

CARACTÉRISATION DE LA TOLÉRANCE DE NERICA À LA SÉCHERESSE DE MI-SAISON EN RIZICULTURE PLUVIALE

B. KONÉ, J.B. ETTIEN¹, G. AMADJI² et S. DIATTA

West Africa Rice Center-WARDA, BP 2031 Cotonou, Cotonou, Bénin

¹Université de Cocody, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, laboratoire de Pédologie Appliquée, 22 BP 582 Abidjan 22, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, BP: 499 Calavi. République du Bénin

(Received 3 January, 2008; accepted 27 24 May, 2008)

RÉSUMÉ

Pour évaluer et renforcer le niveau de tolérance du Nouveau Riz pour l'Afrique (NERICA) à la sécheresse de mi-saison en zone tropicale humide, des essais avec privation d'éléments nutritifs avaient été conduits pendant deux ans sur un sol en terre de barre en Niaouli au Sud du Bénin. Un traitement complet d'engrais (Fc) comportant N, P, K, Ca, Mg et Zn, ainsi que les traitements avec privations spécifiques (Fc-N, Fc-P, Fc-K, Fc-Ca, Fc-Mg, Fc-Zn) ont été évalués sur la croissance et les rendements de NERICA 4. La sécheresse a été exprimée par les précipitations annuelles moyennes de 0 - 40 mm avec une évaporation s'étendant de 2.39 à 4.20 mm pendant la période allant de juillet à août chaque année. Il y avait un niveau significatif de tolérance à la sécheresse dans les traitements avec omission de N, Mg, Zn et Ca. Ces traitements ont eu ainsi des rendements élevés en grain avec un nombre réduit de talles, particulièrement dans la condition de sécheresse sévère. Ainsi il a été recommandé l'usage d'engrais de fond contenant du P et du K pour la production du riz NERICA sous le régime pluviométrique bimodal.

Mots Clés: Engrais de fond, sécheresse de mi-saison, NERICA, culture de riz

ABSTRACT

To evaluate and reinforce the level of tolerance of New Rice for Africa (NERICA) to midseason drought stress in tropical humid zone, nutrient-omission trials were conducted during two years on *terre de barre* soil at Niaouli, in southern Benin. A complete fertiliser treatment (Fc) comprising N, P, K, Ca, Mg and Zn and treatments with specific nutrient-omission (Fc-N, Fc-P, Fc-K, Fc-Ca, Fc-Mg, Fc-Zn) were evaluated on the growth and yields of NERICA 4. Drought was expressed by mean annual rainfall of 0–40 mm with evaporation ranging from 2.39 to 4.20 mm during the period from July to August every year. There was a significant level of drought tolerance in treatments with omission of N, Mg, Zn and Ca. These treatments had higher grain yields with reduced number of tillers especially under severe drought condition. Thus, it was recommended to use basal fertiliser containing P and K for NERICA rice production under bimodal rainfall pattern.

Key Words: Basal fertiliser, midseason drought, NERICA, rice cultivation

INTRODUCTION

Dans la zone tropicale humide de l'Afrique, la question du besoin en eau de la plante a surtout été posée en terme d'une plus grande valorisation de l'humidité du sol par les cultures

comme l'ont été les travaux de Tardieu et Manichon (Tardieu et Manichon, 1986.) ou de Chopart (Chopart, 1990) alors qu'en zone semi-aride et méditerranéenne, des études de l'effet de la sécheresse sur les cultures ont eu lieu (Cooper *et al.*, 1987; Gregory, 1989; Kouyaté et Wendt,

1991). Cela devrait être une conséquence d'une pluviométrie suffisante pour l'agriculture pluviale.

Avec la réduction continue de la pluviométrie mondiale (MacCracken and Luther, 1985.), cette zone est de plus en plus susceptible à des déficits hydriques importants, notamment en Afrique de l'Ouest. En effet, durant les cinquante dernières années, cette partie de l'Afrique a subi la plus forte réduction pluviométrique au monde (CNRS, 2000). De ce fait, la sécheresse de mi-saison du régime pluviométrique bimodal de l'Afrique de l'Ouest est devenue de plus en plus intense, constituant une contrainte majeure pour les cultures strictement pluviales. Cette situation fragilise la riziculture qui y est à 80 % dépendante de la pluviométrie (Audebert *et al.*, 1999).

À cette réduction pluviométrique, s'ajoute une grande variabilité pluviométrique (De Datta and Vergara, 1975; MacCracken and Luther, 1985) limitant la flexibilité des dates de semis, obligeant ainsi la riziculture pluviale à faire face à la sécheresse de mi-saison, occasionnant des réductions drastiques des rendements en grain (Garrity and O'Toole, 1995; Lafitte, 2002). D'où la nécessité d'améliorer la tolérance du riz à cette sécheresse.

Les travaux réalisés notamment sur le riz d'origine asiatique (*Oriza sativa*), ont démontré une tolérance variétale à la sécheresse (Price and Courtois, 1999; Lafitte *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2005) et l'importance du système racinaire du riz (Cook *et al.*, 1997; Cairns *et al.*, 2004.). Bien que l'effet positif de la densité de semis du riz soit également montré par Mingsheng *et al.* (2005), les pratiques agronomiques pouvant améliorer la tolérance des cultures à la sécheresse restent encore limitées (Lafitte *et al.*, 2004), notamment pour la zone tropicale humide de l'Afrique. À cet effet, la gestion de la fertilité des sols peut être une bonne réponse car des résultats encourageants ont été obtenus en zone semi-aride sur d'autres cultures (Gandah *et al.*, 2003.). En plus, les sols de la zone tropicale humidité sont d'une fertilité faible (Van Herwaarden, 1996). Malheureusement, les résultats obtenus en zone semi-aride n'y sont pas extrapolables car la tolérance à la sécheresse se fait selon les variétés cultivées et le climat (Cooper *et al.*, 1987).

L'avènement du nouveau riz pour l'Afrique-NERICA renforce cette exigence pour la riziculture. En effet, hormis les travaux de Fujii *et al.* (2004) basés sur la production de matière sèche des NERICA, il existe peu de documentation sur la production en grain de ce riz en condition de stress hydrique.

Par ailleurs, la sécheresse aurait un impact sur le besoin de la plante en nutriments de même que des effets contradictoires de certains nutriments ont été observés sur la tolérance de certaines cultures à la sécheresse (Tardieu *et al.*, 2006). D'où la nécessité d'évaluer l'effet des nutriments essentiels à la nutrition minérale du riz (Dobermann and Fairhurst, 2000) sur sa tolérance à la sécheresse de mi-saison de l'Afrique de l'Ouest, notamment pour le NERICA.

À cet effet, l'usage du fumier aurait été une bonne solution. Malheureusement, il n'est pas disponible en quantité suffisante (Onken and Wendt, 1989), obligeant l'usage de la fumure minérale qui offre aussi, l'avantage d'évaluer l'effet spécifique de chaque nutriment.

