



Effet d'un système agroforestier à karité (*Vitellaria paradoxa* c.f. gaertn) sur le sol et le potentiel de production du maïs (*Zea mays*) en zone Soudanienne du Bénin

A. SAIDOU^{1*}, I. BALOGOUN¹, B. KONE², C.P. GNANGLE³ et N. AHO¹

¹Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Département de Production Végétale, 01 B.P. 526 RP Cotonou, Bénin.

²Université de Cocody-Abidjan, UFR-STRM, Département des Sciences du Sol 22 BP 589 Abidjan, Côte d'Ivoire.

³Centre de Recherche Agricole (CRA) Centre Savè, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin.
*Auteur correspondant ; E-mail: saidoualiou@gmail.com

RESUME

L'effet de cinq classes de diamètre du houppier du karité sur les paramètres agronomiques a été étudié en comparant les zones sous houppier et hors houppier en zone soudanienne du Bénin. L'humidité pondérale et la température du sol et les rendements grains et paille du maïs ont été mesurés. La présence des arbres de karité a eu une influence significativement ($P < 0,01$ à $P < 0,001$) positive sur l'humidité pondérale et la température du sol de façon croissante avec la largeur du houppier. Les teneurs du sol en C-organique, N-total et Ca^{2+} échangeable sont élevées sous houppier comparativement à la zone hors houppier. Cependant, les rendements sous houppier sont significativement ($P < 0,05$) faibles comparativement à la zone hors houppier. Les classes de diamètre du houppier n'ont pas influé significativement la production de grains et de paille du maïs. Les rendements grain et paille sous houppier sont réduits respectivement de 46,6% et de 32,8% comparativement à la zone hors houppier. On note une influence positive du système agroforestier à karité sur l'humidité pondérale, la température du sol, le carbone organique et l'azote total, mais un effet négatif est noté sur les paramètres de rendement du maïs.

© 2012 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: Parc à karité, agroforesterie traditionnelle, fertilité du sol, houppier, zone soudanienne.

INTRODUCTION

Face au problème de dégradation des ressources naturelles et des sols en particulier, la maîtrise des facteurs de production au niveau des exploitations paysannes est une nécessité en vue de l'amélioration de la productivité des terres (Scherr et Yadev, 2001 ; Saïdou et al., 2012). En effet, la valorisation des pratiques culturelles axées sur

le recyclage de la biomasse produite par les composantes des systèmes agroforestiers traditionnels est courante dans les zones soudanienne et sahélienne (Bayala et al., 2002 ; Yaméogo et al., 2005 ; Zomboudré et al., 2005 ; Nikiema, 2005). Dans le cas de la zone soudanienne du Bénin, les parcs à karité (*Vitellaria paradoxa* c.f. gaertn) dominent le paysage (Gnanglè, 2005 ; Dah-Dovonon et

© 2012 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i5.16>

Gnanglè, 2006 ; Gnanglè *et al.*, 2012). En effet, les parcs à karité du Bénin ont été décrits comme des systèmes agroforestiers traditionnels d'utilisation de l'espace agricole (Gnanglè, 2005 ; Dah-Dovonon *et Gnanglè*, 2006 ; Balogoun, 2009 ; Gnanglè *et al.*, 2012). Dans ce système, les arbres sont associés aux cultures en particulier le cotonnier ou le maïs ou le sorgho ceci dans un arrangement spatial aléatoire ou temporel. Il se crée ainsi des interactions écologique et économique entre l'arbre et la culture associée (Nikiema, 2005).

L'effet de la distribution des précipitations sur l'alimentation en eau des cultures annuelles dans ces systèmes agrosylvicoles et la compétition pour la lumière ont été mentionnés comme facteurs pouvant considérablement affecter les niveaux de rendement des cultures (Boffa, 2000 ; Baker *et al.*, 2003 ; Nikiema, 2005 ; Zomboudré *et al.*, 2005). Toutefois, ce système de production présente des avantages considérables en ce sens que les producteurs y bénéficient des ressources financières que génèrent la production des arbres (Gnanglè *et al.*, 2012). De plus, la contribution des arbres dans le recyclage des nutriments est à considérer positivement dans le maintien du niveau de fertilité des sols en ce sens que, les nutriments des horizons de profondeur sont remontés à la surface du sol à travers la décomposition de la litière des feuilles (Bayala *et al.*, 2003 ; Traoré *et al.*, 2004 ; Bayala *et al.*, 2005 ; Bayala *et al.*, 2006). Avec l'introduction des pratiques d'intensification de la production agricole dans cette zone du Bénin, on assiste à une menace des arbres de karité en ce sens que, la régénérescence naturelle des plants n'est plus assurée (Dianda *et al.*, 2009 ; Gnanglè *et al.*, 2012). Pourtant, les jeunes plants sont souvent détruits au cours des périodes de mise en culture (labour au tracteur, culture attelée). La conséquence directe de cette situation est le caractère vieillissant des parcs (Gnanglè, 2005 ; Dah-Dovonon *et Gnanglè*, 2006 ; Gnanglè *et al.*, 2012). En plus de ces facteurs anthropiques, ces arbres sont sujets aux effets néfastes des changements climatiques avec pour

conséquence une baisse de productivité (Gnanglè *et al.*, 2012).

La présente étude a pour but le développement des pratiques culturales qui protégeront l'espèce tout en accroissant le niveau de rendement des cultures annuelles associées, en particulier le maïs. En effet, le maïs joue un rôle important dans l'alimentation des populations du Bénin eu égard à sa consommation spécifique (246 g/hbt/j) (Balogoun, 2012). De plus, au Bénin, le maïs fait également l'objet de diverses transactions économiques et représente de ce fait une source de revenus non négligeable pour les producteurs et les commerçants (Saïdou *et al.*, 2012).

L'objectif de la présente étude est de mieux comprendre dans le contexte de la zone soudanienne du Bénin, l'influence d'un système agroforestier à karité sur : (i) les propriétés chimiques du sol, (ii) l'humidité et la température du sol et (iii) les niveaux de rendement en grains et en paille du maïs en condition paysanne selon les types d'houpplier du karité et dans la zone d'influence de l'ombrage du houpplier.

MATERIEL ET METHODES

Site de l'expérimentation

L'expérimentation a été conduite dans le village Guessou-Sud dans le département du Borgou entre les parallèles 9°57'41'' et 10°09'53'' de latitude Nord et entre les méridiens 2°34' et 2°48'20'' de longitude Est. Le milieu d'étude est sous l'influence d'un climat soudanien humide à un régime unimodal avec une saison pluvieuse d'avril à octobre et une saison sèche de novembre à mars. La moyenne annuelle des précipitations est d'environ 1000 mm avec des pics dans le courant du mois d'Août. L'évapotranspiration potentielle est d'environ 1535 mm/an avec une température moyenne annuelle d'environ 27 °C. Le sol de la zone d'étude est essentiellement dominé par des sols ferrugineux tropicaux formés sur les roches cristallines du Précambrien (granito-gneiss) et classés comme ferric Lixisol selon la classification FAO (1990). D'après les

résultats des analyses physiques du sol à 0 – 20 cm de profondeur, les taux d'argile, de limon et de sable sont respectivement de 8,67%, 10,71% et 79,93%, ce qui lui confère une texture sableuse.

