

Productivité du maïs (*Zea mays* L.) associé au karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) dans un système agroforestier

G. ZOMBOUDRE¹, G. ZOMBRE¹, M. B. OUEDRAOGO¹, S. GUINKO et H. MACAULEY².

RESUME

Le comportement d'une culture de maïs en situation de sécheresse a été étudié dans un parc à karité. Trois zones de la surface sous influence de l'ombrage de chacune des deux formes de houppier de ce parc (boule et balai) ont été comparées à la zone située hors houppier. La teneur en eau et la fertilité du sol, le taux d'assimilation chlorophyllienne, la croissance et la productivité du maïs ont été évalués dans ces zones. Les précipitations sont plus élevées sous le houppier en balai que sous le houppier en boule. La teneur pondérale en eau du sol s'est révélée par contre plus élevée sous le houppier en boule aussi bien en août qu'en septembre, à cause de l'importance de l'ombrage contribuant à réduire la transpiration des cultures sous-jacentes et l'évaporation du sol. Les sols sont restés plus fertiles sous les houppiers qu'en dehors du houppier. La réduction de croissance du maïs sous les houppiers, par rapport à la zone hors houppier, serait due à l'effet négatif de l'ombrage. L'effet est plus excessif au voisinage des houppiers en boule que sous et près des houppiers en balai. Le taux d'assimilation est plus élevé dans les zones hors houppier. La production du maïs, tant en grain qu'en tige et en épis, a été statistiquement plus élevée hors du houppier que sous le houppier. Elle est relativement plus élevée sous le houppier en balai que sous le houppier en boule.

Mots clés : Karité, maïs, sécheresse, interaction arbre-culture, croissance, productivité,

SUMMARY

Hydrous relations and productivity of the cultures in a traditional agroforestier system : case of maize (*Zea mays* L.) associated the shea tree (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) in the zone is of Burkina Faso.

This study was conducted on the behaviour of corn cultivated in a forest park of shea butter tree. The surface under the influence of shading of the two forms of canopy of this species, termed ball and brush were compared with the zone located outside the shade of the canopy. Soil water content, fertility and deficit, growth and productivity of corn were evaluated in these zones. Rainfall was higher under the brush canopy than under the ball canopy. The soil water content appeared to be higher under the ball canopy than the brush canopy in August and September, because of the importance of the shading due to the ball canopy, which contributes to reducing transpiration of the crop and evaporation of water from the soil. Soil water matrix potential variation was higher both under the brush canopy and outside the shade of the canopy. The soil was found to be more fertile under the canopy than outside the canopy. Grain and ear yield as well as stem biomass were relatively higher under the brush canopy than the ball canopy. However they were lower under than outside the canopy.

Key words : Shea butter tree, corn, interaction tree-crop, growth, productivity,

INTRODUCTION

Au Burkina Faso, l'agriculture est largement dominée par les cultures pluviales dont les plus importantes en production restent le sorgho, le mil et le maïs. Selon les estimations de la F.A.O (2000), près de 2,9 millions d'hectares sont mis en culture chaque année au Burkina. Le maïs occupe 8 à 9% de cette superficie et représente 14% de la production nationale.

Jadis effectuée autour des cases où elle bénéficiait de la matière organique provenant des ordures ménagères et des déjections du petit bétail, la culture du maïs est pratiquée actuellement en plein champ. Dans ce milieu de production, où il n'y a pratiquement pas d'apport de fertilisation, les systèmes agricoles sont

demeurés de type traditionnel et itinérant, basés sur l'exploitation des ressources naturelles (SOME, 1989).