C'est pourquoi, cette étude se propose d'évaluer l'effet de différentes fumures de base (F.B) sur la tolérance de la variété de riz NERICA4 à la sécheresse de mi-saison en Afrique de l'Ouest (Bénin) en identifiant le mécanisme mis en jeu. Par un essai soustractif dont la fumure complète a été composée de N, P, K, Ca, Mg et Zn, son développement végétatif et son rendement ont été évalués sous un régime pluviométrique bimodal afin de recommander une composition optimale de F.B pour les sols acides tels que les terres de barre (T.B).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site de l'étude. L'étude a lieu à Niaouli (6°44 N ; 2° 07 O, 81 m) dans le Sud Bénin sur un sol ferrallitique (Acrisol) nommé terre de barre (TB). C'est un sol très profond (> 3 m) avec un profil homogène sans cuirasse ni gravier sur une grande étendue géographique homogène au Sud Bénin. C'est une zone de la savane côtière qui longe l'atlantique avec des îlots de forêts. L'expérimentation a été précédée d'une jachère de 5 ans dominée par *Chromolena odorata* sur le

sommet du paysage de plateau avec une pente estimée entre 0 et 2 %.

Mise en place de l'essai. Huit cents mètres carrés (800 m²) de jachère ont été coupés à la machette et débarrassés des résidus végétaux. En 2005, le terrain a été labouré et pulvérisé aux disques avant la mise en place des parcelles élémentaires (3 m × 5 m). En 2006, la préparation du terrain a été faite exclusivement à la houe. N, P, K, Ca, Mg, et Zn ont été apportés chaque année comme le traitement de la fumure complète (Fc) et un nutriment a été soustrait de Fc pour chacun des autres traitements (Fc-N, Fc-P, Fc-K, Fc-Ca, Fc-Mg, Fc-Zn). Les sources d'engrais ont été respectivement l'urée (N), le Triple Super phosphate-TSP (P), KCl (K), SO₄Ca (Ca), SO₄Mg (Mg) et SO₄Zn (Zn). Huit traitements dont Fc et le témoin à blanc (0) ont été ainsi appliqués en F.B avec les doses respectives de 30 kg N ha⁻¹, 100 kg P ha⁻¹, 100 kg K ha⁻¹, 50 kg Ca ha⁻¹, 50 kg Mg ha⁻¹ et 10 kg Zn ha⁻¹. Les semis ont lieu le 3 juin 2005 et le 15 mai 2006 dans un dispositif de bloc complet randomisé à quatre répétitions. Au tallage et à l'épiaison du riz, 35 kg N ha⁻¹ ont été apportés chaque fois. Les micros parcelles de 5 x 3 m ont été espacées de 0,5 m et disposées en 4 blocs (Répétitions) espacés de 1,5 m les uns des autres.

Variété de riz. La variété du Nouveau riz pour l'Afrique 4 - NERICA 4 a été semée par poquets de trois grains espacés de 20 cm x 20 cm. C'est une variété de riz de plateau à cycle court issue du croisement de WAB 56-104 (*O. sativa* L.) d'origine asiatique et de CG 14 (*O. glaberrima* L.) d'origine africaine. Sa hauteur moyenne peut atteindre 120 cm et elle talle entre 21 et 45 jours après la germination (J.A.G). Puis s'en suit l'initiation paniculaire (45-50 J.A.G), l'épiaison (50 – 60 J.A.G), 50 % de sa floraison entre 70 et 75 J.A.G ainsi que le remplissage des grains autour de 80 – 85 J.A.G. On assiste à la maturité entre 95 et 100 J.A.G avec un rendement potentiel de 5 t ha⁻¹ à la récolte (ADRAO, ADRAO-Centre du riz pour l'Afrique, 2006).

Analyse du sol. Avant l'essai, un échantillon composite du sol a été prélevé à la tarière dans l'horizon 0 – 20 cm de chaque micro parcelle, puis

séché à l'air libre avant d'être broyé et tamisé (2 mm) pour les analyses en laboratoire. La mesure du pH (eau), les analyses granulométriques ainsi que celles des teneurs du sol en C, N, P, K, Ca et en Mg ont été réalisées comme décrits par *American Society of Agronomy (ASA)* et *Soil Sciences Society of America (SSSA)* (ASA and SSSA, 1982; 1986).

Collecte des données sur la plante. Un mètre carré a été délimité dans chaque micro parcelle pour le comptage du nombre de talles du riz pendant le tallage maximum (45 J.A.G). À la maturité, le nombre de panicules et la hauteur des plantes ont été mesurés, puis le riz a été récolté dans 8 m² de chaque micro parcelle en laissant deux lignes de bordure. Le rendement en grain (R.G) a été obtenu pour 14 % d'humidité des grains pesés pour 8 m². Le rendement en paille (R.P) l'a été avec le rapport du poids sec de la paille obtenu après le battage sur la surface de récolte (8 m²) pour déterminer le rendement et les écarts de rendement.

Évaluation de la sécheresse et de son effet. Les données journalières de la pluie et de l'évaporation ont été relevées respectivement à l'aide d'un pluviomètre et d'un bac A pour la mise en évidence de la sécheresse pendant l'expérimentation à l'aide d'une représentation graphique de décades mensuelles (diagrammes ombrothermiques).

À partir des R.G obtenus par traitement, les écarts de rendement ($\Delta R.G$) ont été calculés entre chacun des traitements (Fx) et Fc en 2005 et 2006 pour évaluer l'effet de l'exclusion des nutriments spécifiques sur R.G afin d'identifier les fumures pouvant induire des écarts de rendement significatifs. Les fumures ayant induit les R.G et des $\Delta R.G$ les plus élevés ont été considérés comme celles ayant induit une tolérance à la sécheresse. $\Delta R.G$ a été calculé comme suite:

$$\Delta R.G = R.G(Fx) - R.G(Fc) \dots\dots\dots (1)$$

R.G(Fc), R.G(Fx) et R.G(0) étant respectivement les R.G obtenus dans les traitements de Fc, d'un traitement autre que Fc et celui de 0.

Les relations entre R.G et les paramètres végétatifs (talles et hauteur) et RG ont permis

d'évaluer un mécanisme morphologique de la tolérance à la sécheresse.

Analyses statistiques. Des analyses de variances générales des variables Hauteur, Talle, Panicule, R.G, M.S, E.A.R et Δ R.G ont été faites en considérant l'interaction Trait \times An en facteur et la répétition en bloc. L'effet des facteurs (An., Trait. et Trait. \times An) a été évalué par la probabilité F à l'aide du logiciel GenStat 3. Les valeurs moyennes des variables ayant une probabilité significative ont été présentées.

Des analyses de corrélation de Pearson ont été également effectuées par groupe (4) de traitements pour la mise en évidence des relations entre les paramètres végétatif (Hauteur et Talle) de la plante et le R.G par année. Les probabilités ont été évaluées au seuil de $\alpha = 0,05$ en utilisant le logiciel SAS.