Inventaire des arbres de karité

La présente étude s'inscrit dans le cadre des activités du projet "Innovation karité et nééré pour une adaptation aux changements climatiques" (INNOVKAR-ACC) au Bénin. Au démarrage des activités du projet, un inventaire des arbres de karité a été réalisé. Au total, 55 placeaux de 30 m × 30 m chacun ont été installés avec au moins une distance de 500 m entre deux placeaux en vue de prendre en compte la micro variabilité du sol et la distribution des arbres. Les données collectées au niveau de chaque placeau sont : la densité des arbres, la circonférence mesurée à 1,30 m au-dessus du sol à l'aide d'un mètre ruban, la hauteur du houppier et la hauteur totale de l'arbre mesurées à l'aide d'un clinomètre de marque SUUNTO Finland, les diamètres Nord-Sud et Est-Ouest du houppier sont mesurés à l'aide d'un décimètre. Des résultats de l'inventaire, les arbres de karité ont été catégorisés en cinq classes de diamètre du houppier d'amplitude deux chacune. Il s'agit des classes d'arbre suivantes : C₁ : 4 - 6 m ; C₂ : 6 - 8 m ; C₃ : 8 - 10 m ; C₄ : 10 - 12 m et C₅ : 12 - 14 m.

A la suite de cet inventaire, une enquête a été réalisée sur l'historique des parcelles afin d'identifier des parcelles plus ou moins homogènes pour la conduite des expérimentations sur le maïs.

Mise en place de l'essai

Les arbres de karité ont été sélectionnés sur la base des cinq classes de diamètre du houppier et des résultats de l'enquête sur l'histoire des parcelles. Lorsque dans la placette plusieurs arbres présentent les mêmes classes de diamètre du houppier, l'arbre étudié est sélectionné de façon aléatoire.

Le labour a été effectué le 15 juin 2009 à l'aide de l'attelage tracté par des bœufs de traits (pratique culturelle répandue dans la

zone). Le maïs variété TZPB-SR de cycle 120 jours a été semé le 20 Juin 2009 dans tous les champs paysans. Les semis ont été faits à des écartements de 0,40 m entre les poquets et 0,80 m entre les lignes. Le démariage à deux plants par poquet a été effectué 15 jours après semis (JAS). Deux sarclages ont été effectués, le premier au moment du démariage et le second à 60 jours après semis. Les pratiques de fertilisation ont consisté en l'apport de 150 kg/ha d'engrais NPK 14-23-14 deux semaines après semis et 50 kg/ha d'urée 45 jours après semis (pratique répandue dans la zone compte tenue de l'état de dégradation des sols).

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental a pris en compte les 5 classes de diamètre du houppier de karité. Une classe de diamètre du houppier constitue un traitement et par classe de diamètre du houppier 3 arbres de karité ont été sélectionnés à titre de répétition. Ces arbres de karité ont été géo-référenciés à l'aide d'un GPS (Global Positioning System) de marque SILVA Multi – Navigator. De plus, ces arbres sont marqués avec des plaques métalliques afin de faciliter leur identification. Sous chaque arbre, 2 placettes de 2 m × 2 m chacune ont été délimitées pour les observations (Figure 1). Il s'agit d'une placette située à une distance de $0,5 \times R$ du centre de la projection au sol du houppier (placette sous houppier) et d'une autre située à une distance de $1,5 \times R$ du centre de la projection au sol du houppier (placette hors houppier), R étant le rayon de la projection verticale du houppier de l'arbre au sol. Les deux placettes sont installées suivant les orientations géographiques Nord, Sud, Est et Ouest (Figure 1). Ces placettes ont été les lieux où les différentes mesures sur les paramètres de rendement du maïs, l'humidité pondérale et la température du sol et le prélèvement des échantillons du sol ont été effectués. Au total, nous avons donc comme unités expérimentales : 5 classes de diamètre du houppier d'arbre x 3 arbres x 2 placettes x 4 orientations géographiques = 120 unités.

Mesures dendrométriques

Les mesures dendrométriques effectuées sur les karités lors de l'inventaire

forestier sont essentiellement : le diamètre du tronc mesuré à l'aide d'un mètre ruban à 1,30 m au-dessus du sol ; la hauteur du houppier et la hauteur totale de l'arbre, mesurées avec un clinomètre de marque SUUNTO Finland ; le diamètre moyen du houppier déterminé à partir des diamètres Nord-Sud et Est-Ouest du houppier mesurés à l'aide d'un décimètre. Ce diamètre moyen D résulte de la moyenne quadratique selon la formule (1) suivante (Rondeux, 1999) :

$$D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i)^2}{n}} \quad (1)$$

Avec D = Diamètre moyen du houppier, Di = Diamètres Nord-Sud et Est-Ouest et n = le nombre de mesure de diamètre effectué.

Le volume du houppier (V) est calculé à partir des formules (2) et (3) proposées par Rondeux (1999). Le calcul du volume dépend de la forme architecturale du houppier, laquelle a été déterminée par observation visuelle et en se référant aux catégories de ports identifiées dans le descripteur du karité de IPGRI/INIA (2006). Dans la zone d'étude, les ports en boule et en parasol dominent.

Port en boule et fuseau :

$$V = \frac{3}{4} \pi \times \frac{D_1}{2} \times \frac{D_2}{2} \times \frac{H_p}{2} \quad (2)$$

Port en parasol :

$$V = \frac{\pi}{10} \times D_1 \times D_2 \times H_p \quad (3)$$

Avec : D₁ = Diamètre Nord-Sud ; D₂ = Diamètre Est-Ouest et H_p = Hauteur du houppier.

La surface (S) au sol du houppier est calculée à partir de la formule (4) suivante :

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (4) \quad \text{avec D le diamètre moyen}$$

du houppier de l'arbre.

Humidité pondérale et température du sol

A défaut d'une sonde de profil PR2 (DLT), la masse d'eau contenue dans le sol à un instant donné et à 0 – 20 cm de profondeur

a été déterminée à partir des prélèvements des échantillons de sol au niveau des placettes hors et sous houppier à l'aide d'une tarière puis une partie de l'échantillon a été conservée dans des boîtes en aluminium à couvercle de même forme et de même volume. Le poids frais est déterminé sur le terrain à l'aide d'une balance électronique puis le poids sec déterminé au laboratoire après séchage à 105 °C pendant 72 heures. L'humidité pondérale (HP) du sol est déterminée par la formule (5) proposée par Soltner (2000) :

$$HP = \frac{MF-MS}{MS} \times 100 \quad (5)$$

MF = Masse de sol frais et MS = Masse de sol sec.

A l'aide d'un thermomètre SK-L200TH, les mesures de température ont été effectuées dans les sols hors et sous houppiers à la profondeur de 0 – 20 cm au niveau de tous les arbres identifiés. Les mesures de température ont été chaque fois couplées avec celles de l'humidité. Ces deux paramètres ont été déterminés chaque quinzaine à partir du 30^{ème} jour après semis et ceci jusqu'à la maturité du maïs.

Analyses physico-chimiques du sol

Les échantillons de sol prélevés sous et hors houppier des arbres après le labour des parcelles d'essai ont été séchés puis ont subi des analyses physico-chimiques au Laboratoire des Sciences du Sol, Eau et Environnement (LSSEE) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB). Les méthodes d'analyses physico-chimiques des échantillons du sol sont celles développées par Page et al. (1982). Ces analyses ont consisté en la détermination de la granulométrie par la méthode de la pipette de Robinson, du pH(eau) (méthode potentiométrique dans un rapport sol/solution de 1/2,5), du carbone organique (méthode de Walkley & Black), du phosphore assimilable (méthode de Bray 1), de l'azote total (méthode de Kjeldahl), du potassium

échangeable (méthode de l'acétate d'ammonium 1N à pH 7) et le magnésium et calcium échangeables par la méthode de titrimétrie EDTA (Acide Ethylène Diamine Tétracétique).

