

TRAITS FONCTIONNELS DE *Brachiaria* (TRIN.) *Brizantha* (HOCHST.) STAPF, *B. Decumbens* STAPF ET *B. Ruziziensis* (GERM. & EVRARD) NDAB CULTIVES EN ASSOCIATION AVEC *Pennisetum glaucum* (L.) LEEKE R. BR. EN CLIMAT TROPICAL SEC.

D.DIAKHATE^{1,3*}, J. L. CHOPART², R. RALISCH³

¹Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), BP 3120, Dakar Sénégal. Email : agrogrdembra@gmail.com

²Agerconsult. 41, rue Comte Bernard 34090 Montpellier (France). E-mail : jl.chopart@orange.fr.

³Université d'Etat de Londrina, (UEL). Caixa Postal 10.011; CEP: 86057-970-Londrina-PR (Brasil)

*Corresponding author

RESUME

L'étude visait à connaître les performances de trois espèces de *Brachiaria* au Sénégal, en association avec le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), pour protéger le sol. On a comparé, pendant deux ans, trois traitements associant mil et *Brachiaria brizantha*, *B. ruziziensis* et *B. decumbens* avec un témoin mil seul. Les mesures ont porté sur les biomasses aériennes du mil et des *Brachiaria* et sur les racines des *Brachiaria*. En 2015, *B. ruziziensis* a eu la meilleure production (environ 4 t ha⁻¹) et *B. brizantha* la plus faible. Le *Brachiaria* n'a pas eu d'effet sur le rendement du mil. Pendant la saison sèche 2015-2016, le taux de survie a été nul pour *B. ruziziensis* et faible pour *B. brizantha* et *B. decumbens*. En 2016, les biomasses aériennes des *Brachiaria* ont été plus élevées. *B. brizantha* et *B. decumbens* ont provoqué une baisse de rendement du mil, de 38 et 21 % respectivement. Le profil racinaire de *B. ruziziensis* est resté proche de celui de 2015, tandis que ceux des autres espèces ont été nettement supérieurs. *B. ruziziensis*, incapable de survivre à la saison sèche, n'est pas adapté à un usage local comme plante de service. *B. decumbens* et surtout *B. brizantha* ont été plus performants, mais concurrencent le mil.

Mots-clés : Brachiaria, Sénégal, plante de couverture, association culturale, système racinaire.

ABSTRACT

FUNCTIONAL TRAITS OF *Brachiaria* (TRIN.) *Brizantha* (HOCHST.) STAPF, *B. Decumbens* STAPF AND *B. Ruziziensis* (GERM. & EVRARD) NDAB INTERCROPPED WITH *Pennisetum glaucum* (L.) LEEKE R. BR. IN A DRY TROPICAL CLIMATE

The study aimed at assessing the performances of three species of *Brachiaria* in covering the soil when intercropped with the pearl millet. Three intercropping treatments of pearl millet with *Brachiaria* (*B. ruziziensis*, *B. decumbens* and *B. brizantha*) and pearl millet in pure cropping as a control were compared over two years. Measurements were done on aerial biomass and on roots systems of pearl millet and *Brachiaria*. In 2015, *B. ruziziensis* showed a best production estimated at 4 t ha⁻¹ compared to *B. brizantha*. *Brachiaria* had no effect on pearl millet yield. For the dry season of 2015-2016, the survival rate was zero for *B. ruziziensis* and low for *B. brizantha* and *B. decumbens*. In 2016, the aerial biomasses of *Brachiaria* were higher and *B. brizantha* and *B. decumbens* induced pearl millet yield decreases of 38 and 21 % respectively. The root profile of *B. ruziziensis* in 2016 remained close to the results obtained in 2015, while those of other species were significantly higher. As *B. ruziziensis* is not able to survive during the dry season, it cannot be used locally as a cover crop. *B. decumbens* and especially *B. brizantha* were more successful but compete with pearl millet.

Key-words : *Brachiaria*, Sénégal, cover plant, intercropping, root system,

INTRODUCTION

Le Sénégal, en particulier dans sa zone centrale, le sud du bassin arachidier, est soumis à de forts risques de ruissellement de l'ordre de 30 % des pluies (Perez *et al.*, 1996). Le risque d'érosion est très élevé avec un indice de dégradation spécifique d'environ 1700 t km⁻² an⁻¹ (Charreau et Nicou, 1971 ; Perez *et al.*, 1996). Les sols sont pauvres en matière organique. C'est une zone où l'élevage est important avec des problèmes d'approvisionnement en fourrages. Des travaux menés dans d'autres régions tropicales ont montré l'intérêt de l'introduction de plantes de couverture vivantes ou mortes dans les systèmes de culture (Boli et Roose, 1998 ; Findeling *et al.*, 2003 ; Malézieux *et al.* 2009). Le genre *Brachiaria* contient, à cet égard, des espèces intéressantes (Torres, 2003 ; Andrioli, 2004). Les *Brachiarias* sont des Poaceae pérennes herbacées de type C4, originaires d'Afrique mais très largement répandues dans le monde intertropical (Husson *et al.*, 2008). Plusieurs auteurs comme Timossi *et al.* (2007) et Pereira (2006) ont montré que les *Brachiarias* participent à la lutte contre l'érosion des sols. Plusieurs espèces de *Brachiaria* ont fait l'objet d'études détaillées aux Antilles dans les systèmes de cultures de bananiers, en comparaison avec d'autres plantes de couvertures. Les travaux ont en particulier porté sur la caractérisation de leurs traits fonctionnels (Damour *et al.*, 2014) et sur leurs effets, majoritairement favorables, sur les mauvaises herbes (Tardy *et al.*, 2015). Mais, dans certaines situations, il y a un risque de compétition pour l'azote (Tixier *et al.*, 2011). Dans les systèmes de culture d'ananas, les effets sont apparus plus complexes et fluctuants : il y a en particulier un risque de compétition pour la lumière entre l'ananas et les plantes de couverture (Govindin, 2015). Le système racinaire de *Brachiaria decumbens* est moins performant pour explorer et améliorer le sol que d'autres espèces en particulier le *Stylosanthes guianensis*. La partie centrale du Sénégal, a une saison sèche très marquée et longue avec souvent huit mois sans aucune pluie. Or, dans les pays où le *Brachiaria* a montré son intérêt, au Brésil et aux Antilles en particulier, la pluviosité est mieux répartie dans l'année (Brunet et Brossard, 2000). Il n'est donc pas possible d'utiliser les résultats obtenus ailleurs pour élaborer des systèmes de culture avec *Brachiaria* au Sénégal, où il existe pourtant un

intérêt potentiel de *Brachiaria*, notamment pour la lutte contre l'érosion et l'apport de matière organique. Mais très peu d'études y ont été menées sur ce sujet.

