d'exploration du sol par les racines traduisent une extension et/ou une ramification qui favorisent la colonisation d'un plus grand volume de sol et rendent plus accessibles à la plante, les éléments nutritifs et la réserve en eau du sol [18, 19]. Ces paramètres racinaires ont été déterminés respectivement au stade Tallage, Floraison et Maturité du riz. La méthode a consisté à prélever à chaque stade de développement, un vigoureux pied de riz avec ses racines, sur les quatre côtés et au centre de chaque micro-parcelle, en enfonçant un tube PVC de 110 mm de diamètre autour de chaque pied de riz choisi, jusqu'à 60 cm de profondeur. Après avoir sectionné la partie végétative du plant de riz prélevé et délicatement lavé sous jet d'eau les racines pour débarrasser de la terre, l'allongement racinaire et la densité racinaire ont été respectivement déterminés, par simple mesure à l'aide d'un mètre ruban et par comptage. Ensuite, une fosse de 60 cm × 60 cm est ouverte à 5 cm des lignes de semis dans chaque micro-parcelle pour le comptage *in situ* des points d'impacts des racines à l'aide d'une grille de dimension 60 cm sur 30 cm avec une maille de 5 cm × 5 cm. Les données des points d'impacts racinaires ont été transformées à l'aide du logiciel nommé « Racine » pour déterminer la densité de la longueur racinaire (DLR) et le taux d'exploration racinaire du sol (TER) selon la méthode d'étude racinaire [2].

2-5. Analyse statistique

Les données racinaires obtenues ont subi une analyse de variance (ANOVA) réalisée avec le logiciel SAS V9.1. L'ANOVA a été effectuée au test de Student-Newman-Keuls, au seuil de $\alpha = 0,05$ pour identifier la pluviométrie et/la température qui ont significativement affecté le système racinaire du riz. Des analyses de corrélation de Pearson (R) ont été également effectuées pour établir des relations entre les paramètres climatiques (pluviométrie et température) et les paramètres agro morphologiques (stades de développement et racines). Les corrélations (+ R ; - R) indiquent, respectivement, une variation de même sens et de sens opposé, avec une intensité similaire de deux variables. Les liens sont significatifs au seuil de $\alpha = 0,05$.

3. Résultats

3-1. Variation pluviométrique et thermique à différents stades de développement du riz durant les trois années de l'essai

Le Tableau 1 montre la distribution de la pluviométrie *(a)* et de la température *(b)* à différents stades de développement du riz en 2012, 2013 et 2014 durant le cycle du riz (NERICA 5)

Tableau 1a : *Valeurs moyennes de la pluviométrie enregistrées à différents stades de développement du riz en 2012, 2013 et 2014 durant le cycle du riz (NERICA 5)*

	Pluviométrie (mm)					
	Stade Tallage		Stade Floraison		Stade Maturité	
Années	PNT	PCAS	PNT	PCAS	PNT	PCAS
2012	160,0b	160,0b	130,0b	290,0b	37,0c	327,0b
2013	108,2c	108,2c	15,0c	123,2c	41,0b	164,2c
2014	193,3a	193,3a	219,8a	423,1a	223,5a	636,6a
CV (p.c.)	22,9	22,9	69,3	44,24	87,0	52,4
P > F	<, 0001	<, 0001	<, 0001	<, 0001	<, 0001	<, 0001

Les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$
PNT = Pluie Nette Tombée au semis ; PCAS = Pluie Cumulée Après Semis

Tableau 1b : *Valeurs moyennes de la température enregistrées à différents stades de développement du riz en 2012, 2013 et 2014 durant le cycle du riz (NERICA 5)*

	Température (°C)					
	Stade Tallage		Stade Floraison		Stade Maturité	
Années	TNO	TCAS	TNO	TCAS	TNO	TCAS
2012	25,5c	25,5c	25,4c	25,4c	25,7b	26,1c
2013	27,5a	27,5a	25,7a	26,6a	25,2c	26,6b
2014	27,1b	27,1b	25,5b	26,3b	26,7a	26,7a
CV (p.c.)	0,9	0,9	3,2	1,1	0,5	2,4
P > F	<, 0001	<, 0001	<, 0001	<, 0001	<, 0001	<, 0001

Les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$
TNO = Température Nette Observée ; TCAS = Température Cumulée Après Semis