Mesure du rendement en grains et en paille du maïs

A la maturité physiologique, les rendements grain et paille ont été déterminés au niveau de chaque placette. Des échantillons ont été prélevés, envoyés au laboratoire où ils ont été séchés à 70 °C jusqu'à poids constant (après 72 heures) à l'étuve afin de déterminer la matière sèche.

Après le séchage, les échantillons d'épis de maïs de chaque unité expérimentale sont égrenés et le poids des grains et celui des rafles sont relevés. Les rendements en grains et en paille ont été estimés suivant la méthode développée par Saïdou (1992) et qui se résume comme suit (Formule 6) :

$$Rg = \frac{10.000 \times P \times MS \times n}{SI} \quad (6)$$

Avec Rg = Rendement en grains (kg MS/ha) ; P = Poids total des épis de chaque unité expérimentale pesés au champ (kg) ; MS = Taux de Matière Sèche des épis ; SI = Surface Interprétable (m²) ; n = Rapport poids grains secs de l'échantillon après égrenage sur poids total échantillon épis secs.

Le rendement en paille a été mesuré à partir de la formule (7)

$$Rp = \frac{10.000 \times Pp \times MS}{SI} \quad (7)$$

Avec Rp = Rendement en paille (kg MS/ha) ; Pp = Poids total de la paille de chaque unité expérimentale pesée au champ (kg) ; MS = Taux de Matière Sèche de la paille ; SI = Surface Interprétable (m²).

Analyses statistiques

Le logiciel Statistical Analysis System version 9.1 (SAS v. 9.1) a été utilisé pour les analyses statistiques. Ces analyses ont essentiellement consisté en des analyses de la variance (à un, deux et trois facteurs) et le

modèle Proc-GLM a été utilisé. Les paramètres dendrométriques ont subi une analyse de la variance à un facteur tandis que l'humidité pondérale et la température du sol et les propriétés chimiques du sol ont subi une analyse de la variance à deux facteurs en considérant les classes de diamètre du houppier du karité et les positions sous et hors houppier des placettes. En ce qui concerne les mesures de rendement grains et paille du maïs, nous avons effectué une analyse de la variance à trois facteurs en considérant les classes de diamètre du houppier du karité, les positions des placettes (sous et hors houppier) et l'orientation géographique des placettes. Les valeurs moyennes ont été ensuite comparées entre elles à l'aide du test de Student Newman-Keuls au seuil de 5%.

RESULTATS

Caractéristiques morphologiques des arbres des parcs à karité

Les classes de diamètre du houppier des arbres des parcs à karité influencent significativement (P < 0,001) le diamètre à hauteur d'homme (DBH), le volume du houppier et la surface de la projection du houppier au sol tandis qu'elles n'influent pas significativement (P > 0,05) sur la hauteur du houppier (Tableau 1). Les valeurs les plus élevées pour tous ces paramètres s'observent au niveau des classes C₅, C₄ et C₃. Toutefois, on ne note aucune différence significative (P > 0,05) entre les hauteurs du houppier.

Effet des différentes classes de diamètre du houppier des arbres du karité et de la position des placettes sur l'humidité pondérale et la température du sol

Les résultats du Tableau 2 montrent qu'il existe une différence hautement significative (P < 0,001) entre les positions sous et hors houppier pour l'humidité pondérale du sol et ceci pour toutes les périodes de mesures. L'évolution de l'humidité pondérale du sol selon les différentes classes de diamètre du houppier des arbres du parc à karité en considérant les positions sous et hors houppier est illustrée

par la Figure 2. Il ressort de l'analyse des résultats de cette figure, que l'humidité du sol sous houppier est significativement plus élevée que celle hors houppier au niveau des classes de diamètres C_2 (respectivement à 60 et 90 JAS); C_3 (75 à 90 JAS); C_4 (respectivement à 45, 60, 75 et 90 JAS) enfin C_5 (respectivement à 45, 60, 75 et 90 JAS). Dans l'ensemble, il apparaît que plus le diamètre du houppier est important, plus nette est la différence entre l'humidité sous et hors houppier des arbres du karité. En considérant les diamètres du houppier, à 45 JAS on note que les valeurs de l'humidité pondérale au niveau de la classe du houppier C_5 sont significativement ($P < 0,05$) plus élevées que celles de la classe de diamètre du houppier C_4 selon le test de Student Newman Keuls. Par contre, on ne note aucune différence significative ($P > 0,05$) entre les diamètres du houppier pour les autres mesures de l'humidité pondérale.

Les résultats du Tableau 2 montrent également des effets significatifs ($P < 0,05$) des classes de diamètre du houppier sur l'humidité pondérale uniquement à 45 JAS. Par contre, les classes de diamètre du houppier ont significativement ($P < 0,05$ et $P < 0,0001$) affecté la température du sol pour toutes les périodes de mesure excepté à 75 JAS. L'évolution de la température du sol suivant les différentes classes de diamètre du houppier et la position des placettes est illustrée par la Figure 3. Les températures moyennes sont significativement ($P < 0,01$) plus élevées hors houppier que sous houppier. A 45 JAS, on observe que les températures au niveau des classes de diamètre C_4 et C_5 sont significativement supérieures à celles notées au niveau des autres classes de diamètre du houppier. A 60 JAS, la classe de diamètre du houppier C_1 a présenté des températures du sol significativement plus faibles comparativement aux autres classes de diamètre du houppier. A 90 JAS on observe une tendance contraire. Les températures notées au niveau de la classe de diamètre du houppier C_1 sont significativement plus élevées que celles observées au niveau des

classes de diamètre du houppier C_4 et C_5 d'après le test de Student Newman-Keuls.

Effet des différentes classes de diamètre du houppier des arbres de karité sur les propriétés chimiques du sol

Le Tableau 3 présente les résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs des propriétés chimiques du sol avant le démarrage de l'essai considérant les classes de diamètre du houppier des arbres de karité et la position des placettes. Il ressort de l'analyse des résultats de ce tableau qu'il n'y a pas de différence significative ($P > 0,05$) d'une part, entre les différentes classes de diamètre du houppier des arbres de karité et d'autre part, entre les différentes positions (hors et sous houppier) pour toutes les propriétés chimiques du sol. Les valeurs du pH (eau) observées de façon générale montrent que les sols sont de pH plus ou moins neutres (Tableau 4). En général, il ressort des résultats de ce dernier tableau que le pH (eau) est légèrement élevé sous houppier comparativement à celui des placettes hors houppier considérant les classes de diamètre du houppier C_1 et C_4 . Les teneurs du sol en carbone organique et en azote total sont légèrement supérieures sous houppier que hors houppier au niveau des classes de diamètre du houppier C_1 , C_2 et C_5 . En ce qui concerne les teneurs du sol en phosphore assimilable (Bray 1), les valeurs sont supérieures sous houppier comparativement au sol des placettes hors houppier considérant les classes de diamètre du houppier C_1 et C_2 . Les résultats des bases échangeables montrent que les valeurs du Calcium sont légèrement supérieures sous houppier comparativement au sol des placettes hors houppier pour toutes les classes de diamètre du houppier à l'exception de la classe C_1 . Celles du potassium échangeable sont légèrement plus élevées sous houppier que hors houppier pour les classes de diamètre du houppier C_1 , C_2 et C_5 . Les teneurs en magnésium échangeable sont légèrement élevées sous houppier comparativement au sol des placettes hors houppier uniquement au niveau de la classe de diamètre du houppier C_2 . D'une manière

générale, il ressort des résultats du Tableau 4 que les teneurs en carbone organique, en azote total et en calcium échangeable sont élevées sous houppier comparativement au sol des placettes hors houppier même s'il n'existe pas de différence significative entre ces valeurs selon le test de Student Newman-Keuls.