Cette agriculture itinérante, très consommatrice d'espace, évolue dans un contexte de faible niveau de fertilité des sols et de climat très défavorable caractérisé par l'insuffisance et la mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies. De nos jours avec la persistance de la sécheresse, les rendements des cultures et particulièrement ceux du maïs ont tendance à se plafonner et dépassent rarement 0,7 à 1 tonne/ha en milieu pay-

1- Université de Ouagadougou, UFR-SVT BP 7021

2- CERAAS, Thiès Escalé SENEGAL

Auteur principal : Gérard ZOMBRE, Université de Ouagadougou, UFR/SVT 03 BP 7021 OUAGADOUGOU 03 Burkina Faso

Tél.: (226) 76 65 38 14, e-mail : g.zombre@univ-ouaga.bf

rangement spatial aléatoire (SINCLAIR, 1999; BOFFA, 2000). L'avantage de l'intégration de l'arbre dans les systèmes de production a été souligné par plusieurs auteurs (MAIGA, 1987 ; NYBERG et HÖGBERG, 1995 ; BOFFA, 1995, 2000 ; JONSSON et al., 1999).

Par contre, les effets de l'arbre sur les cultures en association semblent contradictoires.

Dans la zone d'influence de l'arbre, les rendements des cultures sont tantôt meilleurs (YOUNG, 1986 ; DIAKITE, 1995) et tantôt réduits (MAIGA, 1987; KESSLER, 1992 ; BOFFA, 1995). Dans ce dernier cas de figure, la compétition entre l'arbre et la culture pour l'utilisation de l'eau et de la lumière a été souvent mise en cause.

La compétition pour l'eau se manifeste généralement en début de saison, lorsqu'une partie des pluies, est interceptée par le houppier. La quantité d'eau qui atteint le sol situé sous houppier peut s'avérer insuffisante du fait qu'ensemble, l'arbre et la culture sous-jacente, absorbent plus d'eau que la composante culturale unique (BOFFA, 2000).

Dans les zones à pluviométrie irrégulière, cette insuffisance d'eau sous le couvert des arbres peut persister une bonne partie de la saison des pluies. Mais, à mesure que la saison avance, les sites arborés tendent à devenir plus humides que les zones découvertes à cause de l'effet d'ombrage (JONSSON, 1995 ; BOFFA, 2000). Cette humidité accrue des sites arborés en milieu de saison ne semble pas se justifier totalement (DIAKITE, 1995). En cas de sécheresse, les horizons superficiels du sol sous le couvert arboré s'assèchent progressivement et de manière uniforme (BOFFA, 2000). Ainsi, au cours d'une saison de végétation, l'alimentation en eau des cultures dans un site arboré sera bonne ou déficitaire selon l'importance et la distribution des précipitations.

Le présent travail a pour but de mieux comprendre le comportement d'une culture en situation de contrainte hydrique naturelle dans une formation végétale, d'évaluer dans cette formation végétale, la teneur en eau du sol, le niveau du stress hydrique du maïs et sa productivité selon le port de l'arbre dans la zone d'influence de l'ombrage du houppier.

I. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Le site d'étude

La formation végétale étudiée est un parc à karité. Elle couvre une superficie de 1 ha et est localisée à l'intérieur de la station de recherche agricole de Kouaré dans la province du Gourma. La station de Kouaré est située à 305m d'altitude et s'inscrit en parallèle entre 12°5'N et 11°55'S et en méridien entre 0°10' et 0°25'W.

Le climat de la zone d'étude est de type nord-soudanien et comprend deux saisons principales : une saison sèche d'octobre à mai et une saison pluvieuse de juin à septembre avec une pluviométrie moyenne en année normale variant de 850 mm à 1050 mm et en année de sécheresse entre 550 mm et 850 mm. La distribution des pluies est de nature uni modale (SIVAKUMAR et GNOUMOU, 1987).

Les sols de la zone d'étude sont de type ferrugineux tropicaux lessivés indurés peu profond (INERA, 1993). La fraction granulométrique est dominée par le limon en surface (52%) et en profondeur (33%). Les fractions de sable et d'argile sont respectivement de 27% et 21% en surface et de 50,5% et 16,6% en profondeur. Le sol présente une carence moyenne en Potassium (1639 ppm) et en Phosphore (302 ppm).

Le matériel végétal est composé des pieds de karité dont les ports sont en boule et en balai (planche 1) et d'une variété de maïs de 90 jours de cycle, communément appelée KPB (Kamboinsé Précoce Blanc).