Trois espèces du genre *Brachiaria* ont donc été testées au Sénégal afin de connaître en particulier leur capacité à résister à la longue saison sèche locale. Pour cela, le *Brachiaria* doit avoir un système racinaire lui permettant d'accéder aux réserves hydriques situées en profondeur dans le sol. Le fait que la culture soit encore vivante en début de saison des pluies contribuerait à lutter contre l'érosion car, au Sénégal, les phénomènes d'érosion surviennent souvent en début de saison des pluies quand le sol est nu (Charreau et Nicou, 1971).

Cette étude a donc pour objectif de mieux connaître dans la partie centrale du Sénégal : (i) les performances de trois espèces de *Brachiaria*, (ii) les caractéristiques de leur système racinaire pour l'accès à l'eau et (iii) leur biomasse racinaire pour la matière organique du sol. L'originalité de l'étude est d'être menée dans une région à très longue saison sèche et dans un système lui associant le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke R. Br.), principale culture vivrière de la zone. On portera une attention particulière au système racinaire de *Brachiaria*, car il a été peu étudié et qu'il a, a priori, une grande importance dans le milieu étudié. Les traits fonctionnels étudiés doivent permettre de mesurer l'intérêt de l'insertion de *Brachiaria* dans les systèmes de culture au Sénégal et, si oui, de repérer, l'espèce de *Brachiaria* la mieux adaptée aux contraintes locales de sol, de climat et de systèmes de culture.

MATERIEL ET METHODES

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'essai a été conduit durant deux années (2015 et 2016) en station dans le département de Niour du Rip (14°10 N, 15°05 O). La courte saison des pluies dure trois à quatre mois entre juin et octobre avec un cumul de pluies moyen de 800 mm. Le sol est sableux avec une teneur en argile + limon qui passe de 7,8 % en surface à 12,4 % entre 20 et 40 cm. Le pH eau fluctue entre 5,2 et 5,0 entre 0 et 40 cm. La teneur en carbone est faible, proche de 0.3 % entre 0 et 40 cm). Ce sol est représentatif de ceux de la région

centrale du Sénégal (Charreau et Nicou, 1971). Le dispositif expérimental était composé de quatre traitements répétés dans trois blocs randomisés avec un témoin cultivé en mil et trois traitements comprenant une association de mil et de *Brachiaria*. Les parcelles avaient une surface unitaire de 100 m². La variété de mil (Thialack 2), avec un cycle de 95 jours, est bien adaptée aux conditions locales. Elle y est actuellement utilisée par les agriculteurs. Les trois espèces de *Brachiaria* étaient : *B. brizantha*, *B. decumbens* et *B. ruziziensis*. Dans les parcelles en culture pure comme dans les traitements avec *Brachiaria*, le mil a été semé en poquets espacés de 0,9 m x 0,9 m. *Brachiaria* a été semé à la même densité, entre deux poquets de mil, en alternance, tous les 0,9 m. L'itinéraire technique du mil était le même en culture pure (témoin) et en culture associée. La préparation du terrain a consisté en un grattage avec une houe, sauf en 2016, sur les traitements avec *Brachiaria* où la couverture végétale résiduelle a été laissée sur le terrain sans travail du sol. Sur tous les traitements, on a apporté 150 kg ha⁻¹ de 15N-15P-15K en début de culture et 100 kg ha⁻¹ d'urée en deux apports en cours de cycle (10 et 45 jours après la levée du mil). Les semis ont eu lieu après une pluie, le 10 juillet 2015 et le 22 juillet 2016. La culture a été strictement pluviale, sans irrigation. Sur les parcelles témoin en mil, les mauvaises herbes ont été maîtrisées par trois sarclages. Le semis de *Brachiaria* a eu lieu en même temps que celui du mil. *B. ruziziensis* n'ayant pas survécu aux huit mois de saison sèche a dû être réimplanté en début de saison des pluies 2016. Les espèces *B. decumbens* et *B. brizantha* n'ont eu besoin que de repiquages ponctuels. En 2016, il a été procédé à des coupes du *B. brizantha* (le 23/08 et le 07/09) et du *B. decumbens* (le 07/09) quand la biomasse, devenue trop envahissante, gênait la croissance du mil. Cette biomasse coupée a été laissée sur le sol.

MESURES SUR LES PARTIES AERIENNES (BRACHIARIA ET MIL)

Des mesures ont eu lieu aux périodes suivantes : 30, 40, 50, 65, 80 et 90 jours après semis (JAS) sur quatre plants (3,24 m²) retenus de façon aléatoire. Les biomasses fraîches du mil et des *brachiarias* ont été mesurées sur le terrain, puis après séchage à l'étuve (72 h à 60°C). La biomasse du *Brachiaria* mesurée a été replacée sur la même parcelle. Le

rendement du mil a été mesuré dans une placette de 4,5 m x 4,5 m, située au centre des parcelles. Le poids des épis et des grains ont été mesurés après six jours de séchage à l'air libre avec des taux d'humidité de 10 à 20 %. Le taux de survie des *Brachiaria* en saison sèche a été évalué en comptant le nombre de plantes de *Brachiaria* vivants à la fin de la saison des pluies puis en fin de saison sèche.