Effet des différentes classes de diamètre du houppier des arbres de karité, de la position des placettes par rapport au houppier et de l'orientation géographique des placettes sur les rendements du maïs

La position des placettes par rapport au houppier influence très significativement ($P < 0,001$) les rendements grains et paille du maïs (Tableau 5). Mais, l'effet des classes de diamètre du houppier des arbres et celui de l'orientation géographique des placettes ne sont pas significatifs ($P > 0,05$) sur ces paramètres. La Figure 4 illustre les rendements moyens en grains et en paille du maïs en fonction des classes de diamètre du

houppier et des positions des placettes par rapport au houppier. Il ressort de cette figure que, d'après le test de Student Newman-Keuls, la différence entre les rendements moyens en grains sous et hors houppier de karité est significative ($P < 0,05$) au niveau de toutes les classes de diamètre du houppier à l'exception de la classe C_4 . Pour ce qui concerne le rendement moyen en paille, on observe une différence significative ($P < 0,05$) entre les placettes sous et hors houppier uniquement au niveau des classes de diamètre du houppier C_1 et C_5 . D'une manière générale, les rendements moyens en grains et en paille sous houppier sont respectivement de $1,19 \pm 0,09$ et $2,78 \pm 0,18$ t MS/ha alors que dans les placettes situées hors houppier, les rendements sont respectivement de $2,23 \pm 0,16$ et $4,14 \pm 0,30$ t MS/ha. Les rendements grains et paille sous houppier sont donc réduits respectivement de 46,64% et de 32,85% comparativement à ceux situés dans la zone hors houppier.

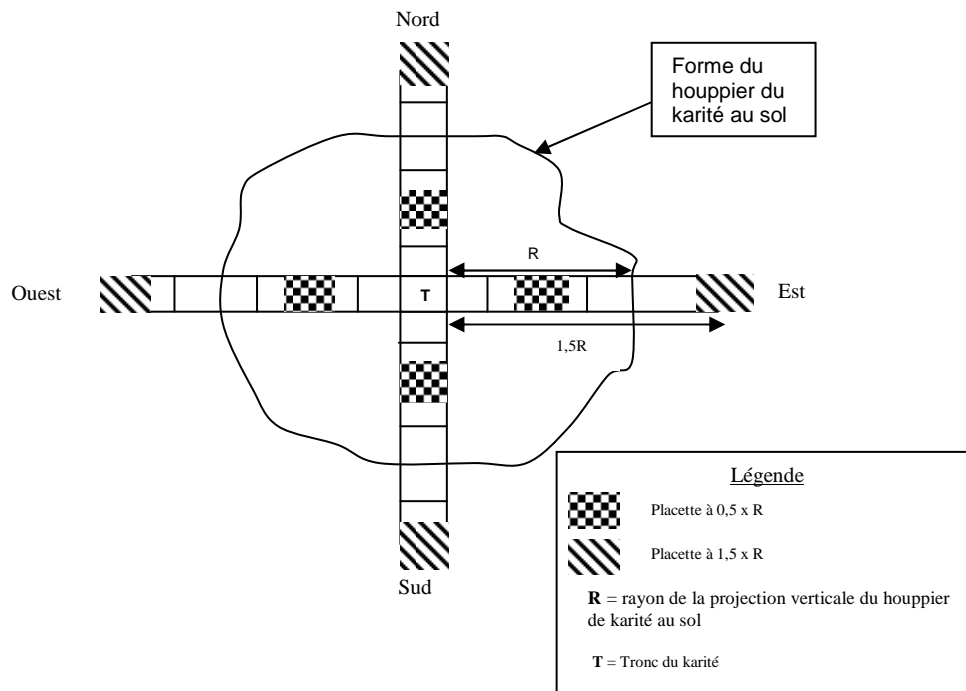


Figure 1: Dispositif expérimental de l'essai.

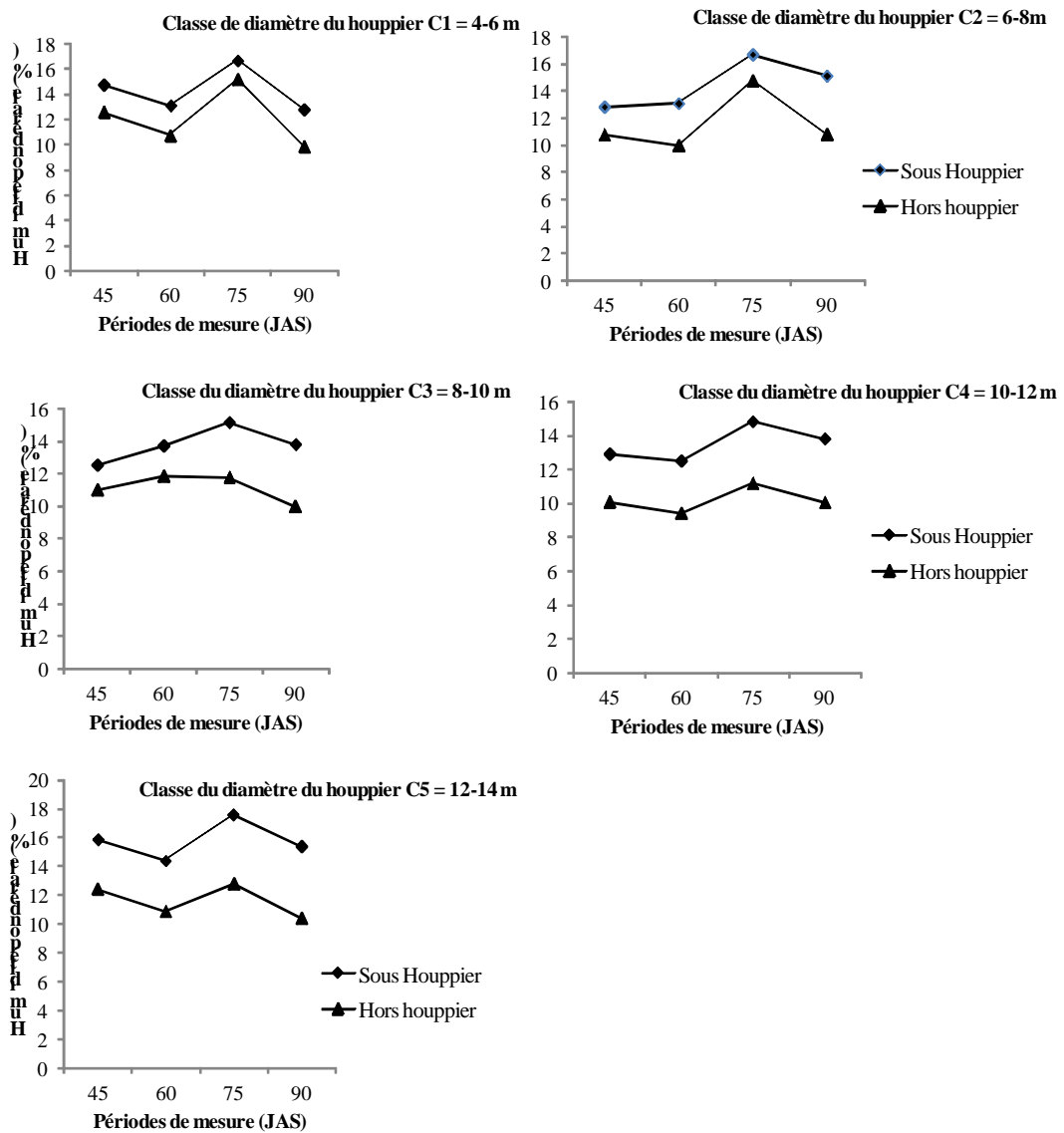


Figure 2: Effet des différentes classes de diamètre du houppier des arbres de karité sur l'humidité pondérale du sol à différentes périodes de développement du maïs considérant la position des placettes par rapport au houppier.