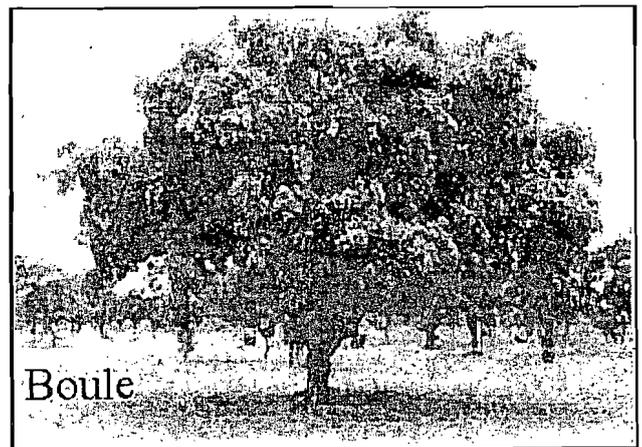


Planche 1. Formes de houppier retenues pour l'étude (Boule et Balai)

1.2. Mise en place de la culture

Les travaux de terrain ont consisté à réaliser un labour à plat suivi du hersage au tracteur dès le début du mois de juillet, date à laquelle les premières pluies

sont tombées. Les semis se sont déroulés dans le même mois (11 et 12 juillet) à des écartement de 0.40m entre les poquets et 0.80m entre les lignes. Deux sarclages ont été effectués, le premier étant intervenu au moment du démarrage et le second 15 jours plu tard. La récolte est intervenue dans la première quinzaine du mois d'octobre.

1.3. Le Dispositif expérimental

La formation végétale de l'aire étudiée est dominée par le karité. Elle couvre une superficie de 1ha avec un effectif de 33 pieds de karité. Les arbres voisins et distants de moins de 5m représentent 42% des pieds et leur houppier est presque fusionné. 58% des arbres sont suffisamment dispersés sur l'aire d'étude et l'espacement entre deux arbres voisins varie de 15 à 20m. Le port du houppier est du type balai chez 60% des karités et le volume du houppier est compris entre 26 et 116m³. Parmi les karités à port en boule, seulement 30% des pieds ont un volume de houppier compris entre 200 et 500m³. Selon DIAKITE (1995) ce peuplement pourrait être jeune car la totalité des karités présente un houppier de faible volume (inférieur à 500m³). Les caractéristiques des 08 sujets retenus pour la présente étude sont regroupées dans le tableau I. Un inventaire

Tableau I : Caractéristiques morphologiques des arbres choisis pour l'étude

Arbre	Circonférence du tronc à 1,30 m (cm)	Diamètre du houppier (m)	Surface du houppier au sol (m ²)	Hauteur du houppier (m)	Volumé du houppier (m ³)
1*	108	9,7	74	4,2	203
3*	157	9,6	73	5,9	289
4*	132	10,4	85	5,6	313
8*	177	9,4	70	4,4	298
2**	108	8,1	53	4,5	96
5**	120	7,6	45	4,8	108
6**	120	7,4	44	7,8	123
7**	124	8,3	54	5,4	116
Moyenne	132	8,3	62	5,6	193

* karité avec un houppier en boule; ** karité avec un houppier en balai

suivi de mensurations des arbres présents a été réalisé avant le démarrage de la campagne. Les résultats de cet inventaire ont permis d'opérer un choix au hasard de 8 pieds de Karité dispersés à l'intérieur du parc et suffisamment distants les uns des autres de façon à ce que l'ombre projetée des houppiers ne se recoupe pas. Les 8 pieds de karité sont composés de 4 pieds avec un port en boule et de 4 autres avec un port en balai. Parmi les deux ports, chaque pied a été considéré comme une répétition, et fait partie d'une parcelle dont le centre est le point central de la projection verticale du houppier au sol. Dans chacune des parcelles, quatre zones d'interaction arbre-culture représentées par des placettes, ont été délimitées de part et d'autre des arbres, sur les axes est-ouest et nord-sud passant par le centre de la projection du houppier et à des distances qui étaient fonction du rayon (R) de cette projection (figure 1). Les zones d'interaction sont les suivantes :