On note une variabilité significative (P < 0,05) des valeurs moyennes de la pluviométrie ***(Tableau 1a)*** et de la température ***(Tableau 1b)*** selon les stades physiologiques (tallage, floraison et maturation) du développement du riz pendant l'expérimentation respectivement en 2012, 2013 et 2014. Au stade tallage, on remarque que la pluie nette tombée (PNT) correspond à la pluie cumulée après semis (PCAS). Il en est de même à ce stade pour la température nette observée (TNO) qui est égale à la température cumulée après semis (TCAS). Ces valeurs identiques respectives (PNT = PCAS) et (TNO = TCAS) indiquent que les relevés des facteurs climatiques ont débuté à partir du semis en chaque année. Cependant, il convient de souligner que le stade tallage du riz a été plus nettement arrosée en 2014 (193,3 mm) comparativement à ceux des autres années dans un ordre décroissant de 160 mm (2012) et de 108,2 mm (2013). Les températures nettes observées (TNO) pendant ce même stade physiologique de développement durant ces trois années ont montré globalement une variation de la moyenne thermique qui se situe entre 25°C et 27°C ***(Tableau 1b)***. De façon plus spécifique, 2012 a enregistré une température moyenne de 25,5°C soit 1,6 à 2°C de moins que 2014 et 2013 qui ont enregistrés respectivement 27,1°C et 27,5°C. Dans l'ordre croissant valeurs moyennes thermiques enregistrées, 2013 et 3014 ont été des années où il a fait beaucoup plus chaud que 2012. Au stade floraison, la pluie nette tombée (PNT) a été plus marquée par une plus faible intensité en 2013 avec seulement, 15 mm de pluie alors 2012 et 2014 ont reçu respectivement 130 mm et 219,8 mm de pluie.

Il y a eu une nette baisse de la pluie tombée en 2013 et 2012 par rapport au stade de tallage précédent, excepté 2014, où une augmentation de la pluie nette tombée (PNT) a été notée. Quant à la pluie cumulée après le semis (PCAS) enregistrée, les valeurs des intensités pluviométriques montrent dans l'ordre, un cumul de pluie plus importante respectivement en 2014 (423,1 mm), 2012 (290 mm) et 2013 (123,2 mm). Par comparaison au stade de tallage, il y a eu un gain de cumul de pluie quelle qu'en soit l'année. En ce qui concerne la température, le stade floraison est marquée par une température nette observée (TNO) de 25°C en moyenne quelle que soit l'année. En outre, on note une légère diminution de la température nette observée (TNO) en passant du stade de tallage précédent le stade de floraison, respectivement, de 0,1°C en 2012, 1,8°C en 2013 et de 1,6 °C en 2014. Le cumul de la valeur moyenne de la température après le semis (TCAS) a été par ailleurs plus élevé en 2013 (26,6°C) contre 26,3°C et 25,4°C respectivement en 2014 et 2012. A maturité, 37 mm, 41 mm et 223 mm de pluie nette tombée (PNT) ont été respectivement notées en 2012, 2013 et 2014 pour une température nette observée (TNO) de 25,7°C ; 25,2°C et 26,7°C respectivement pour ces mêmes années. De façon plus spécifique, en 2012, du stade de floraison à celui de maturité, l'intensité de la pluie nette tombée (PNT) est passée de 130 mm à seulement 37 mm de pluie soit une baisse de 193 mm alors qu'une hausse de 0,3°C a été notée soit de 25,4°C à 25,7°C pendant cette phase de transition entre ces deux stades. Par contre, il y a eu une augmentation de la pluie nette tombée (PNT), respectivement, de 15 mm à 41mm soit

26 mm de plus en 2013 et de 219 mm à 223 mm soit un surplus de pluie de 4 mm en 2014. La température quant à elle est passée de 25,7°C à 25,2°C soit une baisse de 0,5°C en 2013 et de 25,5°C à 26,7°C en 2014 soit une hausse de la température de 1,2°C. Globalement, la quantité de pluie cumulée (PCAS) ayant arrosée le riz à la fin de son cycle de développement est de 327 mm (2012), 164,2 mm (2013) et 636,6 mm (2014). Les températures cumulées au stade de maturité (TCAS) enregistrées sont similaires et égales à environ 26°C. Bien que les valeurs cumulatives thermiques ont été approximativement les mêmes durant ces trois années expérimentales, une inégale répartition de la température a bien été observée durant les stades clés du développement (Tallage, Floraison et Maturité) du riz. Il en est de même pour la pluie.

3-2. Variation des paramètres racinaires à différents stades de développement du riz durant les trois années de l'essai