RÉSULTATS

Caractéristiques climatiques et pédologiques du site. La Figure 1 montre les distributions pluviométriques moyennes mensuelles de 34 ans (1970–2004) ainsi que celles des deux années (2005 et 2006) de l'expérimentation. Elle confirme le caractère bimodal de pluviométrie de Niaouli et révèle des variabilités spécifiques à chaque année de l'expérimentation. En effet, le premier pic pluviométrique a été observé en juin pour la moyenne de 34 ans alors qu'il a été observé dans le mois de mai en 2005 et 2006. D'autre part, la sécheresse de mi-saison (petite sécheresse) advenue pendant les mois de juillet et août, est devenue plus rude que l'observation moyenne de 34 ans, avec des pluviométries de plus en plus faibles en 2005 et 2006. Les semis du 03 juin 2005 et du 15 mai 2006 ont donc exposé le riz à de

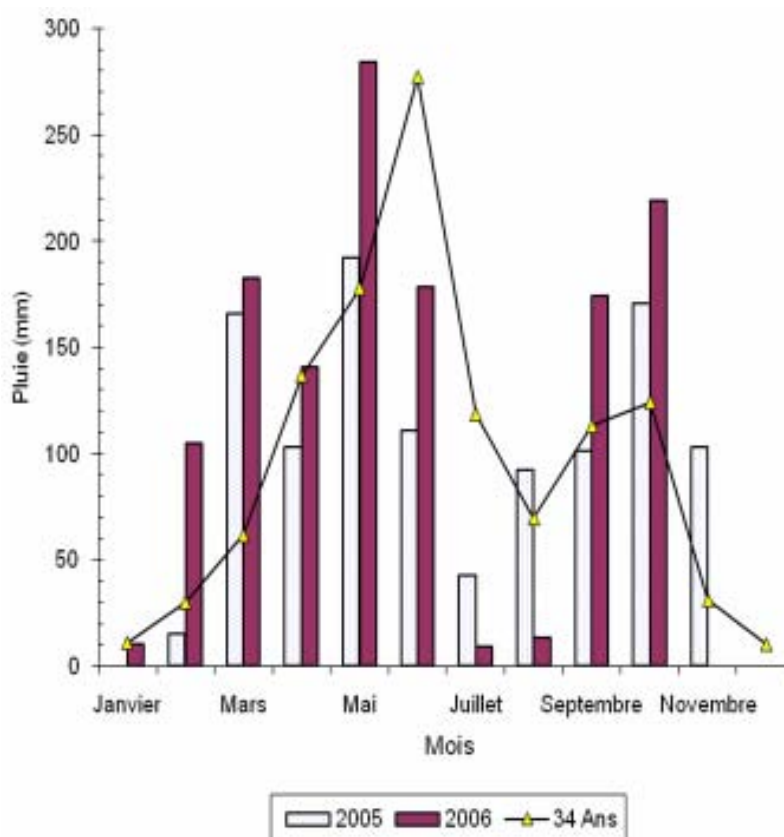


Figure 1. Distribution pluviométrique mensuelle de Niaouli en 2005, 2006 et pendant 34 ans.

faibles pluviométries mensuelles variant en dessous de 50 mm durant cette période. Le cumul de juillet à août 2006 a été de 41,7 mm alors que 135 mm ont été enregistrés en 2005 à la même période attestant d'une plus grande indisponibilité de l'eau pendant la petite sécheresse en 2006.

La Figure 2 montre la distribution des pluies et l'évolution de l'évaporation (Evp) par décennie mensuelle en 2005 (a) et 2006 (b) durant le cycle de NERICA4. On note des décades sans aucune hauteur de pluie alors que l'évaporation a été supérieure ou égale à 3 mm en 2005 et à environ 3 mm en 2006. Cela montre l'existence d'un déficit hydrique intermittent pendant les deux années de l'expérimentation. Cette situation aurait des effets aggravés sur le riz à cause de la texture grossière du sol, de son acidité (pH = 5) et du déséquilibre des cations (K : Mg ; Ca : Mg) ainsi que de la faible teneur en K (0,03 cmol.kg⁻¹) comme l'indique le Tableau 1.

Ces résultats permettent d'affirmer que l'expérimentation a lieu dans des conditions de disponibilité en eau limitée en 2005 et 2006 avec une plus grande intensité durant la dernière année. Le stress hydrique occasionné a probablement été renforcé par des caractéristiques pédologiques défavorables à une tolérance des plantes à la sécheresse.

Tolérance à la sécheresse. Le Tableau 2 montre les valeurs moyennes de Talle, R.G et de Δ R.G chaque année ainsi que leurs valeurs moyennes générales des deux années dans chacun des traitements. Des différences significatives (>LSD₀₅) s'observent entre les valeurs moyennes de chaque variable selon les traitements. On note que les valeurs moyennes de Talles et de R.G ont été plus grandes en Année 1 (2005) qu'en Année 2 (2006) exprimant une variabilité interannuelle des observations.

En 2005, les Δ R.G ont été négatifs à l'exception de la valeur de Fc-Ca, indiquant un gain de R.G en Fc par rapport aux autres fumures. Le traitement Fc-Ca ayant plutôt réalisé un gain par rapport à Fc de même qu'il a induit le nombre de talles (273) le plus grand. Par contre, Fc-K a induit un tallage moyen avec un R.G faible, similaire à celui du témoin 0. On peut alors déduire

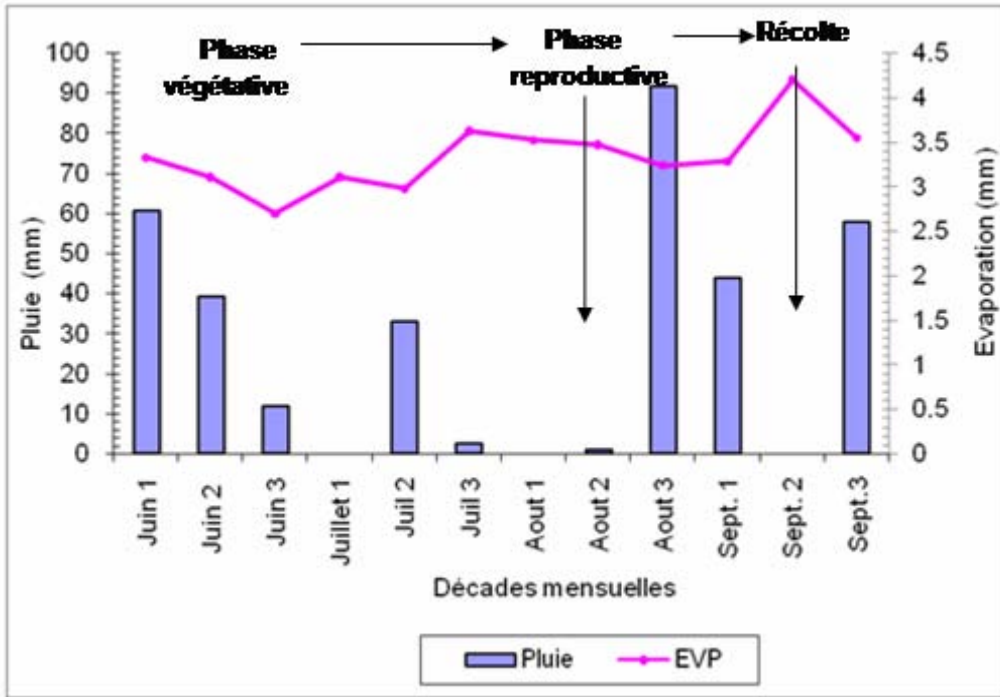
que NERICA4 a présenté une plus grande tolérance à la sécheresse avec exclusion de Ca de la fumure alors que l'exclusion de K a réduit cette tolérance. Des effets moyens de Fc et des autres F.B ont été observés sur cette tolérance sur la base des R.G et Δ R.G obtenus. Ces résultats indiquent au moins la nécessité d'exclure le Ca de la F.B et d'y inclure K pour avoir des R.G élevés dans les conditions pluviométriques de 2005 sur terre de barre.