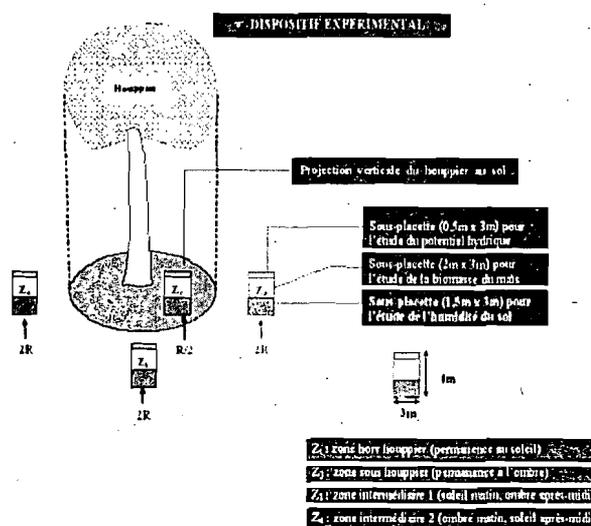


Figure 1 : Dispositif expérimental

- Z₁ : zone hors houppier (culture en permanence au soleil)
- Z₂ : zone sous houppier (culture en permanence à l'ombre)
- Z₃ : zone intermédiaire 1 (culture au soleil le matin et à l'ombre dans l'après-midi)
- Z₄ : zone intermédiaire 2 (culture à l'ombre le matin et au soleil dans l'après-midi).

Pour une meilleure influence de l'ombrage du houppier sur la culture, ces distances ont été ramenées à R/2 pour la zone Z2 et à 2R pour les zones Z1, Z3 et Z4.

Chaque placette de dimensions 4m x 3m, a été divisée en trois sous-placettes : une sous-placette centrale, de 2 x 3m, pour la mesure de la biomasse aérienne du maïs et deux sous-placettes latérales, l'une de 0,5 x 3m, utilisée pour déterminer le potentiel hydrique du maïs et l'autre, de 1,5 x 3m, pour l'étude de l'humidité du sol. La position de l'une et l'autre des sous-placettes latérales par rapport à la sous-placette centrale a été déterminée au hasard.

II. LES METHODES DE MESURE

Les mesures prises sur les karités de la zone étudiée comprennent : la circonférence à 1,30m de hauteur ou à hauteur de poitrine à l'aide d'un mètre ruban (GOUNOT, 1969) ; la hauteur totale, la hauteur du fût et la hauteur du houppier, mesurées avec une perche télescopique ; le diamètre du houppier mesuré avec un ruban de 30m. La forme du houppier a été déterminée par observation visuelle et en se référant aux trois catégories de port (boule, balai et parasol) décrites par RUYSSSEN (1957).

Le volume du houppier a été calculé à partir de deux formules proposées par RONDEUX (1993) suivant la forme architecturale du houppier :

- port en boule et fuseau

$$V = 4/3\pi \times (\text{diamètre est-ouest}) / 2 \times (\text{diamètre nord-sud}) / 2 \times (\text{hauteur du houppier}) / 2$$

N.B.: V = volume du houppier

$$\pi = 3,14$$

- port en parasol

$$V = \pi/10 \times (\text{diamètre est-ouest}) \times (\text{diamètre nord-sud}) \times (\text{hauteur du houppier})$$

2.1. Analyses des échantillons de sol

Des échantillons de sol ont été prélevés à 10 cm de profondeur, dans les sous-placettes de 2 x 3m du dispositif expérimental, pour la caractérisation physique et chimique.

Les trois échantillons de chaque placette ont été mélangés pour former un échantillon composite. Le carbone (C) organique a été déterminé par oxydation du sol dans une solution aqueuse de bichromate de potassium et d'acide sulfurique et par titrage avec une solution de sulfate ferreux (BUNASOL, 1987). L'azote (N) total a été déterminé par digestion selon la méthode Kjeldahl : digestion des sols à 420°C en présence d'acide sulfurique et d'un catalyseur, suivie d'une distillation et d'un titrage de N. Le phosphore (P) total et le potassium (K) total ont été respectivement déterminés par la méthode Bray II par colorimétrie et par spectrophotométrie.