Le ***Tableau 2*** montre les valeurs moyennes respectivement de l'allongement, de la densité des racines, de la densité de la longueur racinaire et du taux d'exploration racinaire du sol à différents stades de développement du cycle physiologique du riz pluvial NERICA 5 durant les trois années d'essai, 2012, 2013 et 2014. On note que les paramètres racinaires ont été variablement significatifs ($P < 0,05$) à chaque stade de développement physiologique du riz, excepté la densité racinaire. Un allongement maximal racinaire exponentiel, de même qu'une augmentation de la densité racinaire ont été observés du stade tallage au stade maturité, variablement d'une année à l'autre de l'essai. De façon plus spécifique, au stade tallage, l'allongement racinaire a été meilleur en 2012 (25,9 cm) par rapport à ceux de 2013 et 2014 qui par ailleurs ont eu des valeurs moyennes statistiquement identique (environ 20 cm). En revanche, la densité racinaire, bien que statistiquement invariable semble plus dense en 2014, 2012 et 2013 dans un ordre croissant. Au stade de floraison, il y a eu, non seulement un allongement de la racine, mais aussi une augmentation du nombre de racines caractérisé par la densité des racines quelle qu'en soit l'année par comparaison au stade de tallage précédent. Cependant, la profondeur racinaire a été plus importante en 2012 (35,5 cm) par comparaison à celles des autres années, qui semblent bien stimulées pour l'année 2013 (27,2 cm) que 2014 (26,1 cm). Le nombre de racines a été plus dense en 2014 (8069,6 racines/m^2), qu'en 2012 (7529,6 racines/m^2) et 2013 (7349,6 racines/m^2) bien qu'aucune différence n'est remarquable statistiquement entre ces densités racinaires. Au stade maturité, les valeurs moyennes de l'allongement racinaire ont été statistiquement identiques en 2012 (41,6 cm) et 2013 (40,3 cm) et supérieures à celle de 2014 (33,4 cm). Les densités des racines sont aussi égales statistiquement et reflètent en quantité celles du stade floraison dans un ordre de croissance plus grand. En outre, la densité de la longueur racinaire (DLR) a été plus meilleure en 2013 (0,55 cm) comparativement aux valeurs obtenues respectivement en 2012 (0,32 cm) et 2014 (0,28 cm). En revanche, une bonne occupation du sol par les racines a été observée en 2012 (0,71 p.c.) par rapport en 2013 et 2014 qui ont eu un taux d'exploration racinaire du sol dans l'ordre de 0,02 p.c.

Tableau 2 : *Valeurs moyennes des paramètres racinaires observées à différents stades de développement du riz en 2012, 2013 et 2014 durant le cycle physiologique du riz (NERICA 5)*

	Paramètres racinaires à différents stades de développement du riz											
	Stade Tallage				Stade Floraison				Stade Maturité			
Années	Allong.rac. (cm)	Densité rac. (Nb/m^2).	DLR (cm)	TER (p.c.)	Allong.rac. (cm)	Densité rac. (Nb/m^2).	DLR (cm)	TER (p.c.)	Allong.rac. (cm)	Densité rac. (Nb/m^2).	DLR (cm)	TER (p.c.)
2012	25,9 a	4748,6 a	-	-	35,5 a	7529,6 a	-	-	41,6 a	9198.0 a	0,32 b	0,71 a
2013	20,6 b	4676,6 a	-	-	27,2 b	7349,6 a	-	-	40,3 a	9018.0 a	0,55 a	0,02 b
2014	20,2 b	4856,6 a	-	-	26,1 b	8069,6 a	-	-	33,4 b	9738.0 a	0,28 b	0,01 b
CV (p.c.)	16,3	30,8	-	-	18,3	34,0	-	-	18,6	28,9	38,38	19,33
P > F	<, 0001	0,8854	-	-	<, 0001	0,517	-	-	<, 0001	0.5418	<, 0001	<, 0001

Allong. = Allongement ; rac. = racinaire ; DLR = densité de la longueur racinaire ; TER = taux d'exploration racinaire du sol ; - : non déterminé

3-3. Relation entre la variation de la pluviométrie, de la température et les paramètres racinaires durant les trois années de l'essai

Le ***Tableau 3*** établit la relation entre la variation de la pluviométrie d'une part *(a)* et d'autre part celle de la température *(b)* avec respectivement l'allongement, la densité des racines, la densité de la longueur racinaire et le taux d'exploration racinaire du sol en 2012, 2013 et 2014 durant le cycle physiologique du riz (NERICA 5).

Tableau 3a : *Valeurs de corrélation enregistrées entre la pluviométrie et les paramètres racinaires en 2012, 2013 et 2014 durant le cycle du riz (NERICA 5)*

	Corrélation (R) de la pluviométrie							
	PNT				PCAS			
	Allong.rac. (cm)	Densité rac. (Nb/m²)	DLR (cm)	TER (p.c.)	Allong.rac. (cm)	Densité rac. (Nb/m²)	DLR (cm)	TER (p.c.)
Années	R	R	R	R	R	R	R	R
2012	-0,65**	-0,60**	-0,87**	-0,96**	0,70**	0,65**	0,61**	0,66**
2013	-0,45**	-0,51**	-0,22*	-0,22*	0,22*	-0,02ns	0,53**	0,53**
2014	0,72**	0,67**	0,55**	0,55**	0,80**	0,69**	0,77**	0,77**