D'autre part, malgré l'obtention des plus faibles R.G en 2006, des valeurs positives de Δ R.G ont été obtenues dans tous les traitements à l'exception de celles obtenues dans les traitements Fc-P et Fc-K qui ont également induit les plus faibles R.G. Une valeur nulle de Δ R.G a été obtenue en Fc-Ca indiquant des R.G identiques en Fc-Ca et Fc. Au contraire, Fc-Mg et Fc-N ont induit des R.G supérieurs à celui de Fc de façon significative. Malgré un gain (Δ R.G) de R.G d'une valeur de 0,10 t ha⁻¹ en Fc-Zn par rapport à Fc, des R.G statistiquement similaires ont été obtenus entre les deux traitements de même qu'en 0. On peut donc admettre que l'exclusion de Zn a provoqué un renforcement de la tolérance du riz à la sécheresse dans une certaine mesure. De ce fait, dans les conditions climatiques de Niaouli en 2006, l'exclusion de Ca, Mg, Zn et N de la F.B se justifie alors que P et K doivent être inclus.

Mécanismes de tolérance. Le Tableau 3 montre les coefficients de corrélation (R²) entre Talle, hauteur et R.G en 2005. On note une valeur de R² (0,970) élevée de façon significative (P = 0,029) entre Talle et Hauteur en Fc-N. De même, une forte corrélation [R² (0,964)] s'observe entre Hauteur et R.G de façon significative (P = 0,035). Aucune corrélation significative n'a été observée en Hauteur ou Talle avec RG. De ce fait, il est difficile d'établir une relation significative entre R.G et le développement végétatif de NERICA4 sous l'influence de F.B.

Cependant, en Fc-Ca où une meilleure tolérance à la sécheresse il a été noté (gain en RG) en 2005, les valeurs de R² sont de 0,590 entre Talle et R.G et de 0,908 entre Hauteur et RG avec une probabilité (P < 0,10) pour les seconds. Cela impliquerait qu'un bon développement végétatif

a)



b)

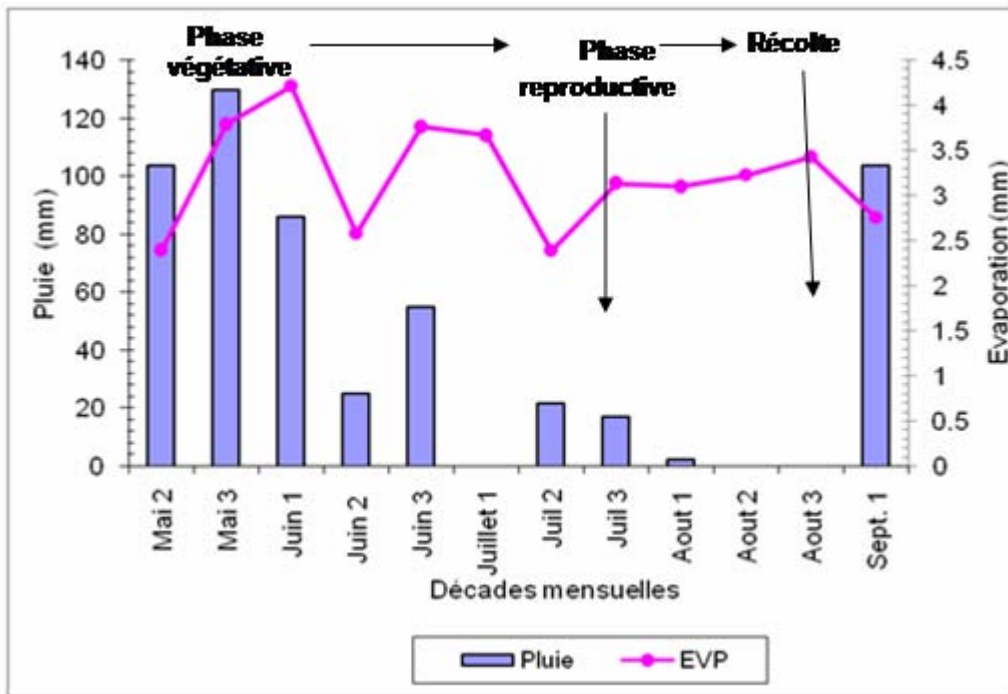


Figure 2. Diagramme ombrothermique durant l'essai en 2005 (a) et 2006 (b).

incluant un bon tallage et une grande hauteur pourrait renforcer la tolérance de NERICA4 à la sécheresse de 2005.

Le Tableau 4 montre les valeurs de R^2 entre Talle, Hauteur et R.G pour chaque traitement en 2006. Aucune probabilité significative n'a été notée entre Talle et Hauteur. Dans les traitements Fc (0,952) et Fc-K (0,958) des corrélations significatives ($P < 0,05$) ont été notées entre Hauteur et RG de même qu'en Fc-Ca (-0,954) et 0 (0,965) les variables Talle et RG ont eu des corrélations significatives ($P < 0,05$). Parmi ces traitements ayant des R^2 significatifs, seul Fc-Ca a été reconnu comme ayant induit une tolérance de NERICA4 à la sécheresse de 2006. Or, à l'exception de Fc-Zn, les autres traitements (Fc-Mg et Fc-N) qui ont aussi induit une tolérance de NERICA4 à la sécheresse de 2006, ont eu des R^2 négatives (-0,544 et -0,875) entre Talle et RG comme en Fc-Ca. Cela permet d'attester de l'impact du tallage sur la tolérance de NERICA4 à la sécheresse en 2006.