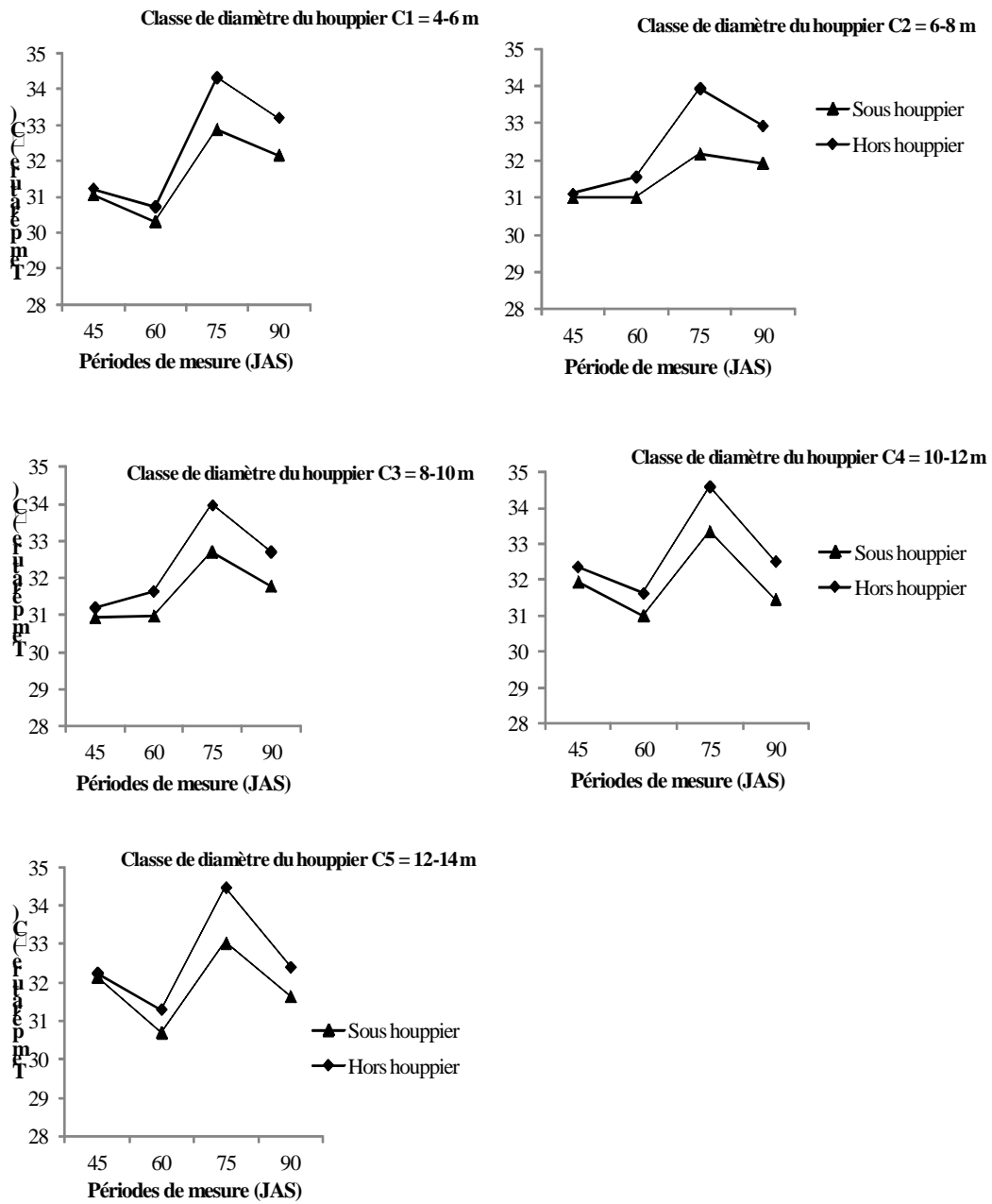


Figure 3: Effet des différentes classes de diamètre du houppier des arbres de karité sur la température du sol à différentes périodes de développement du maïs considérant la position des placettes par rapport au houppier.

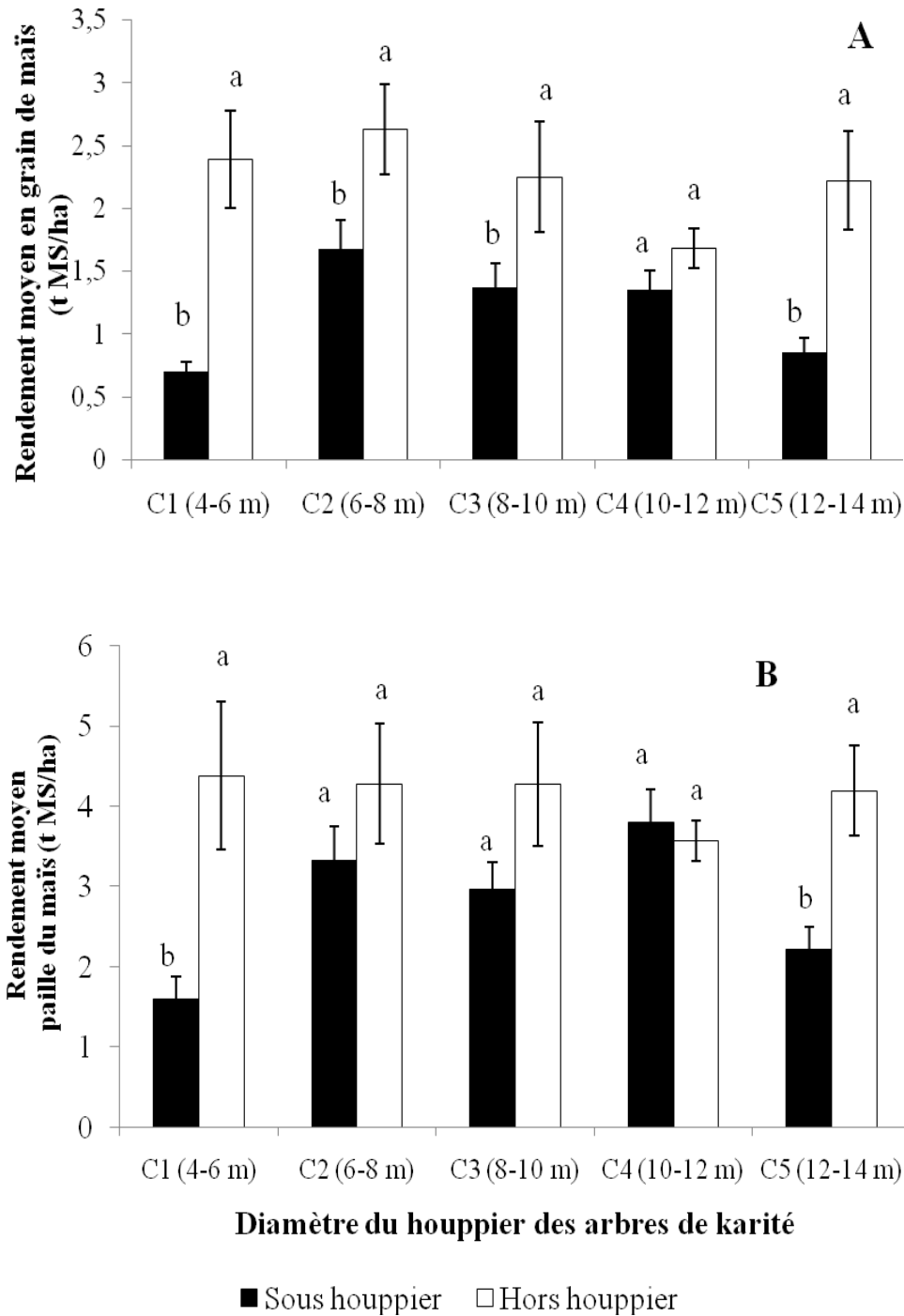


Figure 4: Effet des différentes classes de diamètre du huppier des arbres du karité sur les rendements moyens grains (A) et paille (B) du maïs considérant la position des placettes. Les moyennes suivies des mêmes lettres alphabétiques et pour les mêmes classes de diamètre ne sont pas significativement différentes d'après le test de Student Newman-Keuls.