*PNT = Pluie Nette Tombée ; PCAS = Pluie Cumulée Après Semis ; Allong. = Allongement ; rac. = racinaire ; DLR = densité de la longueur racinaire ; TER = taux d'exploration racinaire du sol ; R = Corrélation ; ** = Probabilité très significative; * = Probabilité significative ; ns = Probabilité non significative*

Tableau 3b : *Valeurs de corrélation enregistrées entre la température et les paramètres racinaires en 2012, 2013 et 2014 durant le cycle du riz (NERICA 5)*

	Corrélation (R) de la température							
	TNO				TCAS			
	Allong.rac. (cm)	Densité rac. (Nb/m²)	DLR (cm)	TER (p.c.)	Allong.rac. (cm)	Densité rac. (Nb/m²)	DLR (cm)	TER (p.c.)
Années	R	R	R	R	R	R	R	R
2012	-0,60**	-0,56**	-0,31*	-0,34*	-0,70**	-0,65**	-0,63**	-0,68**
2013	-0,71**	-0,63**	-0,60**	-0,60**	-0,78**	-0,65**	-0,75**	-0,75**
2014	0,33*	0,12ns	0,71**	0,71**	0,09ns	-0,09ns	0,50**	0,49**

*TNO = Température Nette Observée ; TCAS = Température Cumulée Après Semis ; Allong. = Allongement ; rac. = racinaire ; DLR = densité de la longueur racinaire ; TER = taux d'exploration racinaire du sol ; R = Corrélation ; ** = Probabilité très significative; * = Probabilité significative ; ns = Probabilité non significative*

On note dans le ***Tableau 3a***, que la relation entre la pluviométrie nette tombée (PNT) et les paramètres racinaires (Allongement racinaire, densité racinaire, densité de la longueur racinaire et le taux d'exploration racinaire) a été significative ($P < 0,05$) quelle que soit l'année. Il en est de même pour la pluviométrie cumulée après semis (PCAS), excepté pour la densité racinaire en 2013 qui affiche une valeur non significative ($P > 0,05$). On note aussi que les paramètres racinaires ont été corrélés négativement ($R > - 0,06$) et positivement ($R > 0,06$) respectivement en 2012 et 2014 avec la pluviométrie nette tombée (PNT) alors que durant ces mêmes années (2012 et 2014), les paramètres racinaires ont été positivement corrélés avec la pluviométrie cumulée après semis (PCAS). En 2013, les valeurs de corrélation sont négatives et positives respectivement pour la pluviométrie nette tombée (PNT) et pour la pluviométrie cumulée après semis (PCAS), bien qu'aucune corrélation n'est observée ($R < 0,06$). Pour la température ***(Tableau 3b)***, une variabilité des valeurs de corrélation significative ($P < 0,05$) et de sens négatif (-R) a été observée entre la température

nette observée (TNO) et les paramètres racinaires (Allongement racinaire, densité racinaire, densité de la longueur racinaire et le taux d'exploration racinaire), de même que pour la température cumulée après semis (TCAS), respectivement en 2012 et 2013. En 2014, une corrélation significative et de sens positif des valeurs de la densité de la longueur racinaire (DLR) et du taux d'exploration racinaire (TER) a été observée respectivement avec la température nette observée (TNO) et la température cumulée après semis (TCAS). Aussi, qu'aucune valeur de corrélation significative n'a été observée entre la densité racinaire, l'allongement racinaire aussi bien avec la température nette observée (TNO) que la température cumulée après semis (TCAS) en 2014. On a aussi relevé qu'en 2013, toutes les valeurs significativement obtenues sont corrélées négatives ($R > -0,60$) alors qu'en 2012 et 2014, il y a une corrélation ou non, tantôt positif, tantôt négatif entre les paramètres racinaires, la température nette observée (TNO) et la température cumulée après semis (TCAS).

3-4. Relation entre la variation de la pluviométrie, la température et les paramètres racinaires à différents stades de développement du riz durant l'essai

Le *Tableau 4* établit la relation entre la variation de la pluviométrie d'une part *(a)* et d'autre part celle de la température *(b)* avec respectivement l'allongement, la densité des racines, la densité de la longueur racinaire et le taux d'exploration racinaire du sol à différents stades de développement du cycle physiologique du riz (NERICA 5).