MESURES SUR LES RACINES DE BRACHIARIA

Des mesures racinaires ont été effectuées en novembre 2015 et en décembre 2016, plus d'un mois après la récolte du mil, quand les racines de mil étaient mortes mais celles des *Brachiaria* étaient encore vivantes. La méthode a consisté à cartographier les racines apparaissant sur un profil vertical de sol à l'aide d'une grille à mailles de 0,1 m, suivant la méthodologie décrite par Chopart (1999), pour obtenir le nombre d'impacts racinaires (NI), par unité de surface de profil de sol (Chopart, 1999 ; Chopart et Siband, 1999 ; Chopart et al., 2008). La largeur de mesure était de 0,5m de part et d'autre du pied, la profondeur de mesure était de 1 m en 2015 et 1,5 m en 2016. Les mesures ont été faites sur chacune des neuf parcelles, fin 2015 et fin 2016, un mois et demi après la récolte du mil. A partir des données de base (cartes de NI par m²), on a estimé la densité de longueur volumique racinaire (DLR ou RLD pour Root Length Density en m m⁻³). La RLD, est estimée à partir des NI : $RLD = NI * CO$ (Chopart, 1999). Le coefficient d'orientation CO est lié à la direction des racines plus ou moins perpendiculaire au plan d'observation. Les principes et la théorie de cette approche géométrique et architecturale sont précisés par ailleurs (Chopart, 1999 ; Chopart et Siband, 1999 ; Chopart et al., 2008). Les modèles permettant de calculer la RLD à partir des NI ont été proposés pour plusieurs cultures tropicales : le maïs (Chopart et Siband, 1999), le sorgho (Chopart et al., 2008a), le riz (Dusserre et al., 2009) et la canne à sucre (Chopart et al., 2008b). Les résultats sont variables d'une espèce à l'autre mais les modèles s'inscrivent entre un minimum de $RLD = 2 * NI$ et un maximum de $RLD = 5 * NI$ avec une valeur moyenne de CO proche de 3. A défaut de disposer d'un modèle spécifique pour les espèces de *Brachiaria* étudiées, la valeur moyenne de CO = 3 a été retenue. Donc, pour *Brachiaria* le modèle suivant est proposé : $RLD = 3 * NI$. La longueur totale des racines entre la surface et la profondeur

maximale par m² de culture (en m m⁻²) a été calculée en sommant les RLD (m m⁻³) obtenues à différentes profondeurs.

Le volume de sol utilisable pour l'alimentation hydrique du *Brachiaria* a été estimé par modélisation. On a retenu le modèle PRER (Potential Root Extraction Ratio) qui estime le rapport entre le volume de sol utile pour l'alimentation de la culture (VU) et le volume total de sol lui correspondant (Chopart, 1999 ; Leifi et al., 2011 ; Chopart et al., 2012). Pour calculer VU, on estime que l'approvisionnement de la plante en eau se limite à une distance maximale (RA) autour des racines. On a retenu une valeur de RA de cinq centimètres (Blanchet et al., 1974). Pour tenir compte des compétitions entre les racines, VU dépend des distances moyennes entre les racines (DR) dans chaque unité de volume de sol. Les valeurs de DR ont été calculées à partir des RLD : $DR = a (RLD^{0.5})^{-1}$ avec $a = (4/\pi)^{0.5}$ (Newman, 1966).

MODELISATION DU BILAN HYDRIQUE DU MIL ET ANALYSES STATISTIQUES

Les conditions d'alimentation hydrique du mil ont été estimées en modélisant le bilan hydrique avec PROBE (Chopart et Vauclin, 1990). Il s'agit d'un modèle simple avec des paramètres d'entrée mesurés ou disponibles

dans la littérature pour le type de sol. Parmi les principaux il y a : les apports d'eau, l'évapotranspiration de référence (ET₀), la réserve en eau utile du sol, le coefficient cultural (Kc), l'évolution et la profondeur maximale du front racinaire. Ces dernières informations sur les racines sont issues de travaux antérieurs de Chopart (1983, 1985) au Sénégal. Les résultats obtenus ont fait l'objet d'analyses de variance et de tests de Tukey et de Newman-Keuls.

RESULTATS

PLUVIOSITE PENDANT L'EXPERIMENTATION ET MODELISATION DU BILAN HYDRIQUE DU MIL

La pluviosité totale entre le 1 juillet et le 30 octobre 2015 a été de 1012 mm et de 894 mm en 2016. La répartition a été meilleure en 2015 qu'en 2016 (Figure 1). En 2016, il n'y a eu que 12,5 mm pendant les 25 derniers jours du cycle du mil, ceci a conduit à une forte réduction du taux de satisfaction des besoins en eau (ETR/ETM) qui a diminué progressivement de 100 % à 40 % entre 65 et 95 jours après semis. En 2015, le taux de satisfaction des besoins en eau est toujours resté supérieur à 80 %.

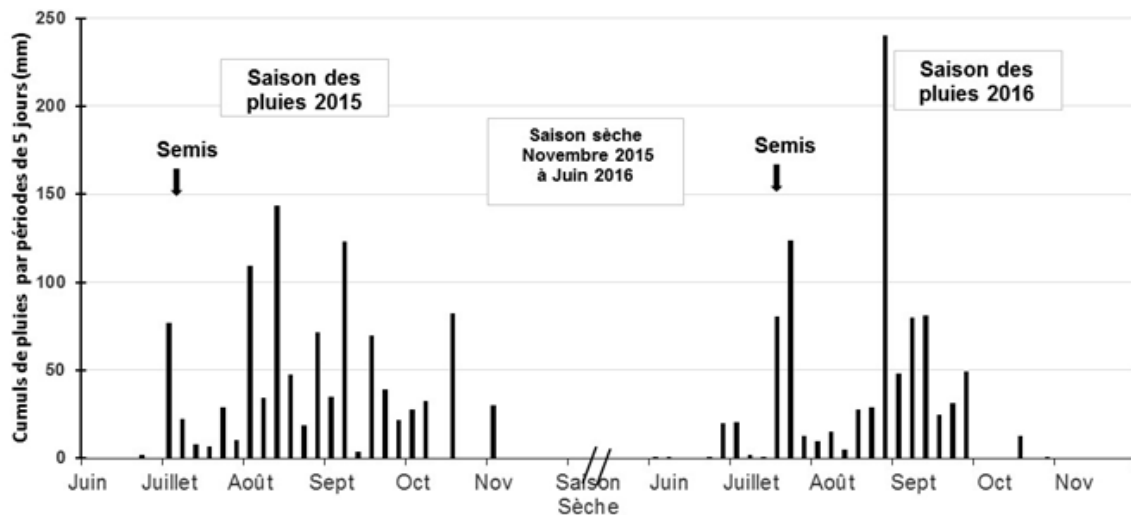


Figure 1 : Répartition de la pluviosité sur le site expérimental en 2015 et 2016 et dates de semis. Les cumuls de pluie (en mm) sont par périodes de 5 jours.