2.2. Humidité du sol

L'évolution de l'humidité du sol sous le couvert des deux ports du karité et dans la zone découverte a été suivie en août et en septembre par la méthode directe de gravimétrie et la tensiométrie. Par la méthode directe de gravimétrie, des échantillons de sol ont été prélevés dans les sous-placettes de 1,5m x 3m, à 30cm de profondeur, à l'aide d'une tarière. La différence entre le poids frais et le poids sec, représente la quantité d'eau pondérale et, en la divisant par le poids sec, on obtient le pourcentage d'humidité en équivalent du poids sec.

La méthode tensiométrique renseigne sur l'état du potentiel hydrique du sol. Pour la présente étude, les tensiomètres ont été installés dans le sol à 30cm de profondeur. Les lectures de potentiel ont été effectuées tous les matins pour éliminer les effets thermiques.

2.3. Croissance et productivité

La hauteur des plants a été mesurée à l'aide d'une règle graduée au millimètre en prenant la distance entre le pied d'ancrage (au niveau du sol) et le sommet d'apparition des dernières feuilles pour la phase végétative, et l'extrémité de la panicule après la floraison.

Les mesures de la hauteur des plants et le comptage du nombre de feuilles apparentes ont été effectués par décade, sur 5 pieds de maïs pris au hasard dans chaque placette.

Le taux d'assimilation chlorophyllienne a été mesurée sur des disques foliaires prélevés à l'aide d'un emporte pièce le matin avant le levée du soleil (5 heures) et le soir après le couché du soleil (18 heures) sur la 3e feuille à partir du sommet de la tige (OUEDRAO-GO, 2000).

Le taux d'assimilation exprimé en $\mu\text{g}/\text{mm}^2/\text{heure}$ a été calculé selon la formule suivante :

$$T.A = (P.s - P.m) / S.D.F / D,$$

T.A = taux d'assimilation

P.s = Poids sec du soir,

P.m = Poids sec du matin,

S.D.F = surface disque foliaire,

D = durée d'insolation du jour de mesure.

A la fin du cycle et dans chacune des sous-placette, les variables tels que le nombre d'épis, le poids des épis, le poids des tiges, le poids des grains et le poids de 1000 grains ont été mesurées.

III. RÉSULTATS

Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel STATITCF version 5. Les moyennes ont été comparées par le test de NEWMAN et KEUILS au seuil de 5 % (niveau de probabilité retenu pour parler d'effet significatif).

3.1. Les teneurs en éléments nutritifs du sol

Évaluées dans l'horizon 0-10cm, elles n'ont pas varié significativement en fonction de la forme du houppier. Elles sont restées un peu plus élevées pour le houppier en boule que pour celui en balai, exceptées les teneurs en potassium (K) et en phosphore (P). Les teneurs moyennes en carbone (C), en azote (N) et en phosphore (P) étaient respectivement de 6,8 g kg^{-1} , 0,49 g kg^{-1} , 97,38 mg kg^{-1} au niveau des houppiers en boule, contre 6,19 g kg^{-1} , 0,46 g kg^{-1} et 111 mg kg^{-1} au niveau des houppiers en balai. Dans les zones d'influence de l'ombrage de l'arbre les teneurs en éléments nutritifs ont été significativement plus élevées dans Z2 ($P < 0,05$) située en permanence dans l'ombre, sous les karités que dans Z3, Z1 et Z4 situées hors houppier (tableau II). L'analyse des résultats du tableau II montre que les teneurs en éléments nutritifs dans Z4 bien que légèrement plus élevées, demeurent statistiquement équivalentes à celles de Z1 et de Z3.

Effet de l'arbre sur l'eau de pluie et l'humidité du sol.