Tableau 4a : *Valeurs de corrélation enregistrées entre la pluviométrie et les paramètres racinaires à différents stades de développement du riz durant le cycle du riz (NERICA 5)*

	Corrélation (R) de la pluviométrie							
	PNT				**PCAS**			
	Allong. rac. (cm)	Densité rac. (Nb/m²)	DLR (cm)	TER (p.c.)	Allong. rac. (cm)	Densité rac. (Nb/m²)	DLR (cm)	TER (p.c.)
Stades	R	R	R	R	R	R	R	R
Tallage	0,04ns	0,06ns	-	-	0,04ns	0,06ns	-	-
Floraison	-0,02ns	0,12ns	-	-	-0,02ns	0,12ns	-	-
Maturité	-0,45**	0,11ns	-0,37*	-0,52**	-0,40**	0,12ns	-0,53*	-0,19ns

*PNT = Pluie Nette Tombée ; PCAS = Pluie Cumulée Après Semis ; Allong = Allongement ; rac = racinaire ; DLR = densité de la longueur racinaire ; TER = taux d'exploration racinaire du sol ; R = Corrélation ; ** = Probabilité très significative; * = Probabilité significative ; ns = Probabilité non significative; - : non déterminé*

Tableau 4b : *Valeurs de corrélation enregistrées entre la température et les paramètres racinaires à différents stades de développement du riz durant le cycle du riz (NERICA 5)*

	Corrélation (R) de la température							
	TNO				**TCAS**			
	Allong.rac. (cm)	Densité rac. (Nb/m²)	DLR (cm)	TER (p.c.)	Allong.rac. (cm)	Densité rac. (Nb/m²)	DLR (cm)	TER (p.c.)
Stades	R	R	R	R	R	R	R	R
Tallage	-0,49**	-0,02ns	-	-	-0,49**	-0,02ns	-	-
Floraison	-0,49**	0,11ns	-	-	-0,61**	0,04ns	-	-
Maturité	-0,43**	0,12ns	-0,48**	-0,33*	-0,45**	0,11ns	-0,37*	-0,54**

*TNO = Température Nette Observée ; TCAS = Température Cumulée Après Semi ; Allong. = Allongement ; rac. = racinaire ; DLR = densité de la longueur racinaire ; TER = taux d'exploration racinaire du sol ; R = Corrélation ; ** = Probabilité très significative; * = Probabilité significative ; ns = Probabilité non significative; - : non déterminé*

On note qu'aucune valeur de probabilité significative n'est observée entre les paramètres pluviométriques (Pluies nette tombée et cumulée après semis) et les paramètres racinaires (Allongement racinaire, densité racinaire, densité de la longueur racinaire, et le taux d'exploration racinaire) durant les stades de tallage et de floraison. Par contre au stade de maturité, des valeurs de corrélation significatives ($P < 0,05$) de la pluie nette tombée (PNT) ont été notées respectivement avec l'allongement racinaire, la densité de la longueur racinaire et le taux d'exploration racinaire du sol. Une observation similaire a été aussi notée pour la pluie cumulée après semis (PCAS) avec l'allongement racinaire et la densité de la longueur racinaire. En outre, aucune corrélation n'a été observée ($R < 0,60$) bien que significative et de sens négatif. En ce qui concerne la relation établie entre les paramètres thermiques (Températures nette observée et cumulée après semis) et racinaires (Allongement racinaire, densité racinaire, densité de la longueur racinaire, et le taux d'exploration racinaire) durant les stades de développement du riz, on note qu'il y a une variabilité significative non corrélée et négative ($P < 0,05$; $R < -0,60$) entre les températures nette observée (TNO) et cumulée après semis (TCAS) et les paramètres racinaires durant les différents stades de développement (Tallage, floraison et maturité) à l'exception de la densité racinaire qui a affiché une valeur de probabilité non significative ($P > 0,05$) avec les paramètres thermiques (températures nette observée et cumulée après semis) quel que soit le stade de développement.

4. Discussion

L'étude a révélé que les paramètres climatiques de la région du Gbêkê sont bien caractérisés, par une irrégularité des pluies plus accentuée et/ou de leur mauvaise répartition associée à une variabilité de la température actuelle si l'on se réfère aux ***Tableaux 1a et 1b***. Cette variabilité de la pluviométrie et de la température constituent une contrainte qui affecte considérablement la croissance et le développement du système racinaire des plantes cultivées de type pluvial en influençant leur pénétrabilité dans le sol [20, 21], en modifiant leur morphologie [22, 23], ainsi que leur architecture [24, 25]. L'étude a montré que l'année 2013 a été plus sèche (164,2 mm) alors que l'année 2014 a été plus arrosée (626,6 mm) et donc plus humide. Le riz NERICA 5 étant une variété pluviale, son système racinaire est plus ou moins impacté par la fluctuation de l'eau dans le sol. En effet, les fluctuations répétées de l'eau du sol durant le développement de la plante de riz ont constitué des signaux, impliquant des récepteurs spécifiques de stress abiotique de la plante, notamment, les gènes et les hormones de croissance qui ont mis en place une réponse physiologique adaptative aux conditions environnementales [26]. Les résultats obtenus ont montré qu'il y a eu un développement racinaire préférentiellement vertical sous stress hydrique où les racines sont plus attirées vers les couches en profondeur plus humides, du fait de la nappe phréatique comme observé en 2013, et latéral en condition extrême d'humidité, résultant de l'accumulation de l'eau saturant le sol telle qu'observée en 2014 [27]. Ce résultat explique bien le mécanisme physiologique d'évitement mis en place par la plante impliquant les gènes et les hormones de croissances en réponse au stress hydrique du sol. En fait, tout se passe comme si, dès la détection du stress hydrique résultant de la variabilité pluviométrique, les gènes de racines codés ou des hormones de croissances, sont activés et modifient l'architecture racinaire de la plante de riz. Plus spécifiquement, le déficit progressif de l'eau du sol des couches superficielles vers les couches en profondeur plus humides tel qu'observé en 2013, ou encore l'humidité extrême saturant l'eau du sol, serait responsable de la croissance plus verticale ou plus latérale de la racine sous le contrôle des gènes et d'hormones de croissance qui sont impliquées dans le maintien des réponses au stress hydrique chez le riz pluvial [28]. Des travaux récemment réalisés montrant l'importance des gènes QTL de racines ou DRO1 dans la croissance et le développement racinaire et leur capacité de pénétration dans le sol en réponse aux fluctuations de l'humidité du sol confirment nos résultats [29 - 31]. De même, certains travaux portés sur la