Rainfall distribution (5-day split) at the experimental site in 2015 and 2016 and sowing dates.

PARTIES AERIENNES DE *BRACHIARIA*

En 2015, le taux de levée de *B. brizantha* a été faible (30 %) par rapport à *B. ruziziensis* (80 %) et *B. decumbens* (60 %). *B. ruziziensis* a eu le plus grand développement végétatif avec une biomasse proche de 4 t ha⁻¹ an⁻¹ (Figure 2). *B. ruziziensis*, n'a pas survécu à la longue saison sèche (taux de survie nul) et a dû être réimplantée en début de la seconde année. *B. decumbens* (14 % de taux de survie) et *B. brizantha* (23 % de taux de survie) n'ont pas complètement disparu pendant la saison sèche; mais ont quand même dû être réimplantés en partie en début de saison des pluies 2016. En 2016, la biomasse de *B.*

ruziziensis a été nettement plus faible que celles des autres *Brachiaria* (Figure 2). L'espèce *B. brizantha* a le plus fort développement. L'espèce *B. decumbens* est nettement inférieure à *B. brizantha* pendant presque tout le cycle (Figure 2), mais l'écart se réduit en fin de cycle (Figure 2). La végétation de *B. decumbens* et surtout de *B. brizantha* a fait concurrence au mil. Des coupes manuelles partielles ont eu lieu à 30 JAS (*B. brizantha*) et 45 JAS (*B. brizantha* et *B. decumbens*) en laissant la végétation coupée sur le terrain. En 2016, les biomasses *B. brizantha* et *B. decumbens* ont été très nettement supérieures à celles de 2015, malgré la pluviosité moins favorable.

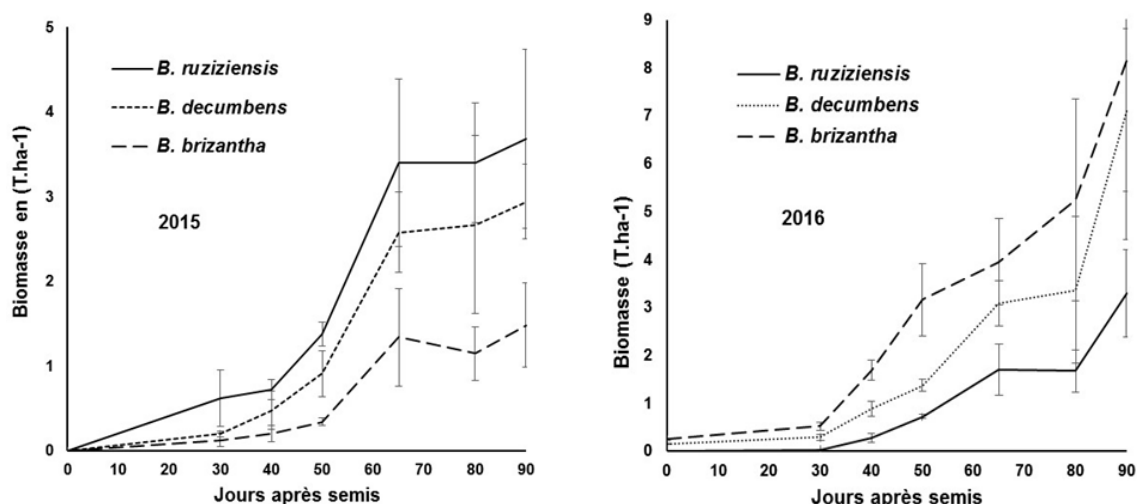


Figure 2 : Evolution des biomasses sèches (t ha⁻¹) des trois espèces de *Brachiaria* en fonction du nombre de jours après le semis du mil durant les saisons des pluies 2015 (à gauche) et 2016 (à droite).

Increasing dry biomasses (t ha⁻¹) of the three *Brachiaria* species depending on number of days after sowing of pearl millet during the rainy season 2015 (to the left) and 2016 (to the right).

 RENDEMENT DU MIL EN ASSOCIATION (MIL/*BRACHIARIA*) OU EN CULTURE PURE

Dès la levée, l'évolution de la biomasse du mil, cultivé en culture pure de façon conventionnelle, a été plus lent en 2016 qu'en 2015 (Figure 3). Le rendement final a été lui aussi nettement plus faible en 2016 qu'en

2015 avec des différences hautement significatives entre les rendements des deux années (Tableau 1). En 2015, il n'y a pas eu d'effet des *Brachiaria*. En 2016 (Tableau 1), le rendement du mil en culture pure (831 kg ha⁻¹) a été plus élevé que celui du mil cultivé en association avec *B. decumbens* et *brizantha* (-21 % et -38 % respectivement).

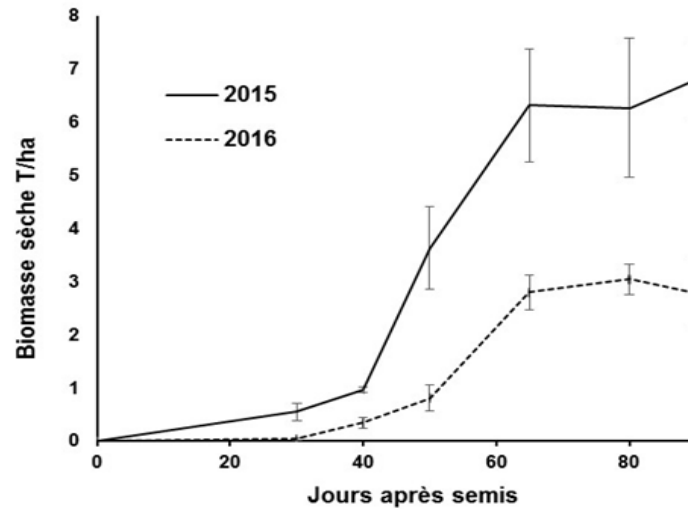


Figure 3 : Evolution de la biomasse sèche totale ($t\ ha^{-1}$) de la variété de mil (var. Thialack 2) en fonction du nombre de jours après le semis chez le témoin en culture pure durant les saisons des pluies 2015 et 2016.