Une tolérance liée à la hauteur du riz étant peu probable en 2006 car les R^2 significatifs n'ont été observés qu'en Fc-K et Fc entre les variables Hauteur et R.G. Alors que ces traitements n'ont pas induit des R.G élevés.

Ces résultats permettent d'envisager une variabilité des relations qui lient le développement végétatif du riz et son rendement sous l'influence de la fertilité du sol en condition de sécheresse. Ils peuvent constituer une base de recherche sur

TABLEAU 1. Caractéristiques physico-chimiques de l'horizon 0-20 cm du sol de Niaouli

Caractéristiques du sol	Teneurs
Argile (g kg ⁻¹)	160
Sable (g kg ⁻¹)	750
Limon (g kg ⁻¹)	90
pH eau	5
C (g kg ⁻¹)	16,5
N (g kg ⁻¹)	0,4
C : N	41,25
P (cmol kg ⁻¹)	10
Ca (cmol kg ⁻¹)	2,18
Mg (cmol kg ⁻¹)	1,36
K (cmol kg ⁻¹)	0,03
K : Mg	1 : 45
Ca : Mg	3 : 2

TABLEAU 2. Valeurs moyennes des variables à effet significatif du traitement et/ou de son interaction avec l'année

Traitements	Année 1(2005)			Année 2 (2006)			Moyenne		
	Talle Nbre m ⁻¹	R.G(t ha ⁻¹)	ΔR.G (t ha ⁻¹)	Talle Nbre m ⁻¹	R.G(t ha ⁻¹)	ΔR.G (t ha ⁻¹)	Hauteurcm	Talle Nbre m ⁻¹	R.G(t ha ⁻¹)
Fc-Mg	240b	1,93ab	-0,06ab	104ab	0,60b	0,26b	85,20a	172ab	1,25ab
Fc-Zn	255ab	1,80ab	-0,20ab	119a	0,40bc	0,10bc	81,20a	187a	1,10b
Fc-P	253ab	1,90ab	-0,10ab	106ab	0,20c	-0,14c	80,55ab	180a	1,05b
Fc-Ca	273a	2,05a	0,06a	120a	0,30bc	0,00bc	80,40ab	196a	1,20ab
Fc	216bc	2ab	-	117a	0,30bc	-	78,00ab	167ab	1,15b
Fc-N	204c	1,75ab	-0,23ab	81b	1,05a	0,74a	76,70b	143b	1,40a
0	174c	1,60b	-0,41b	72b	0,40bc	0,10bc	73,60b	123b	1b
Fc-K	271ab	1,70b	-0,28ab	101ab	0,25c	-0,05c	73,45b	186a	1b
LSD ₀₅ R ² -Talle	331	0,350,48	0,410,66	331	0,35-0,51	0,41-0,48	7,210,48	23,281	0,24-0,104

- : ΔR.G n'est pas calculé pour Fc

TABLEAU 3. Corrélation entre la hauteur, le nombre de talles (Talles) et le rendement en grain de riz (R.G) selon les traitements en 2005

		Hauteur		Talles		R.G	
		R ²	Prob.	R ²	Prob.	R ²	Prob.
Fc	Talle	0,312	0,687	1	.	-0,271	0,721
	Hauteur	1	.	0,312	0,687	0,753	0,246
Fc-Ca	Talle	0,528	0,471	1	.	0,590	0,409
	Hauteur	1	.	0,528	0,471	0,908	0,091
Fc-K	Talle	0,069	0,930	1	.	-0,505	0,494
	Hauteur	1	.	0,069	0,930	0,811	0,188
Fc-Mg	Talle	0,258	0,741	1	.	0,582	0,417
	Hauteur	1	.	0,258	0,141	0,453	0,546
Fc-N	Talle	0,970	0,029	1	.	0,111	0,888
	Hauteur	1	.	0,970	0,029	0,123	0,876
Fc-P	Talle	-0,687	0,312	1	.	-0,853	0,146
	Hauteur	1	.	-0,687	0,312	0,964	0,035
Fc-Zn	Talle	0,482	0,517	1	.	-0,291	0,708
	Hauteur	1	.	0,482	0,517	0,516	0,483
0	Talle	-0,663	0,336	1	.	-0,609	0,390
	Hauteur	1	.	-0,663	0,336	0,393	0,606

L'effectif = 4 par traitement

L'amélioration des connaissances des mécanismes de la tolérance des cultures à la sécheresse vu une probable variabilité : lorsque le cumul pluviométrique de la période de sécheresse atteint 130 mm (2005), un plus grand développement végétatif de la plante serait nécessaire pour une bonne tolérance à la sécheresse alors qu'autour de 45 mm (2006), une réduction de la biomasse suite à un faible tallage répond à ce besoin. Dans un cas ou l'autre, l'exclusion de Ca de la fumure a induit une tolérance à la sécheresse en dépit de son importance en agriculture sur les sols acides.

Les analyses de cette étude révèlent donc une variabilité du mécanisme de la tolérance à la sécheresse chez NERICA selon l'intensité de la sécheresse de mi-saison et la fertilité du sol. Des mécanismes liés à la morphologie du riz et à sa nutrition en Ca sont mis en cause.

DISCUSSION

Les irrégularités pluviométriques observées à partir du mois de mai ont constitué un grand handicap aux possibilités de flexibilité de la date de semis dès lors que cette irrégularité serait plus grande en mars et avril malgré la pluviométrie observée (>100 mm) comme déjà montré dans la sous région par Lal *et al.* (1980). Ainsi, le NERICA4 a subi un stress hydrique certain durant l'expérimentation compte tenu de son évapotranspiration variant de 4 à 4,5 mm par jour (Ogan, 2007). A cela, s'ajoute les caractéristiques physico-chimiques des terres de barre, dont les déficiences en P et K déjà révélés pour certaines espèces végétale (Zech et Kaupenjohann, 1990) pourraient réduire la tolérance de NERICA4 au stress hydrique conformément aux travaux de Onken et Wendt (1989). Par ailleurs, les

TABLEAU 4. Corrélation entre la hauteur, le nombre de talles (Talles) et le rendement en grain de riz (R.G) selon les traitements en 2006

		Hauteur		Talles		R.G	
		R ²	Prob.	R ²	Prob.	R ²	Prob.
Fc	Talle	-0,894	0,105	1	.	-0,722	0,277
	Hauteur	1	.	-0,894	0,105	0,952	0,047
Fc-Ca	Talle	0,234	0,765	1	.	-0,954	0,045
	Hauteur	1	.	0,234	0,765	-0,149	0,850
Fc-K	Talle	0,536	0,463	1	.	0,577	0,423
	Hauteur	1	.	0,536	0,463	0,958	0,041
Fc-Mg	Talle	-0,571	0,428	1	.	-0,544	0,455
	Hauteur	1	.	-0,571	0,428	0,524	0,475
Fc-N	Talle	-0,433	0,566	1	.	-0,875	0,124
	Hauteur	1	.	-0,433	0,566	0,614	0,385
Fc-P	Talle	-0,210	0,789	1	.	-0,327	0,672
	Hauteur	1	.	-0,210	0,789	-0,634	0,365
Fc-Zn	Talle	-0,417	0,582	1	.	0,375	0,624
	Hauteur	1	.	-0,417	0,582	0,670	0,330
0	Talle	0,327	0,672	1	.	0,965	0,034
	Hauteur	1	.	0,327	0,672	0,239	0,760
R ² (R.G et la profondeur racine*)						0,125 (P = 0,493)	