synthèse des phytohormones ou auxines impliquées dans la rhizogénèse expliquent également nos résultats [17, 29]. Une autre conséquence de la variabilité des facteurs climatiques est relative au cumul thermique définissant la notion de températures degrés-jours de croissance et température de base des cultures [32]. En effet, sur la base d'un principe physiologique, la croissance racinaire cesse en dessous d'un seuil désigné comme température de base qui diffère selon le stade de développement du riz. Il y a une augmentation de la température degré-jour, variant entre 25,5 et 27,5°C ***(Tableau 1b)*** quel que soit le stade de développement, qui est de nature à affecter positivement la croissance racinaire du riz dans la zone agro climatique ***(Tableau 2)***. La corrélation établit entre le développement racinaire et la variation des facteurs climatiques indique qu'il existe une relation de cause à effet positif ou négatif entre paramètres de croissance et conditions environnementales. Cette analyse justifie la corrélation positive ou négative observée, entre les paramètres racinaires et les facteurs climatiques. Outres l'implication des gènes QTL et les hormones de croissance dans la régulation de la croissance racinaire, un autre facteur qui a dû influencer la croissance et le développement des racines pourrait être la fertilité chimique du sol. L'architecture et la morphologie des racines pourraient aussi s'expliquer dans une certaine mesure par le caractère appauvri en éléments nutritifs des sols Arénic gleyic [33, 34]. En effet, l'architecture racinaire est aussi déterminée par la disponibilité des nutriments dans le sol en créant une surface d'échange plus importante [35]. La carence de certains nutriments majeurs, notamment, le phosphate, inhibe la croissance latérale de la racine au profit de sa croissance verticale [36], alors que l'azote favorise préférentiellement la croissance des racines latérales [35]. Le caractère appauvri du sol associé à la variabilité des paramètres climatiques pourraient aussi expliquer la croissance et le développement des racines du riz pluvial dans la région du Gbêkê en Côte d'Ivoire [6, 37].

5. Conclusion

Notre étude montre que l'effet direct de la variabilité des facteurs climatiques, caractérisés par l'irrégularité et la mauvaise répartition de la pluviométrie associée à la hausse de la température, impacte considérablement la croissance et le développement des racines du riz pluvial NERICA 5 qui s'est traduit par la modification de la morphologie et l'architecture des racines. Les racines ont eu un développement racinaire vertical orienté vers les couches en profondeur plus humides, en condition de déficit de l'eau du sol. En revanche, l'humidité extrême du sol, résultant de l'accumulation de l'eau saturant le sol entraine un développement latéral des racines. Ces adaptations physiologiques de la plante de riz sont contrôlées par des gènes QTL et des hormones de croissance ou auxines qui sont sensibles aux stress environnementaux. Outre, les récepteurs spécifiques impliqués dans la croissance et le développement des racines de la plante du riz pluvial, le caractère appauvri du sol associé à la variabilité des paramètres climatiques pourrait être aussi déterminant dans le développement des racines de la plante du riz dans la région du Gbêkê en Côte d'Ivoire. Le système racinaire étant moins accessible et plus complexe que d'autres caractéristiques agronomiques, nous appelons à une meilleure investigation sur la régulation des racines en réponses au stress abiotique.

Références

[1] - C. YANG, L. YANG, Y. YANG, Z. OUYYANG, Rice root growth and nutrient uptake as influenced by organic manure in continuously and alternately flooded paddy soils. *Agric. Water Manag.,* 70 (2004) 67 - 81

[2] - J. L. CHOPART, Les systèmes racinaires des cultures tropicales : rôle, méthodes d'étude in situ, développement, fonctionnement. *Document de synthèse* CIRAD-CA, (2004) 42 p.