Evolution of the pearl millet pure cropping (var. Thialack 2) dry biomass ($t\ ha^{-1}$) over time (days after sowing) during rainy seasons 2015 and 2016.

Tableau 1 : Rendements (grains en $kg\ ha^{-1}$) du mil sur les quatre traitements en 2015 et en 2016. A) Comparaison des traitements : les chiffres suivis d'une même lettre (en minuscule) ne sont pas significativement différents suivant le test de Tukey (au seuil de 0,05). B) Comparaison des années : Les chiffres suivis d'une même lettre (en majuscule) ne sont pas significativement différents suivant le test de Tukey (au seuil de 0,05). C) Etude des interactions entre traitement et année : valeurs du P et test de signification Newman-Keuls au seuil de 0,05.

Pearl millet grain yields ($kg\ ha^{-1}$) for treatments in 2015 and 2016. A) Comparison of treatments : numbers followed by the same letter (in lower case) are not significantly different at the 5 % threshold (Tukey test). B) Comparison of years : numbers followed by the same letter (in capital letters) are not significantly different at the 5 % threshold (Tukey test). C) Study of interactions between treatment and year : values of P and Newman-Keuls test at the 5 % threshold (Newman-Keuls test).

		2015	2016	Moy 2 ans
Effets des	<i>B. Ruziziensis</i> + Mil	1975 ^{a1}	831 ^{a2}	1403
traitements	<i>B. Decumbens</i> + Mil	1983 ^{a1}	519 ^{a2}	1251
par année	<i>B. Brizantha</i> + Mil	2221 ^{a1}	658 ^{a2}	1440
P = 0,3	Mil	2247 ^{a1}	831 ^{a2}	1539
Effet année	P < 0,001 (moy. trait.)	2107 ^A	710 ^B	1409
Interaction année x traitement : P = 0,55 (NS)				

CARACTERISTIQUES RACINAIRES DES BRACHIARIA

En 2015, en première année de culture, les profils racinaires des trois espèces de *Brachiaria*, exprimés en pourcentage de sol potentiellement utilisable pour l'alimentation

hydrique (PRER), sont proches (Figure 4). Le système racinaire de *B. ruziziensis* est toutefois moins développé, donc moins performant, en profondeur, en dessous de 0,7 m.

En 2016, les densités de longueur volumique racinaire entre la surface et 1,5 m, exprimées en $m\ m^{-2}$ de culture, sont légèrement

supérieures à 1000 m^2 chez *B. decumbens* et *B. brizantha*. Elles sont presque le double de celles de *B. ruziziensis* (Tableau 2). Le volume de sol utile (PRER) de *B. ruziziensis*

est également nettement inférieur à celui des deux autres espèces (Tableau 2, Figure 4) en particulier en profondeur en dessous de $0,3\text{m}$.

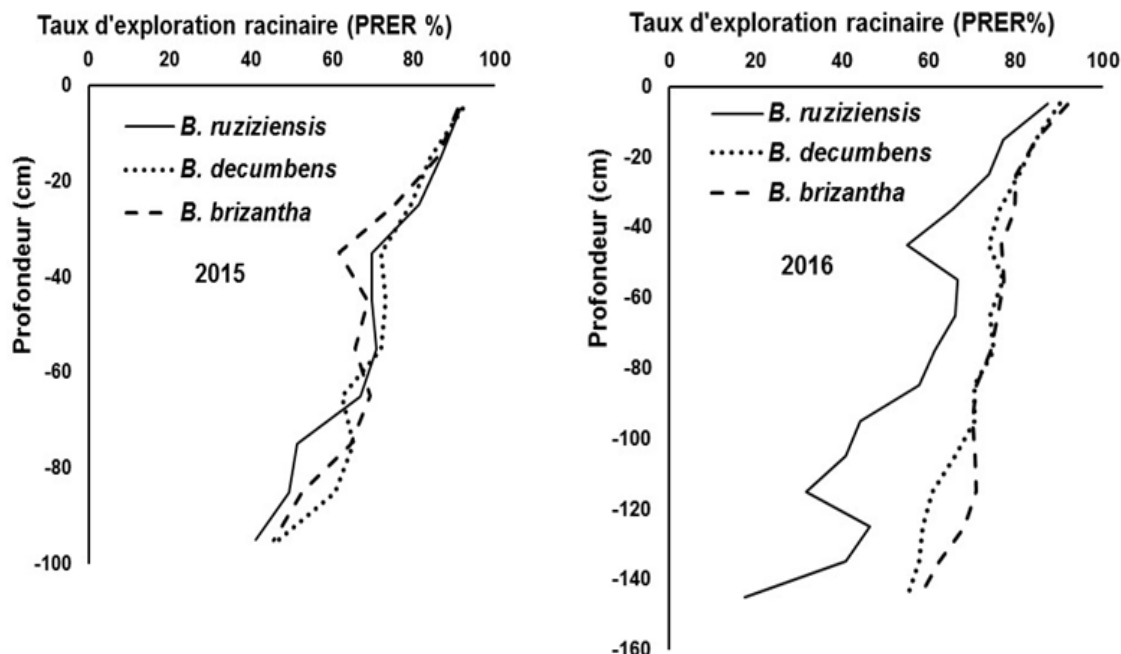


Figure 4 : Profil racinaires des *Brachiaria* en 2015 et 2016. Pourcentages de volume de sol potentiellement utile pour l'alimentation en eau (PRER) calculés par le modèle PRER.

Root profile of *Brachiaria* in 2015 and 2016. Potential useful soil volume for water supply (PRER, %) according to the PRER model.