Tableau II : Caractéristiques chimiques de l'horizon 0-10 cm du sol de l'essai selon le type de houppier et les zones d'interaction entre le Karité et le Maïs

variables	Zones d'interaction				Moyenne
	Z1	Z2	Z3	Z4	
Houppier en boule					
Carbone (g kg ⁻¹ ± SE)	5,88 ± 1,45	9,83 ± 3,92	5,13 ± 0,92	6,38 ± 1,39	6,80 ± 2,01
MO (% ± SE)	1,02 ± 0,25	1,70 ± 0,63	0,88 ± 0,15	1,10 ± 0,27	1,18 ± 0,36
N-total (g kg ⁻¹ ± SE)	0,44 ± 0,05	0,65 ± 0,20	0,38 ± 0,07	0,48 ± 0,10	0,49 ± 0,11
P-total (mg kg ⁻¹ ± SE)	76,50 ± 24,53	140,25 ± 23,13	81,50 ± 15,61	91,25 ± 18,14	97,38 ± 18,49
K-total (mg kg ⁻¹ ± SE)	1544,75 ± 122,85	2538,25 ± 653,92	1870,75 ± 218,5	2042,50 ± 183,91	1999,06 ± 323,81
Houppier en balai					
Carbone (g kg ⁻¹ ± SE)	5,65 ± 0,78	7,66 ± 0,98	4,85 ± 0,28	6,60 ± 0,40	6,19 ± 0,60
MO (% ± SE)	0,97 ± 0,17	1,33 ± 0,15	0,85 ± 0,06	1,13 ± 0,05	1,07 ± 0,11
N-total (g kg ⁻¹ ± SE)	0,44 ± 0,05	0,57 ± 0,06	0,34 ± 0,03	0,50 ± 0,03	0,46 ± 0,04
P-total (mg kg ⁻¹ ± SE)	96,50 ± 14,62	132,25 ± 26,87	104,00 ± 13,52	111,25 ± 25,20	111 ± 18,73
K-total (mg kg ⁻¹ ± SE)	1934,5 ± 420,32	2175,25 ± 248,03	1795,75 ± 364,03	2116,25 ± 462,83	2005,44 ± 342,03

Z₁ : zone hors houppier (culture en permanence au soleil)
 Z₂ : zone sous houppier (culture en permanence à l'ombre)
 Z₃ : zone intermédiaire 1 (culture au soleil le matin et à l'ombre dans l'après-midi)
 Z₄ : zone intermédiaire 2 (culture à l'ombre le matin et au soleil dans l'après-midi).

Pour quantifier le déficit hydrique, l'humidité du sol a été mesurée ainsi que les précipitations reçues au sol sous le karité et en dehors du karité. Comme l'indique la figure 2, les pluies reçues au sol sous le houppier en balai entre juillet et octobre sont nettement plus élevées que celles reçues hors houppier et sous le houppier en boule. Par contre sous le houppier en boule les pluies

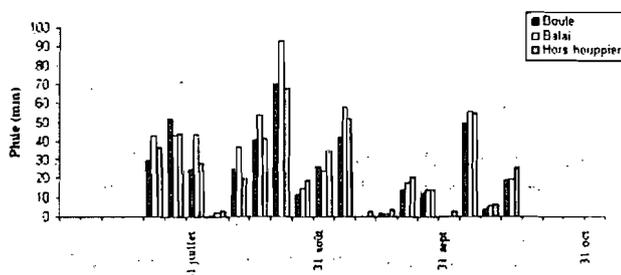


Figure 2 : Variation des précipitations moyennes pentadiennes (mm) relevées pendant l'expérimentation sous houppier (Boules et Balai) et hors houppier.

reçues au sol ont été plus faibles qu'en zone découverte. Entre juillet et octobre le cumul pluviométrique a été de 524,7 mm sous le houppier en balai, 420,5mm sous le houppier en boule et 475,8 mm hors houppier. Comparativement à la pluviométrie hors houppier, on note une réduction moyenne de 12% des pluies sous le houppier en boule et un excédent moyen de 10,3% sous le houppier en balai. Du point de vue répartition, la figure 2 indique également que les pluies ont été mal réparties entre juillet et octobre. Elles ont été abondantes entre la mi-juillet et août et se sont un peu raréfiées en septembre et en octobre.