[3] - R. HELLER, R. ESNAULT, C. LANCE, Physiologie végétale Tome 1 Nutrition. *Paris Dunod,* (2004) 323 p.

[4] - B. S. ARDOIN, Variabilité hydro-climatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne*, Thèse de Doctorat*, Univ. Mont. II, France, (2004) 242 p.

[5] - A. M. KOUASSI, K. F. KOUAME, Y. B. KOFFI, K. B. DJE., J. E. PATUREL, S. OULARE, 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. *Rev. Europ. géo.*, (2010) https://cybergeo.revues.org/23388, consulté le 17/11/2017

[6] - K. R. N'GANZOUA, K. BRAHIMA, K. F. KONAN, F. ZADI, M. J. TRAORE, A. YAO-KOUAME, A. E. DICK, D. KONE, Variations of Rainfall and Air Temperature affecting Rainfed Rice Growth and Yield in a Guinea savanna zone. *J. Agric. Environ. Sci*, 5 (1) (2016) 65 - 77

[7] - P. WOLI, J. W. JONES, K. T. INGRAM, C. W. FRAISSE, Agricultural reference index for drought. *Agron. J.*, 104 (2) (2012) 287 - 300

[8] - L. GAUFICHON, J. L. PRIOUL et B. BACHELIER, Perspectives d'amélioration génétique de plantes cultivées tolérantes à la sécheresse. Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde, *reconnue d'utilité publique*, (2010) 60 p.

[9] - A. AUDEBERT, M. BECKER, D. JOHNSON, Differential response of rice to hydrological and its closely related Kinase Gene Families: conditions and agronomic management. Comprehensive analysis of the CDPKs Gene. *Afric. Crop Sci. J.*, 4 (1999) 107 - 111

[10] - P. CRUIZIAT, Détermination des pertes en eau subies par les différents organes d'une plante soumise au dessèchement. *Ann. Agron.*, 25 (1974) 539 - 554

[11] - J. J. GIGOU, L'adaptation des cultures dans le centre de la Côte d'Ivoire. *Agron. Trop.*, 42 (1) (1987a) 1 - 12

[12] - K. R. N'GANZOUA, Gestion intégrée de la sécheresse de mi-saison : effets de la fumure minérale sur le développement des racines et des organes aériens du riz pluvial sous régime pluviométrique bimodal en zone de savane guinéenne de la côte d'ivoire. *Thèse unique,* Univ. FHB Abidjan, Côte d'Ivoire, (2017) 167 p.

[13] - K. J. KOUAKOU, A. YAPI, K. A. ALUI, O. F. AKOTTO, A. YAO-KOUAME, Pédopaysage et distribution de imperata cylindrica (L.) P. Beauv. (Poaceae) dans deux agro-écosystèmes de la Côte d'Ivoire : Abidjan et Bouaké. *Int. J. Inn. Sci. Res,* 22 (1) (2016) 238 - 249

[14] - Y. D. MOUKOUMBI, Caractérisation des lignées interspécifiques *(O. sativa x O. sativa)* et interspécifiques *(O. glaberrima x O. sativa)* pour leur adaptabilité à la riziculture de bas-fond, (2001) 98 p.

[15] - S. C. BROWN, J. D. H. KEATINGE, P. J. GREGORY, P. J. M. COOPER, Effects of fertilizer, variety and location on barley production under rainfed conditions in Northern Syria. I. Root and shoot growth. *Field Crop Res,* 16 (1987) 53 - 66

[16] - M. MCGOWAN, Depths of water extraction by roots. Application to soil-water balance studies. In : Isotope and radiation techniques in soil physics and irrigation studies. IAEA Vien, (1974) 435 - 445

[17] - A. J. FLEMING, Plant signalling : the inexorable rise of auxin. *Trends Cell Biol.*, 16 (2006) 397 - 402

[18] - A. GRANSEE, H. FÜHRS, Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant Soil,* 11 (2012) 104 - 112

[19] - L. JORDAN-MEILLE, S. PELLERIN, Shoot and root growth of an hydroponic grown maize (*Zea Mays L.)* as influenced by K deficiency. *Plant Soil,* 265 (2008) 75 - 92

[20] - A. G. BENGOUGH, M. F. BRANSBY, J. HANS, S. J. MCKENNA, T. J. ROBERTS, T. A. VALENTINE, Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. *J. Exp. Bot.,* 57 (2006) 437 - 447

[21] - V. O. SADRAS, G. J. O'LEARY, D. K. ROGET, Crop response to compacted soil : capture efficiency in the use of water and radiation. *Field Crop Res,* 91 (2005) 131 - 148