Tableau 2 : Longueurs racinaires (m^2) et pourcentage de volume de sol potentiellement utile pour l'alimentation en eau (PRER %) à différentes profondeurs de sol (en cm) en fin de saison des pluies 2016. Les chiffres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents suivant le test de Tukey (seuil : 0,05).

Root lengths (m^2) and potential useful soil volume for water supply (%) (PRER) at several soil depths (cm) measured at the end of the 2016 rainy season. The numbers followed by the same letter are not significantly different at the 5 % threshold (Tukey test).

	Prof. sol (cm)	<i>B. ruziziensis</i>	<i>B. decumbens</i>	<i>B. brizantha</i>	CV %
Longueur des racines (m^2)	0 - 40	416 ^a	655 ^b	762 ^b	11
	40 - 80	101 ^a	262 ^a	240 ^a	37
	80 - 150	102 ^a	201 ^{ab}	241 ^b	23
	0 - 150	619 ^a	1147 ^b	1243 ^b	14
PRER moyen (%)	0 - 40	76 ^a	83 ^b	82 ^{ab}	3
	40 - 80	62 ^a	75 ^a	75 ^a	9
	80 - 150	40 ^a	63 ^b	65 ^b	11
	0 - 150	55 ^a	71 ^b	72 ^b	6

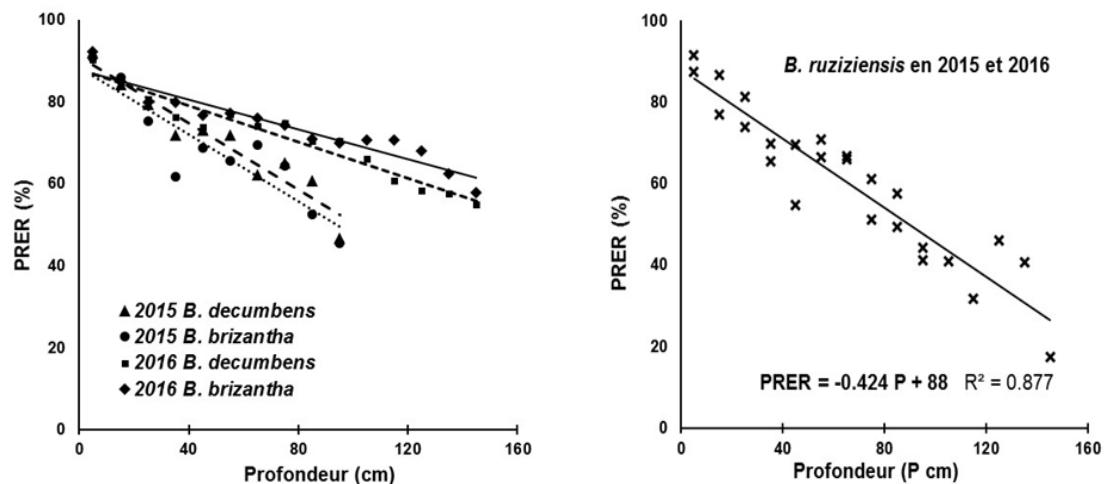


Figure 5 : Pourcentage de volume de sol potentiellement utile pour l'alimentation en eau par rapport au volume total de sol dans la zone racinaire en fonction de la profondeur (P). A gauche : profils de *B. decumbens* et *B. brizantha* en 2015 et 2016. En 2015, *B. brizantha* : $PRER = -0,408 P + 88$ $R^2 = 0,814$, *B. decumbens* : $PRER = -0,407 P + 91$ $R^2 = 0,917$. En 2016, *B. brizantha* : $PRER = -0,181 P + 88$ $R^2 = 0,908$, *B. decumbens* : $PRER = -0,222 P + 88$ $R^2 = 0,941$. A droite : profil de *B. ruziziensis* en regroupant les résultats des deux années (2015 et 2016).

Potential useful soil volume for water supply (%) (PRER) according to the depth. On the left : root profiles of *B. decumbens* (DECU) and *B. brizantha* (BRIZ) in 2015 and 2016. 2015 : *B. brizantha* : $PRER = -0,408 P + 88$ $R^2 = 0,814$, *B. decumbens* : $PRER = -0,407 P + 91$ $R^2 = 0,917$. 2016 : *B. brizantha* : $PRER = -0,181 P + 88$ $R^2 = 0,908$, *B. decumbens* : $PRER = -0,222 P + 88$ $R^2 = 0,941$. To the right: root profiles of *B. ruziziensis* in 2015 and 2016 grouping the results of the two years.

DISCUSSION

Le fait de pouvoir disposer de plusieurs traits fonctionnels de trois *Brachiaria* relatifs aux parties aériennes mais aussi aux racines (biomasses, longueurs, PRER) a permis d'enrichir l'analyse de leur intérêt comme plante de service dans les conditions pédoclimatiques du Sénégal. Le calcul du PRER, en particulier, a facilité l'analyse du rôle du système racinaire dans l'accès à l'eau de la plante, très important dans le milieu d'étude.

BIOMASSES AERIENNES DU MIL ET DU BRACHIARIA

Brachiaria ruziziensis n'a pas survécu à la saison sèche et a dû être entièrement réimplantée. Les deux autres espèces ont eu des meilleurs taux de survie en fin de saison sèche mais néanmoins faibles. Cela a entraîné un fort retard de croissance de *B. ruziziensis*. C'est un réel handicap pour son utilisation au Sénégal. L'espèce *brizantha*, qui a le mieux supporté la saison sèche, a eu une croissance très active dès les premières pluies et a concurrencé le mil en début de sa végétation. Le rendement du

mil a fortement chuté en deuxième année, en culture pure. La diminution du rendement du mil entre 2015 et 2016 paraît être due aux conditions d'alimentation hydrique nettement moins favorables en 2016. Il y a eu un excès d'eau au moment du semis et un fort déficit hydrique en fin de cycle avec un taux de satisfaction des besoins en eau (ETR/ETM) réduit à 0,35 pendant les dix derniers jours du cycle. La chute de rendement du mil a été encore plus marquée en culture associée avec *B. brizantha* et *B. decumbens*, qui ont eu un fort développement et ont sans doute concurrencé la culture de mil pour l'alimentation en eau et en azote comme cela a été observé ailleurs (Tixier et al., 2011).