*étudiée uniquement en 2006

irrégularités pluviométriques observées pourraient être accompagnées d'une variabilité spatiale de l'humidité résiduelle du sol telle que montrée par Babalola (Babalola, 1978). Cela peut avoir induit une variabilité de l'effet des traitements, notamment sur $\bar{A}RG$. Toutefois, les sources de variation observées dans cette étude, permettent d'appuyer le concept de scénario climatique de la sécheresse (Chapman *et al.*, 2003) et d'ajouter l'effet de la fertilité du sol au sein d'un scénario climatique donné. D'où l'intérêt de prendre en compte des paramètres du sol dans la lutte intégrée contre la sécheresse. A cet effet, la correction de la déficience minérale du sol est nécessaire pour le renforcement de la tolérance des cultures à la sécheresse comme cela a été révélé par les effets de P et K sur RG de

NERICA4 à Niaouli. Cependant, seul le besoin d'appliquer K s'est avéré régulier en 2005 et 2006. Cela peut être attribué à son niveau de déficience exceptionnel dans les terres de barre comme décrit par Poss (1991) au Togo. La teneur des terres de barre en ce nutriment étant exceptionnellement bas parmi les sols africains. Cette analyse peut nous permettre de réduire les doses d'application de P (< 100 kg ha⁻¹). Cela est d'autant plus justifié que sa teneur dans le sol a été de 10 cmol. kg⁻¹ et que 2,6 g m⁻² de P suffiraient selon Oikeh *et al.* (2008) pour la production des NERICA. Par ailleurs, la nécessité d'appliquer ces nutriments se justifie par leur rôle dans la transpiration (K) et la reproduction (P) du riz (Dobermann and Fairhurst, 2000.). Ces résultats diffèrent de ceux (N, P et K) obtenus pour le mil par ICRISAT (1985)

au Niger sur Alfisol. On peut donc admettre qu'en Afrique de l'Ouest il faudrait appliquer N, P et K pour renforcer la tolérance des céréales à la sécheresse.

Les mécanismes de tolérance semblent liés au développement végétatif de la plante avec un effet favorable de la hauteur sur cette tolérance dans des conditions de stress hydrique moins sévère alors qu'en condition sévère (<50 mm/mois) il y'a une réduction du tallage afin de renforcer la tolérance à la sécheresse. La relation observée entre RG et la hauteur en 2005 serait due à une réduction de l'évapotranspiration de la plante avec pour conséquence une réduction de la hauteur et de RG conformément aux travaux de Fernández *et al.* (2005). En effet, la réduction de l'évapotranspiration entraîne une réduction efficiente de l'eau, d'où son impact sur Hauteur et RG de façon concomitante. De ce point de vu, cette relation ne serait pas comme un mécanisme de tolérance à la sécheresse. Cependant, il a été noté un fort tallage dans le traitement Fc-Ca en 2005 en plus d'une valeur de $R^2 > 0,50$ entre les variables Talle et RG. Il y'a donc lieu de considérer l'augmentation du nombre de talles comme le mécanisme morphologique de la tolérance à la sécheresse. En effet, par une grande production de talles, la plante peut couvrir le sol et réduire l'évapotranspiration comme cela a été observé chez le Niébé (Hamidou *et al.*, 2007).

Par contre, en 2006, c'est l'effet de la réduction du nombre de talle qui aurait réduit la transpiration du riz, entraînant ainsi une économie de l'eau dans les tissus avec pour conséquence, l'augmentation de RG.

De ce fait, d'une année à l'autre, la tolérance à la sécheresse a été possible par un mécanisme lié à la morphologie (Talle) de la plante avec une variance liée à l'intensité de la sécheresse comme le confirme la Figure 3. Cela constitue une orientation pour la sélection variétale afin de développer des variétés tolérantes à des degrés de sécheresse. Il va s'en dire que l'on devrait identifier le seuil du stress hydrique pour lequel la réduction ou l'augmentation de talle devient un avantage pour la plante.

Cette étude révèle également un intérêt supplémentaire de Ca pour l'agriculture sur les sols acides par un renforcement de la tolérance à la sécheresse une fois exclus de la fumure. En

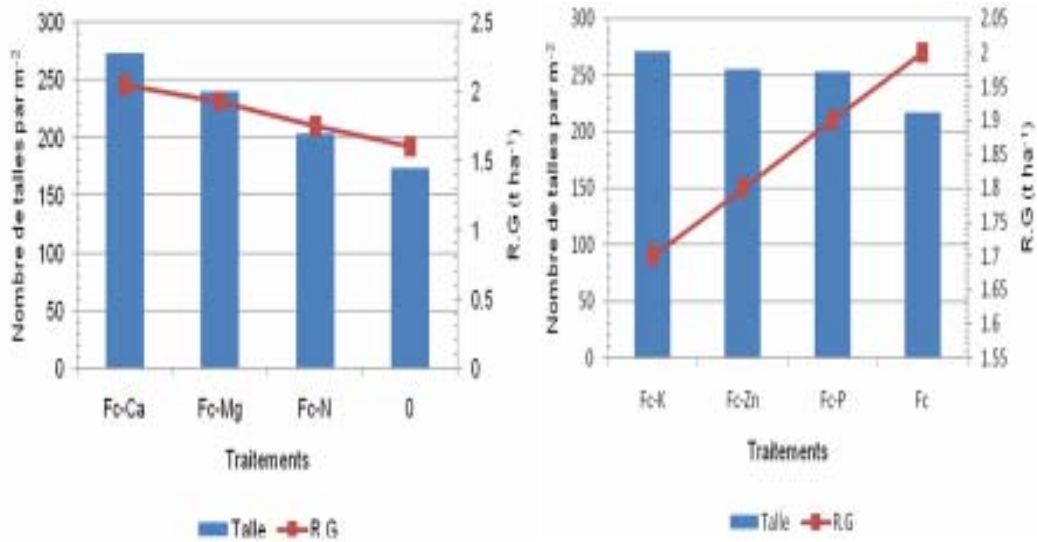
effet, ce nutriment est important pour le transfert des signaux enzymatiques chez le riz (Asano *et al.*, 2005). Ainsi, on peut prétendre que son exclusion aurait inhibé cette activité physiologique en renforçant la tolérance de NERICA4 à la sécheresse. Cependant, des effets contraires ont été observés chez d'autres variétés de riz (Saijo *et al.*, 2001). Le caractère interspécifique des NERICA peut être mis en cause dans cette contradiction. Il convient donc, d'approfondir les investigations quant aux mécanismes physiologiques de la tolérance des NERICA au stress hydrique, notamment sous l'influence de l'alimentation en Ca.