[22] - J. LIPIEC, V. V. MEDVDEDEV, M. BIRKAS, E. DUMITRU, T. E. LYNDINA, T. E. ROUSSEVA, E. FULAJTAR, Effect of soil compaction on root growth and crop yield in central and eastern Europe. *Int. Agrophys.*, 17 (2003b) 61 - 69

[23] - M. A. TABOADA, C. R. ALVAREZ, Root abundance of Maize (*Zea mays* L.) in conventionallytilled and zero tilled soils of Argentina. *Cienc. Suelo,* 32 (2008) 2 - 11

[24] - L. ALESSA, C. G. EARNHART, Effect of soil compaction on root and root hair morphology: Implications for campsite rehabilitation. USDA *Forest Serv. Proc.* RMRS, 5 (2000) 99 - 104

[25] - F. LECOMPTE, H. OZIER-LAFONTAINE, L. PAGES, An analysis of growth rates and directions of growth of primary roots of field-grown banana trees in an andisol at three levels of soil compaction. *Agron.*, 23 (2003) 209 - 218

[26] - S. HONG-BO, C. LI-YE, A. J. CHERUTH, Z. CHANG-XING, Water déficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C R biol.*, 331 (3) (2008) 215 - 225

[27] - R. T. A. HAKKELING, S. DIATTA, E. M. A, SMALLING, Response of upland rice to soil and hydromorphical conditions on a foot slope in central Ivory Coast. *Geod.,* 59 (1993) 45 - 56

[28] - R. ALONI, M. LANGHANS, E. ALONI, C. I. ULLRICH, Role of cytokinin in the regulation of root gravitropism. *Planta.*, 220 (1) (2004) 77 - 82

[29] - A. N. FAMOSO, K. ZHAO, R. T. CLARK, C. W. TUNG, M. H. WRIGHT, C. BUSTAMANTE, L. V. KOCHIAN, S. R. MCCOUCH, Genetic architecture of aluminum tolerance in rice (Oryza sativa) determined through genome-wide association analysis and QTL mapping. *PLoS Genet,* 7 (8) (2011) e1002221 doi: 10.1371/journal.pgen.1002221

[30] - Y. UGA, K. SUGIMOTO, S. OGAWA, J. RANE, M. ISHITANI, N. HARA, Y. KITOMI, Y. INUKAI, K. ONO, N. KANNO, H. INOUE, H. TAKEHISA, R. MOTOYAMA, Y. NAGAMURA, J. WU, T. MATSUMOTO, T. TAKAI, K. OKUNO, M. YANO, Control of root system architecture by *DEEPER ROOTING 1* increases rice yield under drought conditions. *Nat Genet* 45, (2013) 1097 - 1102

[31] - M. MEIJON, S. B. SATBHAI, T. TSUCHIMATSU, W. BUSCH, Genome-wide association study using cellular traits identifies a new regulator of root development in Arabidopsis. *Nat Genet,* 46 (2014) 77 - 81

[32] - L. GAO, Z. JIN, Y. HUANG, L. ZHANG, Rice clock model : a computer model to simulate rice development. *Agric. Forest Mete*, 60 (1 - 2) (1992) 1 - 16

[33] - B. KONÉ, E. YOBOUÉ, G. L. AMADJI, K. R. N'GANZOUA, Root and Grain Yield as Affected by Soil Nutrient Deficiency and Fertilizer in Rainfed Rice Cultivation. In: *Advanced fertilizer technology*, Vol 2. Studium Press LLC, USA, India, (2014a) 213 - 219

[34] - R. GAMUYAO, J. H. CHIN, J. PARIASCA-TANAKA, P. PESARESI, S. CATAUSAN, C. DALID, I. SLAMET-LOEDIN, E. M. TECSON-MENDOZA, M. WISSUWA, S. HEUER, The protein kinase Pstol1 from traditional rice confers tolerance of phosphorus deficiency. *Nature,* 488 (2012) 535 - 539

[35] - J. LOPEZ-BUCIO, A. CRUZ-RAMIREZ and L. HERRERA-ESTRELLA, The role of nutrient availability in regulating root architecture. Curr. Opin. *Plant Biol.*, 6 (3) (2003) 2807 p.

[36] - A. GOJON, P. NACRY, J. C. DAVIDIAN, Root uptake regulation : a centralprocess for NPS homeostasis in plants. Curr. Opin. *Plant Biol.,* 12 (3) (2009) 328 - 338

[37] - E. F. AKASSIMADOU, A. YAO-KOUAME, Caractéristiques morpho-pédologiques et potentiels d'un sol de bas-fond secondaire développé sur granito-gneiss en région de savane guinéenne (Centre de la Côte d'Ivoire) *J. Appl. Biosci.*, 79 (2014) 6968 - 6982