Tableau 1: Valeurs moyennes des données dendrométriques des arbres de karité dans le parc à karité du village de Guessou Sud au Bénin.

Classes de diamètre	Caractéristiques morphologiques des arbres du karité			
	DBH (cm)	Hauteur du Houppier (m)	Volume du houppier (m ³)	Surface du houppier au sol (m ²)
C ₁ (4-6 m)	27,65±1,46 c	5,80±1,15 a	99,43±16,07 c	27,08±0,67 d
C ₂ (6-8 m)	34,57±0,65 b	6,00±0,17 a	166,91±25,96 c	41,49±5,48 d
C ₃ (8-10 m)	34,39±2,24 b	6,65±0,44 a	270,35±13,68 bc	61,41±2,79 c
C ₄ (10-12 m)	39,60±0,30 b	7,75±0,41 a	476,51±46,89 b	92,06±4,25 b
C ₅ (12-14 m)	48,90±2,83 a	8,75±1,17 a	743,00±138,32 a	126,07±7,01 a

Les valeurs sont des moyennes ± Erreurs Standards de trois répétitions. Les moyennes suivies des mêmes lettres alphabétiques et pour les mêmes caractéristiques ne sont pas significativement différentes ($P > 0,05$) d'après le test de Student Newman-Keuls.

Tableau 2: Résultats de l'analyse de la variance (valeur de F) à deux facteurs de l'humidité pondérale et la température du sol à différentes périodes de développement du maïs considérant les classes de diamètre du houppier des arbres de karité et la position par rapport au houppier des placettes.

Source de variance	ddl	45 JAS		60 JAS		75 JAS		90 JAS	
		Hp	T	Hp	T	Hp	T	Hp	T
Classe	4	4,08 *	5,86 **	1,34 ns	5,74 ***	1,60 ns	1,54 ns	0,65 ns	4,14 *
Position	1	19,16 ***	0,95 ns	22,73 ***	20,57 ***	10,44 **	31,25 ***	25,34 ***	54,43 ***
Classe x Position	4	0,36 ns	0,08 ns	0,27 ns	0,10 ns	0,40 ns	0,13 ns	0,20 ns	0,15 ns

ddl = degré de liberté ; Hp = Humidité pondérale du sol ; T = Température du sol ; JAS = Jours Après Semis ; ns = $P > 0,05$; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,0001$.

Tableau 3: Résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs (valeurs de F) des propriétés chimiques du sol avant le démarrage de l'essai considérant les classes de diamètre du houppier des arbres du karité et la position par rapport au houppier des placettes.

Sources de variation	ddl	Valeurs de F						
		pH(H ₂ O)	C-org.	N-total	P-Bray 1	Bases échangeables		
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
Classe	4	0,36 ns	1,49 ns	1,56 ns	0,26 ns	0,54 ns	0,59 ns	0,89 ns
Position	1	0,06 ns	0,12 ns	2,12 ns	0,70 ns	3,08 ns	0,18 ns	0,02 ns
Classe x Position	4	0,25 ns	0,38 ns	1,16 ns	0,82 ns	0,84 ns	1,04 ns	0,56 ns

C-org. = Carbone organique ; ddl = degré de liberté ; ns = non significatif

Tableau 4: Effets des différentes classes de diamètre du houppier du karité et de la position des placettes par rapport au houppier sur les propriétés chimiques du sol (0-20 cm de profondeur) avant l'installation de l'essai.

Classes de diamètre du houppier	Position par rapport au Houppier	Propriétés chimiques du sol						
		PH (eau)	C organique (g/kg)	N total (g/kg)	P Bray 1 (mg/kg)	Bases échangeables		
						Ca ²⁺ (cmol/kg)	Mg ²⁺ (cmol/kg)	K ⁺ (cmol/kg)
C ₁ (4-6m)	P ₁ (Sous)	7,23±0,09	30,85±3,33	3,05±0,05	45,67±27,29	4,93±0,58	1,87±0,59	0,89±0,37
	P ₂ (Hors)	7,17±0,07	27,89±1,71	1,88±0,02	41,67±8,67	4,93±0,07	2,00±0,00	0,67±0,07
	Moyenne	7,20±0,05 A	29,37±1,80 A	2,47±0,26 A	43,67±12,84 A	4,93±0,26 A	1,93±0,27 A	0,78±0,17 A
C ₂ (6-8m)	P ₁ (Sous)	7,13±0,13	38,61±7,11	3,34±0,48	49,67±14,65	7,20±1,53	2,20±0,46	1,04±0,20
	P ₂ (Hors)	7,20±0,00	35,84±0,00	2,69±0,00	39,00±0,00	4,40±0,00	1,60±0,00	1,00±0,00
	Moyenne	7,17±0,06 A	37,23±3,24 A	3,01±0,26 A	44,33±6,97 A	5,80±0,93 A	1,9±0,25 A	1,02±0,09 A

C ₃ (8-10m)	P ₁ (Sous)	7,23±0,07	27,38±5,02	2,11±0,20	29,67±2,33	4,87±1,07	1,27±0,29	0,68±0,06
	P ₂ (Hors)	7,27±0,03	28,27±3,79	2,12±0,28	52,33±6,67	4,67±0,13	1,87±0,13	0,87±0,07
	Moyenne	7,25±0,03 A	27,82±2,82 A	2,11±0,16 A	41,00±5,97 A	4,77±0,48 A	1,57±0,20 A	0,77±0,06 A
C ₄ (10-12m)	P ₁ (Sous)	7,27±0,18	27,00±4,41	1,80±0,05	23,00±10,97	4,87±1,59	1,53±0,29	0,73±0,09
	P ₂ (Hors)	7,23±0,03	32,05±3,79	2,41±0,28	45,67±6,67	4,53±0,13	1,73±0,13	0,93±0,07
	Moyenne	7,25±0,08 A	29,53±2,83 A	2,10±0,19 A	34,33±7,66 A	4,70±0,72 A	1,63±0,15 A	0,83±0,07 A
C ₅ (12-14m)	P ₁ (Sous)	7,17±0,03	37,33±8,00	3,48±1,39	44,33±12,81	6,87±2,01	1,67±0,33	0,98±0,27
	P ₂ (Hors)	7,23±0,03	32,05±3,79	2,41±0,28	45,67±6,67	4,53±0,13	1,73±0,13	0,93±0,07
	Moyenne	7,20±0,02 A	34,69±4,13 A	2,94±0,68 A	45,00±6,46 A	5,70±1,04 A	1,70±0,16 A	0,95±0,12 A

Les valeurs sont des moyennes ± Erreurs Standards de trois répétitions. Les moyennes générales des classes de diamètre des arbres suivies des mêmes lettres alphabétiques et pour les mêmes caractéristiques ne sont pas significativement ($P > 0,05$) différentes d'après le test de Student Newman-Keuls. L'absence de lettres dans une même catégorie de données indique la même tendance.