PROFILS RACINAIRES DES BRACHIARIA

Les résultats ont été obtenus dans un système où le *Brachiaria* était associé au mil. Il y avait donc un risque de compter des racines de mil parmi les racines de *Brachiaria*. Mais les mesures ont été faites un mois et demi après la récolte du mil. Il ne restait dans le sol que quelques grosses racines mortes de mil faciles à différencier des racines de *Brachiaria* encore vivantes. En 2015, la colonisation racinaire plus

faible en surface de l'espèce *B. brizantha* peut être mise en relation avec la croissance plus lente et plus faible des parties aériennes à cause de problèmes d'implantation. En revanche, en profondeur, son système racinaire a été nettement mieux développé que celui de l'espèce *B. ruziziensis*. Les systèmes racinaires des espèces *B. decumbens* et *B. brizantha* ont mieux colonisé le sol en 2016 qu'en 2015. Il est logique, mais néanmoins intéressant, de noter que le plus grand développement des parties aériennes de ces deux espèces en 2016 a été corrélé à celui de leur profils racinaires. En première année d'étude, en surface et jusqu'à 0,3 m, les systèmes racinaires des trois espèces ont bien exploré le sol avec peu de différences entre les espèces. En revanche, à partir de 0,7 m de profondeur, le système racinaire de *B. ruziziensis* a eu une densité de longueur racinaire et un PRER plus faibles que les deux autres espèces, malgré une biomasse des parties aériennes légèrement plus grande en première année. Parmi les explications possibles, on peut citer une allocation plus faible du carbone vers les racines ou une plus faible capacité des racines à croître dans un milieu contraignant. En seconde année, les systèmes racinaires de *B. decumbens* et *B. brizantha* ont été mieux développés qu'en 2015 contrairement à *B. ruziziensis*. Les longueurs totales des racines de *Brachiaria B. decumbens* et *B. brizantha* ont été d'environ 1200 m m⁻² sur une profondeur de sol de 1,5 m. Ces longueurs sont inférieures à celles (3000 m m⁻²) mesurées sur le mil dans un milieu proche au Sénégal (Chopart, 1983, Chopart, 1985).

Dans les conditions pédoclimatiques de l'étude, les effets des trois espèces de *Brachiaria* testées semblent complexes et sont plutôt défavorables pour la culture principale à cause, principalement, de la concurrence pour l'eau. Ces résultats s'écartent de ceux obtenus dans d'autres zones climatiques plus humides d'Afrique tropicale (Lal *et al.*, 2007, Naudin *et al.*, 2010), du Brésil (Brunet et Brossard, 2000 ; Torres 2003) ou des Antilles (Damour *et al.* 2014 ; Tardy *et al.*, 2015). En revanche des résultats proches ont été trouvés en climat sec en Afrique centrale (Dugué *et al.*, 2015, 2017) et dans d'autres régions sèches d'Afrique (Giller *et al.*, 2009). Ces derniers auteurs considèrent qu'en Afrique Soudano-Sahélienne, l'agriculture de conservation peut avoir un intérêt dans certains cas, mais que ce n'est pas un modèle généralisable. Dugué *et al.* (2017) indiquent en particulier que,

dans le nord du Cameroun à climat soudano-sahélien, le *Brachiaria* est utilisé de façon préférentielle pour la nourriture du bétail. Ce serait sans doute aussi le cas au Sénégal où il risque d'y avoir concurrence entre un usage comme fourrage et comme plante de protection du sol.

CONCLUSION

Brachiaria ruziziensis ne paraît pas adapté aux conditions pédoclimatiques soudano-sahélienne de la partie centrale du Sénégal dans un système de culture associant mil et *Brachiaria*. *B. decumbens* et *brizantha* ont eu des performances proches et meilleures que *Brachiaria ruziziensis*. L'une ou l'autre espèce pourrait être retenue par les agriculteurs en fonction de leurs priorités et contraintes locales.

Des études complémentaires sont nécessaires pour optimiser l'effet du *Brachiaria* au Sénégal et pour faciliter l'adoption, par l'agriculteur, d'un système de culture associant *Brachiaria* avec le mil (ou une autre culture comme l'arachide). Il faudra notamment trouver des solutions techniques pour : (i) faciliter l'implantation de *Brachiaria* en première année et son maintien pendant la saison sèche, (ii) réduire sa concurrence avec la culture principale et le bétail, (iii) disposer d'un itinéraire technique associant mil et *Brachiaria* aussi simplifié que possible, avec une petite mécanisation. S'il se confirme que *Brachiaria* n'est pas adapté aux conditions locales, il faudra tester d'autres plantes mieux adaptées au climat, tout en permettant de protéger le sol contre l'érosion. Il faudra alors, sans doute, privilégier les espèces déjà présentes en zone tropicale sèche Ouest-Africaine comme des poacées (*Andropogon gayanus*, par exemple) spécialement au Sénégal où la saison sèche est particulièrement longue.

REFERENCES

- Andrioli I. 2004. Plantas de cobertura em pré-safra à cultura do milho em plantio direto, na região de Jaboticabal-SP. Thèse de Doctorat, Université de Sao Paulo, Faculté des sciences agraires (Brésil), 78 p.
- Blanchet R., Bosc M., Maertens C., Puech J. 1974. Influence de différents régimes hydriques sur l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par les cultures. I) influence de l'humidité du sol et des flux hydriques sur l'absorption des éléments minéraux par