En outre, il a été constaté que l'exclusion de Mg ou N a renforcé la tolérance de NERICA4 à la sécheresse sur terre de barre. Cela peut être essentiellement une conséquence de leurs contributions dans la photosynthèse (Dobermann and Fairhurst, 2000).

D'autre part, en Fc-N, un tallage (143 m⁻¹) faible a été noté pour un R.G (1,40 t ha⁻¹) parmi les plus élevés. Cela renforce les arguments de l'influence du développement végétatif sur la tolérance du riz à la sécheresse conformément au coefficient de corrélation (-0,104) observée entre Talle et R.G moyens généraux. En outre, le résultat obtenu en Fc-N révèle l'existence d'une influence de type « effet *haying-off* » en riziculture comme cela a été observé chez le blé suite à une réduction des R.G avec l'application des doses croissantes de N en condition de sécheresse (Cantero-Martinez *et al.*, 1995; Van Herwaarden, 1996). Cela peut constituer une connaissance supplémentaire de la gestion de la fumure azotée en riziculture pluviale, notamment en milieu tropical humide à pluviométrie bimodale : la fumure azotée doit être appliquée uniquement en fumure d'entretien.

La synthèse de l'analyse des résultats permet d'affirmer que NERICA4 a une aptitude à survivre à la sécheresse de mi-saison avec une tolérance significative lorsque N, Ca, Zn et Mg sont exclus de la fumure de base. Une réduction ou augmentation du tallage selon l'intensité de la sécheresse étant les mécanismes mis en jeu. L'application de P et K a été jugée nécessaire pour améliorer la riziculture pluviale sur les sols acides de l'AO sous le régime pluviométrique bimodal.

2005



2006

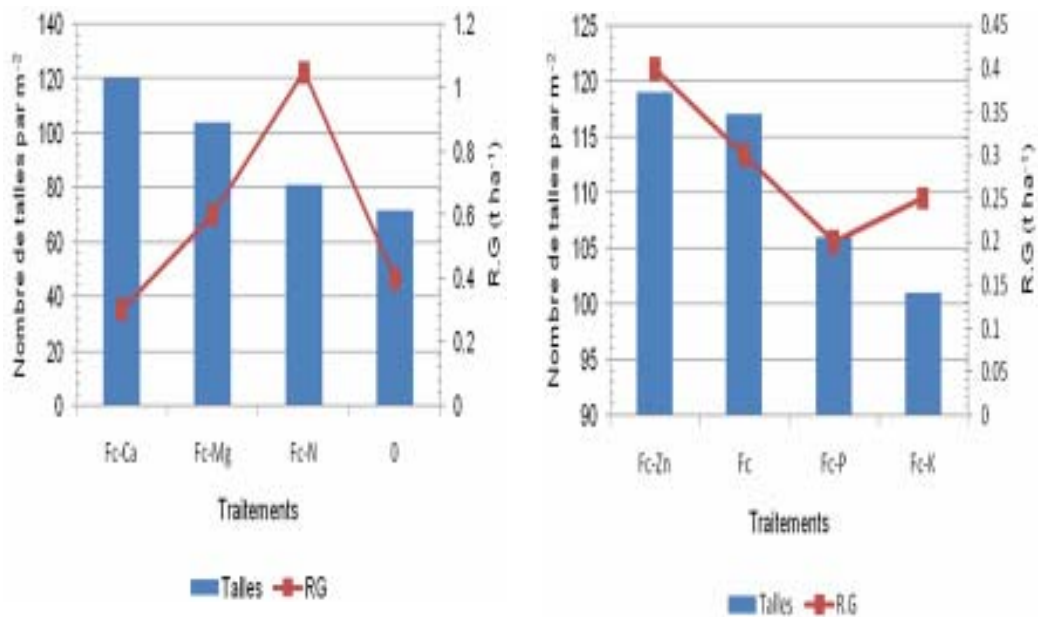


Figure 3. Relations entre l'évolution du nombre de talles et celle de R.G selon la fumure en 2005 et 2006.

RÉFÉRENCES

Audebert, A. Becker, M. and Johnson, D. 1999. Differential response of rice to hydrological conditions and agronomic management. *African Crop Sciences Journal* 4:107–111.

Asano, T. Tanaka, N. Yang, G. Hayashi, N. and Komatsu, S. 2005. Genome-wide identification of the rice Calcium-dependent protein Kinase and its closely related Kinase Gene Families: comprehensive analysis of the CDPKs Gene