Tableau 5: Résultats de l'analyse de la variance à trois facteurs (valeurs de F) des rendements grains et paille du maïs considérant les classes de diamètre du houppier des arbres du karité, la position des placettes et l'orientation géographique des placettes.

Sources de variation	Ddl	Valeurs de F	
		Rendement grain	Rendement paille
Classes	4	1,62 ns	0,64 ns
Positions	1	29,62 ***	12,3 ***
Orientations	3	0,69 ns	0,73 ns
Classes x Positions	4	1,46 ns	1,69 ns
Classes x Orientations	12	0,54 ns	0,21 ns
Positions x Orientations	3	0,08 ns	0,19 ns
Classes x Positions x Orientations	12	0,52 ns	0,25 ns

ddl = degré de liberté ; ns = non significatif ; *** = $P < 0,0001$

DISCUSSION

Influence des arbres de karité sur la variation de l'humidité pondérale et de la température du sol

L'humidité du sol est significativement plus élevée sous houppier comparativement aux placettes hors houppier des arbres du karité et cette différence varie en fonction des classes de diamètre du houppier. La différence observée entre les humidités pondérales du sol sous et hors houppier est toujours plus significative selon la période de mesure. En effet, l'augmentation de l'humidité pondérale du sol obtenue sous houppier comparativement à la zone hors houppier peut être due à l'effet de l'ombrage lequel, selon Baker et al. (2003) et Zomboudré et al. (2005) réduit l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration des cultures sous-jacentes. L'humidité accrue sous les houppiers du karité peut en outre être attribuée à un retard plus ou moins important de l'égouttage de la pluie interceptée par le houppier (Baker et al., 2003; Zomboudré et al., 2005). Il est évident que cet égouttage se fera plus rapidement lorsque le houppier est moins dense et plus lentement lorsque le houppier est plus compact ce qui explique les taux d'humidité pondérale élevés sous les karités possédant de large classe de diamètre du houppier.

La température par contre, est significativement plus élevée dans les sols hors houppier que sous houppier. Cette réduction de la température des sols sous houppier serait également liée à l'effet de l'ombrage qui selon Jonsson et al. (1999) contribue à modérer la température ambiante et à augmenter l'humidité de l'air sous houppier. La différence observée entre les températures des sols sous et hors houppier est plus significative lorsque la classe de diamètre du houppier est plus large. Ces résultats corroborent ceux de Jonsson et al. (1999) et Baker et al. (2003). En effet, on pourrait l'expliquer par le fait que, plus le diamètre du houppier est large et dense, plus la température du sol sera réduite comparativement à la zone hors houppier. De

ces résultats, on peut prédire une réduction considérable de la photosynthèse sous houppier due à une faible pénétration de l'intensité lumineuse (Jonsson et al., 1999). En effet, ces auteurs ont mentionné des baisses de 20% de l'intensité de la lumière dans les zones sous houppier du néré. Par contre, Bayala et al. (2002) ont mentionné des baisses de 47% et 38% de l'incidence de l'intensité lumineuse respectivement sous houppier du karité et du néré. La conséquence directe de cette observation est la réduction du niveau de rendement des cultures sous houppier telle que observée dans le cadre de la présente étude.

Influence des arbres de karité sur les propriétés chimiques du sol

Il ressort de l'ensemble des résultats de l'analyse chimique du sol, des effets non significatifs de la position des placettes par rapport au houppier sur les caractéristiques du sol à l'exception du carbone et de l'azote qui ont présenté des taux légèrement élevés sous houppier. Cette augmentation pourrait être due à la qualité de la litière de karité telle que déjà observée par Traoré et al. (2004) et Bayala et al. (2005) qui ont montré que la litière de karité améliore les performances de la culture associée même si la différence n'est pas toujours significative. De plus, Bayala et al. (2005) ont montré l'importance du recyclage des nutriments sous karité. Ces auteurs ont mentionné une importante contribution en phosphore total, potassium total et potassium assimilable par la biomasse des feuilles de karité en décomposition. Nos résultats corroborent celui de Bayala et al. (2002 ; 2005) qui ont trouvé des teneurs de carbone et d'azote significativement plus élevées dans le sol sous houppier de karité comparativement à la zone hors houppier. La litière de karité améliorerait donc les propriétés du sol pour la production effective des cultures. Ce résultat est en accord avec les conclusions de certains auteurs qui ont travaillé sur les systèmes de transfert de biomasse et qui ont montré d'importantes augmentations des rendements des cultures au

niveau des parcelles ayant reçu un apport de la litière de karité (Bayala et al., 2002 ; 2003 ; 2006).

Les teneurs en P assimilable sont légèrement élevées hors houppier que sous houppier. Ce résultat corrobore ceux de Bayala et al. (2002 ; 2005) qui ont trouvé une faible teneur en phosphore sous les karités comparativement à la zone hors houppier et cela peut être dû à leurs grandes demandes en cet élément. Ainsi, il y a compétition entre le karité et les cultures associées pour ce nutriment. De façon générale, les valeurs de phosphore trouvées sont toutes supérieures à 20 mg/kg (seuil critique), les valeurs du phosphore assimilable sont donc très élevées. Cela peut être dû à la richesse des sols en matière organique résultat du recyclage des nutriments sous le karité.

Influence des arbres de karité sur les rendements grains et paille du maïs

Les rendements grains du maïs obtenus présentent presque la même tendance que celui de la paille enregistré. Malgré l'importance de l'humidité et du niveau de fertilité du sol sous houppier due à sa richesse en certains éléments, la production du maïs est restée bien inférieure à celle relevée hors houppier. Comme montré précédemment au niveau des caractéristiques chimiques du sol, l'explication probable est la forte réduction de la photosynthèse due à l'ombrage. Ces résultats corroborent ceux de Bayala et al. (2002) et Zomboudré et al. (2005). Ces auteurs ont attribué dans leurs études, les faibles rendements de la culture annuelle associée au karité à l'effet de l'ombrage, la compétition à la nutrition hydrique et la compétition pour la nutrition minérale de l'arbre et de la culture annuelle.

Des observations similaires ont été faites sur une culture de sorgho associée au néré et au karité où les rendements avaient considérablement baissé dans les parcelles sous houppier (Kessler, 1992). Des résultats de cet auteur, il ressort que la diminution du rendement était fortement corrélée avec une diminution régulière de l'intensité lumineuse

sous les arbres. Kater et al. (1992) ont attribué les réductions de rendement des cultures sous les karités à l'intensité de l'ombrage et au fort taux d'humidité lequel pouvant induire des maladies fongiques sous ombrage.

L'analyse statistique révèle qu'il n'y a pas de différence significative entre les classes de diamètre du houppier de karité. Ces résultats corroborent ceux de Zomboudré et al. (2005) au niveau des formes du houppier (boule et balai) lesquelles dominent dans notre zone d'étude. De façon générale, on note des réductions des rendements grains et paille du maïs sous houppier respectivement de 46,6% et de 32,8% comparativement à la zone hors houppier. Ce résultat confirme ceux de Boffa et al. (2000) qui ont trouvé des niveaux de réduction des rendements sous houppier de karité et de néré de 40 à 50% pour le sorgho et le millet comparativement aux parcelles situées en plein air. Par contre, Zomboudré et al. (2005) ont calculé des baisses de rendement du maïs de 35 à 54% sous houppier selon qu'il s'agisse du houppier en boule ou en balai.