(40e au 50e JAS), à 30cm de profondeur, a été de 12% pour les sols situés sous le houppier en boule, de 11,2% pour les sols situés sous le houppier en balai et enfin de 10,6% pour les sols hors houppier.

En septembre (60^e au 70^e JAS), avec la diminution de la pluviosité, la teneur en eau pondérale du sol a été de 10,7% sous le houppier en boule, de 8,86% sous le houppier en balai et de 7,5% en zone hors houppier (figure 3). La teneur en eau du sol a moins varié sous le houppier en boule entre août et septembre et cela s'est manifesté au niveau de tension de l'eau dont les valeurs sont restées élevées pendant cette même période.

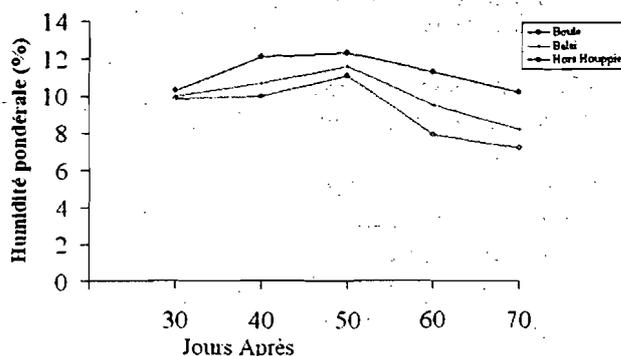


Figure 3 : Teneur en eau (%) du sol sous houppier (Boule et Balai) et hors houppier

Les effets de l'arbre sur l'humidité du sol sont traduits par l'évolution des potentiels matriciels de l'eau dans le sol. Les évolutions des tensions à 30cm de pro-

fondeur (figure 4) montrent que les variations ont été plus accentuées pour les sols situés sous le houppier en balai et hors houppier. En effet avant une pluie, les valeurs extrêmes du potentiel pour ces sols descendent souvent en dessous de -30 KPa. Cependant, pour les sols situés sous le houppier en boule, les tensions oscillent autour de -20 KPa. Ceci montre bien que le sol sous le houppier en boule est toujours plus humide que les sols hors houppier et sous houppier en balai. Si l'humidité du sol varie très peu sous le houppier en boule, cela s'explique en partie par l'importance de l'ombrage qui contribue à réduire la transpiration des cultures sous-jacentes et l'évaporation du sol. La figure 4 montre également que le potentiel hydrique des sols situés sous le houppier en balai ne remonte à des valeurs élevées (-10 KPa) qu'après une pluie ≥ 40 mm. Ce potentiel est rarement atteint au niveau des sols situés hors houppier en raison de l'importance de l'évaporation du sol et de la transpiration des cultures provoquée par le rayonnement et le vent.

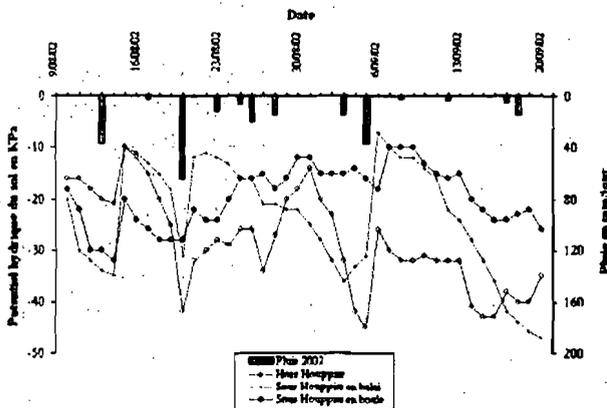


Figure 4 : Evolution des tensions de l'eau (KPa) du sol à 30 cm de profondeur sous houppier (Boule et Balai) et hors houppier