- Family in rice. *Plant Physiology* 46 (2): 356–366.
- ASA and SSSA. 1982. *Method of soil Analysis Part 2 : Chemical and Microbiological Properties*. 2nd Edit. Agronomy 9, Madison. 1189 p.
- ASA and SSSA. 1986. *Method of soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. 2nd Edit. Agronomy 9, Madison. 1188 p.
- Cairns, J. E. Audebert, A. Townend, J. Price, A. H. Mullins, C. E. 2004. Effect of soil mechanical impedance on root growth of two rice varieties under field drought stress. *Plant and Soil* 267: 309–318.
- Cantero-Martinez, C. Villar, M. Romagosa, I. Fereres, E. 1995. Nitrogen fertilization of barley under semi-arid conditions. *European Journal of Agronomy* 4: 309–316.
- Chapman, S.C. Cooper, M. Podlich, D. Hammer, G.L. 2003. Evaluating plant breeding strategies by simulating gene action and dryland environment effects. *Agronomy Journal* 95: 99–113.
- Chopart, J. L. 1990. Variable effects of soil cultivation on maize production in the Ivory Coast as a function of conditions affecting water supply. *Proc. Climatic Risk in crop Production: Models and Management in the Semi-arid Tropics and Sub-tropics*. CSIRO, Australia. 104–105
- CNRS. 2000. La recherche française sur le climat : le cycle de l'eau-la Mousson d'Afrique de l'Ouest. Lettre n°11 de PIGB-PMRC, CNRS, Paris. En ligne: <http://www.cnrs.fr/dossiers/dosclim/rechfran/4them/cyclel'eau/moussonAfOuest.htm>. [21 Novembre 2007].
- Cook, A. Marriott, C. A. Seel, W. and Mullins, C. E. 1997. Does the uniform packing of sand in cylinder provide a uniform penetration resistance? A method for screening plants for responses to soil mechanical impedance. *Plant and Soil* 190: 279–287.
- Cooper, P.J.M. Gregory, P.J. Keating, J.D.H. and Brown, S.C. 1987. Effect of fertilizer, variety and location on barley production under rainfed conditions in northern Syria. 2. Soil water dynamics and crop water use. *Field crops Research* 16: 67–84.
- De Datta, S. K. and Vergara, B.S. 1975. Climates of upland rice regions. In IRRI (eds). *Major Research in Upland Rice*. International Rice Research Institute, Philippines: 14–26.
- Dobermann, A and Fairhurst, T. 2000. *Rice: Nutrient disorders & Nutrient Management*. 1st edition. Potash and Phosphate Institute, Phosphate Institute of Canada and International Rice Institute, Oxford. 191 p.
- Fernández, J. A. Balenzategui, L. Bañón S. and Franco, J. A. 2005. Introduction of drought tolerance by padobutrazol and irrigation deficit in *Phillyrea angustifolia* during the nursery period. *Scientia Horticulturae*, 107 (3): 277–283.
- Fujii, M. Ando, C. and Ishihara, S. 2004. Drought resistance of NERICA (New Rice for Africa) compared with *Oryza sativa* L. and millet by stomatic conductance and soil water content. *Proc. 4th International Crop Sciences Congress*. Brisbane, Australia.
- Gandah, M. Bouma, J. Brown, J. Hiernaux, P. and Van Duivenbooden, N. 2003. Strategies to optimize allocation of limited nutrients to sandy soils of the Sahel: a case study from Niger, West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 94: 311–319.
- Garrity, D and O'Toole, C. 1995. Selection for reproductive stage drought avoidance in rice, using infrared thermometry. *Agronomy Journal* 80: 773–779.
- Gregory, P. 1989. Water-use efficiency of crops in the Semi-Arid tropic. In C. R.J. Renard, Van Den Beldt, J.F.Parr (eds). *Soil, Crop, and Water Management in the Sudano-Sahelian Zone*. ICRISAT-International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Niamey: 85–98.
- Hamidou, F. Zombre, G. Diouf, O. Diop, N.N. Guinko, S. Braconnier, S. 2007. Physiological, biochemical and agromorphological response of five cowpea genotypes (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) to water deficit under glasshouse conditions. *Biotechnology Agron Soc Environ*. 11 (3): 225–234.
- ICRISAT. 1985. Effect of N, P, and K fertilizer on total dry matter, grain yield and WUE for crop of pearl millet (CIVT) grown at two sites during the rainy season. In P.J. Gregory (eds). *Water-use efficiency of crops in the Semi-Arid tropic*.

- ICRISAT-International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Niamey : 93–94.
- Kouyaté, Z. et Wendt, C.W. 1991. Gestion de l'eau et de la fertilité du sol au Mali. Proc. Soil water balance in Sudano-Sahelian Zone. ICRISAT, Niamey. IAHS Publ.199: 339–344.
- Lafitte, R. 2002. Relationship between leaf relative water content during reproductive stage water deficit and grain formation in rice. *Field Crop Research* 76: 165–174.
- Lafitte, H. Ismail, A. Bennett, J. 2004. Abiotic stress tolerance in rice for Asia: Progress and future. In: International Rice Research Institute-IRRI (eds). *New direction for diverse planet. Proc. of the 4th International Crop Sciences Congress*, Cropscience. Brisbane.
- Lal, R. Lawson, T.L. and Anastase, A. H. 1980. Erodibility of tropical rainfalls. In Debadt and M. Gbriel (eds). *Assessment of erosion*. J. Wiley & Sons, Chichester: 143–151
- MacCracken, C. and Luther, F. 1985. Projecting Projecting the Climatic Effects of Increasing Carbon dioxide. In C. MacCracken and F. Luther (eds). *Dioxide Report ER- DOE/ER-0237*. US Department of Energy, Washington DC:1–23.
- Mingsheng, Z. Youzhong, H. and Guoping, Z. 2005. Advances in research on the approaches of improving water utilization efficiency in rice. *Agriculture Science Filand* 4 (1): 65–74.
- Ogan, C.B. 2007. Impact du paillage et de la fumure minérale sur le bilan hydrique et la production du riz NERICA 4 sur un sol ferrallitique au Sud-Bénin. Mémoire de fin de formation DESS, Université d'Abomey-Calavi. 76 p.
- Oikeh, S.O. Nwilene, F. Diatta, S. Osiname, O. Toure, A. and Okeleye, K. A. 2008. Response of NERICA Rice to Nitrogen and Phosphorus in Forest Agroecology. *Agronomy Journal*, 100 (3): 735–741.
- Onken, A. Wendt, C. 1989. Soil Fertility Management and Water Relationships. In C. Renard, R. Van. Den Beldt, J. Parr. (eds). *Soil, Crop, and Water Management in the Sudano-Sahelian Zone*. ICRISAT-International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Niamey: 95–105.
- Poss, R. 1991. Transferts de l'eau et des éléments minéraux dans les terres de barre du Togo. Conséquences agronomiques. Thèse de Doctorat de pédologie, Université de Paris 6. Paris.335 p.
- Price, A. H. Courtois, B. 1999. Mapping QTLs associated with drought resistance in rice: progress, problems and prospects. *Plant Growth Regul*, 29 : 123–133.
- Saijo, Y. Kinoshita, N. Ishiyama, K. Hata, S. Kyoizukata, J. Hayakawa, T. Nakamura, T. Shimamoto, K. Yamaya, T. Izui, K. 2001. A Ca²⁺-Dependent protein Kinase that endows rice plants with cold-and-salt stress tolerance functions in vascular bundles. *Plant Cell physiology*, 42 (11): 1228–1233.
- Tardieu, F. et Manichon, H. 1986. Caractérisation en tant que capteur d'eau de l'enracinement du maïs en parcelle cultivée. II. – Une méthode en parcelle cultivée. Une méthode de la répartition verticale et horizontale des racines. *Agronomie*, 6 (5) : 415–425.
- Tardieu, F. Cruiziat, P. Durant, J. Triboï, E. Zivy, M. 2006. Perception de la sécheresse par la plante. Conséquences sur la productivité et sur la qualité des produits récoltés. In J. Amigues, P. Debaeke, G. Lemaire, B. Seguin, F. Tardieu, A. Thomas (eds). *Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau*. Expertise scientifique collective, Rapport, INRA, France: 49–67.
- Van Herwaarden, A. F. 1996. Haying-off in wheat, enduring myth or current problem? *Proc.Aust. Agr.Conf. CSIRO. ASA, Australia*.
- Wang, X. Zhu, J. Mansueto, L. and Bruskiewich, R. 2005. Identification of candidate genes for drought stress tolerance in rice by the integration of a genetic (QTL) map with the rice genome physical map. *J. Zhejiang University Sci* 6(5): 382–388.
- Zech, W. et Kaupenjohann, M. 1990. Carence en potassium et en phosphore chez *Casuarina esquisetifolia*, *Eucalyptus* sp., *Acacia auriculiformis* et *Tectona tropiques* au Sud-Bénin (Afrique occidentale). *Bois et Forêts des Tropiques* 226: 29–36.