- les racines. *Ann. Agron.* (25) : 681 - 696.
- Boli Z., Roose E. 1998. Degradation of a sandy Alfisol and restoration of its productivity under cotton/maize intensive cropping rotation in the wet savannah of Northern Cameroon. *Advances in Geocology.* (31) : 395 - 401.
- Brunet D., Brossard M. 2000. Ruissellement et détachabilité d'un sol sous pâturages cultivés dans le Cerrado (Brésil). Premiers résultats sur micro-parcelles d'érosion. In: *Int. Symposium Soil functioning under pastures in intertropical Areas.* Brasilia, (Brésil), pp 15 - 18.
- Charreau C., Nicou R. 1971. L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-Africaine et ses incidences agronomiques. *IRAT Bulletin agronomique n° 23*, 254 p.
- Chopart J.L. 1983. Etude du système racinaire du mil dans un sol sableux du Sénégal. *L'Agron. Trop.* (38) : 37 - 51.
- Chopart J.L. 1985. Développement racinaire de quelques espèces annuelles cultivées en Afrique de l'Ouest et résistance à la sécheresse. In : *Conseil international de la langue française (Ed.) : La sécheresse en zone intertropicale. Pour une lutte intégrée*, Paris, France : pp 145 - 154.
- Chopart J.L., Vauclin M. 1990. Water balance estimation model : Field test and sensitivity analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (54) : 1377 - 1384.
- Chopart J.L. 1999. Relations entre état physique du sol, systèmes racinaires et fonctionnement hydrique du peuplement végétal : outils d'analyse *in situ* et exemples d'études en milieu tropical à risque climatique élevé. Thèse de doctorat, Université de Grenoble (France), 350 p.
- Chopart J.L. et Siband P. 1999. Development and validation of a model to describe root length density of maize from root counts on soil profiles. *Plant Soil.* (214) : 61 - 74.
- Chopart J.L., Sine B., Dao A., Muller B. 2008a. Root orientation of four sorghum cultivars : application to estimate root length density from root counts in soil profiles. *Plant Root.* (2) : 67 - 75.
- Chopart J.L., Rodrigues S.R., Azevero M., De Conti Medina C. 2008b. Estimating sugarcane root length density through root mapping and orientation modelling. *Plant Soil.* 313 (1-2) : 101 - 112.
- Chopart J.L., Le Mézo L., Vauclin M. 2012. Modelling the potential root water extraction ratio in soil : application to sugar cane on the Island of Réunion. In : *ISRR (Edit) .Proceedings of 8th Symposium Int. Society Root Research, Dundee (GB).* Talking poster 4.
- Damour G., Dorel M., Hoa T., Meynard C., Risède J.M. 2014. A trait-based characterization of cover plants to assess their potential to provide a set of ecological services in banana cropping systems. *Europ. J. Agronomy* 52 : 218 - 228.
- Dugué P., Nana P. D., Faure G., Le Gal P. 2015. Dynamiques d'adoption de l'agriculture de conservation dans les exploitations familiales de la technique aux processus d'innovation. *Cah. Agric.* 24 (2) : 60 - 68.
- Dugué P., Belchi P., Paresys L., Retif M., Olina B. J. 2017. Usages agropastoraux des biomasses végétales et conséquences sur l'adoption du semis direct sous couvert végétal au nord du Cameroun. In : *E. Roose et IRD (Eds.). Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens : contribution à l'agroécologie*, Marseille (France) : pp 387 - 401.
- Dusserre J., Audebert A., Radanielson A., Chopart J.L. 2009. Towards a simple generic model for upland rice root length density estimation from root intersections on soil profile. *PlantSoil.* (325) : 277 - 288.
- Findeling A., Ruy S., Scoppell E. 2003. Modeling the effects of a partial residue mulch on runoff using a physically based approach. *Journal of hydrology.* 275 (1 - 2) : 49 - 66.
- Giller K.E., Witter E., Corbeels M., Tittonell P. 2009. Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: the heretics' view. *Field crops Res.* 114 (1) : 23 - 34.
- Govindin J.C. 2014. Les plantes de services une alternatives au travail du sol dans les systèmes de culture d'ananas. Thèse de Doctorat ès sciences Université Antilles Guyane (France), 193 p.
- Husson O., Chartpentier H., Razanamparany C., Moussa N., Michellon R., Naudin K., Razafintsalama H., Rakotoarivino C., Dramana R., Séguy L. 2008. Manuel pratique du semis direct à Madagascar, volume 3, Cirad Montpellier (France), 20 p.
- Lal R., Reicosky D.C., Hanson J.D. 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil & Tillage Research* (93) : 1 - 12.
- Léifi N., Chopart J.L., Rouspard O., Vauclin M., Aké S., Jourdan C. 2011. Genotypic variability of oil palm root system distribution in the field.

- Consequences for water uptake. *Plant Soil*. (341) : 505 - 520.
- Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., Tourdonnet, S. d., Valantin-Morison, M. 2009. Mixing plant species in cropping systems : concepts, tools and models. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 43 - 62.
- Naudin K., Goze E., Balarabe O., Giller K.E., Scopel E. 2010. Impact of no-tillage and mulching practices on cotton production in North Cameroon : a multi-locational on-farm assessment. *Soil & Tillage Research*. (108) : 68 - 76.
- Newman J. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. *J. App. Ecol.* (3) : 139 - 145.
- Pereira A. R. 2006. Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão. FAPI Belo Horizonte (Brésil), 96 p.
- Perez P., Boscher C., Sène M. 1996. Une meilleure gestion de l'eau pluviale par les techniques culturales (sud du Sine Saloum, Sénégal). *Agriculture et Développement*. (9) : 20 - 29.
- Tardy, F., Moreau, D., Dorel, M., Damour, G. 2015. Trait-based characterisation of cover plants' light competition strategies for weed control in banana cropping systems in the French West Indies. *European Journal of Agronomy* 71, 10 - 18.
- Timossi P.C., Durigan J.C., Leite G.J. 2007. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. *Bragantia*. (66) : 617 - 622.
- Tixier, P., Lavigne, C., Alvarez, S., Gauquier, A., Blanchard, M., Ripoche, A., Achard, R. 2011. Model evaluation of cover crops, application to eleven species for banana cropping systems. *Eur. J. Agron.* 34, 53 - 61
- Torres J.L.R. 2003. Estudo de plantas de cobertura na rotação milho-soja em sistema de plantio direto no cerrado, na região de Uberaba-MG. Thèse de Doctorat, Université de Sao Paulo, Jaboticabal SP (Brésil), 108 p.