Pour une amélioration du potentiel de production du maïs dans les parcs à karité, nous recommandons aux producteurs d'éviter les semis dans les environnements immédiats des arbres. Toutefois, le labour doit se faire de façon uniforme afin de favoriser une distribution des résidus organiques provenant du recyclage de la litière des feuilles du karité. Cette pratique pourrait également permettre de sauvegarder les repousses de karité qui le plus souvent apparaissent sous houppier.

Conclusion

Il ressort de la présente étude que les arbres de karité ont une influence positive sur l'humidité, la température du sol et certains nutriments du sol. La richesse en carbone organique et en azote serait le résultat du recyclage des nutriments à travers la litière. Cette influence du houppier sur les caractéristiques mesurées est d'autant plus importante lorsque le diamètre du houppier est large. Par contre, on a noté une influence négative des arbres de karité sur les

rendements grains et paille du maïs. Cette baisse du niveau des rendements grains et paille est estimée respectivement à 46,64% et 32,8% comparativement à la zone hors houppier et s'explique par l'effet de l'ombrage lequel réduirait considérablement l'intensité lumineuse. Il est apparu d'une façon générale que, le diamètre du houppier du karité de même que les orientations géographiques Nord, Sud, Est et Ouest n'influencent pas significativement le niveau de rendement du maïs. Au vue des résultats de la présente étude, nous recommandons aux producteurs de la zone soudanienne de limiter l'élagage des arbres de karité afin d'accroître la production de biomasse morte. Cette pratique permettrait de maintenir pendant une longue période le taux d'humidité du sol, d'accroître le stock de matière organique du sol et de contribuer au recyclage des nutriments au niveau de la partie arable du sol à travers les feuilles.

RÉFÉRENCES

- Baker TR, Burslem DFRP, Swaine MD. 2003. Association between tree growth, soil fertility and water availability at local and regional scales in Ghanaian tropical rain forest. *J. Trop. Ecol.*, **19**: 109-125.
- Balogoun I. 2009. Potentiel de production d'une culture de maïs dans un système agroforestier à karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn) en zone soudanienne du Bénin. Thèse d'ingénieur agronome. Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, p. 99.
- Balogoun I. 2012. Essai de validation des formules d'engrais et des périodes de semis recommandées par le modèle DSSAT pour la production de maïs (*Zea mays* L.) au Sud et Centre Bénin. Mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, p. 78.
- Bayala J, Teklehaimanot Z, Ouedraogo SJ. 2002. Millet production under pruned tree crowns in a parkland system in Burkina Faso. *Agrofor. Syst.*, **54**: 203-214.
- Bayala J, Mando A, Ouédraogo SJ, Teklehaimanot Z. 2003. Managing *Parkia biglobosa* and *Vitellaria paradoxa* prunings for crop production and improved soil properties in the Sub-Saharan zone of Burkina Faso. *Arid Land Res. Man.*, **17**: 283-296.
- Bayala J, Mando A, Teklehaimanot Z, Ouédraogo SJ. 2005. Nutrient release from decomposing leaf mulches of karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) under semi-arid conditions in Burkina Faso, West Africa. *Soil Biol. Biochem.*, **37**: 533-539.
- Bayala J, Balesdent J, Marol C, Zapataet F, Teklehaimanot Z, Ouédraogo SJ. 2006. Relative contribution of trees and crops to soil carbon content in a parkland system in Burkina Faso using variations in natural ¹³C abundance. *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, **76**: 193-201.
- Boffa JM, Taonda SJB, Dickey JB, Knudson DM. 2000. Field-scale influence of karité (*Vitellaria paradoxa*) on sorghum production in the Sudan zone of Burkina Faso. *Agrofor. Syst.*, **49**: 153-175.
- Dah-Dovonon JZ, Gnanglè CP. 2006. Evaluation des potentialités de développement de la filière karité dans les départements de l'Atacora et de la Donga. Rapport d'étude GTZ/MAEP/MEPN/ProCGRN, Cotnou, Bénin, p. 93.
- Dianda M, Bayala J, Diop T, Ouédraogo SJ. 2009. Improving growth of shea butter tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) seedlings using mineral N, P and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **13**(1): 93-102.
- FAO. 1990. *Guidelines for Soil Profile Description* (3rd edn). Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Soil Reference Information Centre, Land and Water Development Division, FAO: Rome, Italy.

- Gnanglè PC. 2005. Parcs à karité (*Vitellaria paradoxa*) (Gaertn. C.F.) (Sapotaceae) au Bénin : Importance socio-culturelle, caractérisation morphologique, structurale et régénération naturelle. Mémoire de DEA, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, p.113.
- Gnanglè PC, Egah J, Baco MN, Gbemavo DSJC, Glèlè-Kakaï R, Sokpon N. 2012. Perceptions locales du changement climatique et mesures d'adaptation dans la gestion des parcs à karité au Nord-Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(1): 136-149.
- IPGRI/INIA. 2006. Descriptors for Shea tree (*Vitellaria paradoxa*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, p. 30-31.
- Jonsson K, Ong CK, Odongos JCW. 1999. Influence of scattered néré and karité on microclimate, soil fertility and millet yield in Burkina Faso. *Exp. Agric.*, **35**: 39-53.
- Kater LJM, Kanté S, Högborg P. 1992. Karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) associated with crops in South Mali. *Agrofor. Syst.*, **18**: 89-105.
- Kessler JJ. 1992. The influence of karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) trees on sorghum production in Burkina Faso. *Agrofor. Syst.*, **17**: 97-118.
- Nikiema A. 2005. Agroforestry parkland species diversity: uses and management in semi-arid West Africa (Burkina Faso). PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands.
- Page AL, Miller RH, Keeney DR. 1982. Methods of soil analysis Part 2: Chemical and microbiological properties. *Agronomy Monograph N° 9* (2nd edn). American Society of Agronomy/Soil Science Society of America: Madison, Wisconsin USA.
- Rondeux J. 1999. *Les Mesures des Arbres et des Peuplements Forestiers*. Les Presses Agronomiques de Gembloux: Gembloux, Belgique.
- Saïdou A. 1992. Effets de l'apport de différents matériaux végétaux sur la fertilité d'un sol ferrallitique (terre de barre) du Sud Bénin. Thèse d'Ingénieur Agronome, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, p. 71.
- Saïdou A, Kossou D, Acakpo C, Richards P, Kuyper WT. 2012. Effects of farmers' practices of fertilizer application and land use types on subsequent maize yield and nutrient uptake in Central Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(1): 363-376.
- Scherr SJ, Yadev S. 2001. Land degradation in the developing world: issues and policy options for 2020. In *The Unfinished Agenda: Perspectives on Overcoming Hunger and Environment Degradation*, Pinstrup-Andersen P, Lorch RJ (eds). International Food Policy Research Institute: Washington, DC.
- Soltner D. 2000. *Les Bases de la Production Végétale : le Sol et son Amélioration* (Tome 1). Editions Sciences et Techniques Agricoles, Le Clos Lorelle, Sainte-Gemmes Sur Loire : France, p. 67.
- Traoré K, Ganry F, Olivier R, Gigou J. 2004. Litter production and soil fertility in a *Vitellaria paradoxa* parkland in a catena in Southern Mali. *Arid Land Res. Manage.*, **18**: 359-368.
- Yaméogo G, Yélémo B, Traoré D. 2005. Pratique et perception paysannes dans la création de parc agroforestier dans le terroir de Vipalogo (Burkina Faso). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **9**(4): 241-248.
- Zomboudré G, Zombré G, Ouedraogo M, Guinko S, Macauley HR. 2005. Réponse physiologique et productivité des cultures dans un système agroforestier traditionnel: cas du maïs (*Zea mays* L.) associé au karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) dans la zone est du Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **9**(1): 75-85.