3.2. La croissance du maïs

Les variables concernant la croissance des plantes sont la hauteur des plants et le nombre de feuilles. Les mesures ont été effectuées par décade et dans les zones d'interaction suivant le type de houppier. Les données ont permis de procéder à une analyse de variance et de présenter graphiquement les moyennes (figure 5 et 6). On constate que les hauteurs des plants à maturité ne diffèrent pas significativement entre les deux formes de houppier. Par contre dans les zones d'interaction, elles ont été significativement plus élevée en dehors des houppiers ($P = 0,0055$) que sous les houppiers. La hauteur des plants à maturité était en moyenne de 189cm en dehors du houppier, de 162 cm sous le houppier en balai et de 143cm sous le houppier en boule. En ce qui concerne la variable nombre des

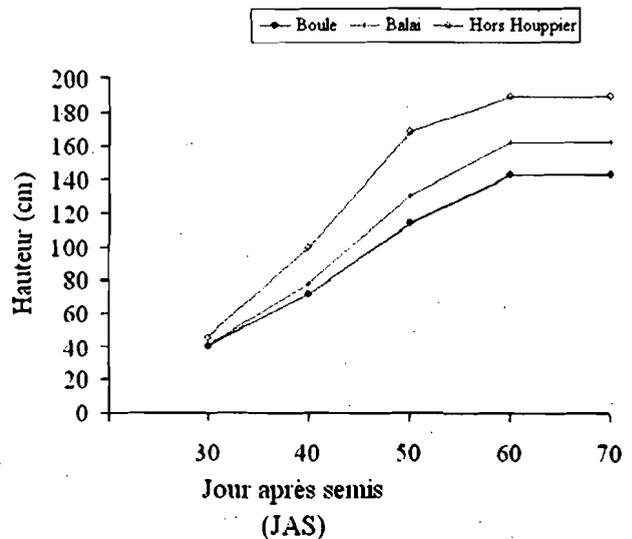


Figure 5 : Evolution de la hauteur (cm) des plants de maïs sous houppier (Boule et Balai) et hors houppier

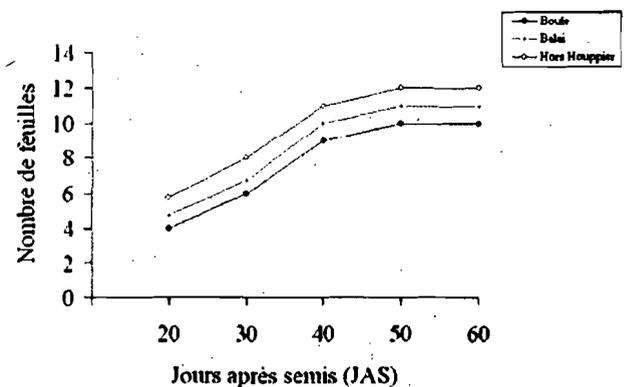


Figure 6 : Evolution du nombre de feuilles formées au cours de la croissance du maïs sous houppier (Boule et Balai) et hors houppier

feuilles, elle a été significativement plus élevée hors houppier ($p = 0.0019$) que sous le houppier. Les différences en nombre de feuilles par plante sont également significatives ($p = 0.04$) entre le houppier en boule et le houppier en balai. L'excès d'ombrage sous le houppier en boule explique en partie ces résultats. Le nombre moyen de feuilles par plante à 60JAS a été de 12 dans la zone hors houppier, de 11 sous le houppier en balai et de 10 sous le houppier en boule. La différence des hauteurs et le nombre de feuilles constatée sous houppier et hors houppier confirme bien que le maïs est une plante de lumière.

3.3. Taux d'assimilation chlorophyllienne et productivité du maïs

Les taux d'assimilation chlorophyllienne ont été évalués à 30, 40, 50 et 60 JAS. Les résultats sont portés sur le tableau III. Il ne diffère pas significativement entre les deux types de houppier. Par contre, en com-

parant les taux d'assimilation relevés dans les différentes zones d'interaction, on constate que le taux relevé dans Z2 est significativement moins élevé que les taux relevés dans Z1, Z3 et Z4 aussi bien à 40 JAS ($P = 0,003$) qu'à 50 et 60 JAS ($P < 5\%$). Dans le tableau III, on constate que les taux relevés dans les zones d'interac-

Tableau III : Taux d'assimilation de chlorophylle a ($10^{-2} \mu\text{g mm}^{-2} \text{h}^{-1}$) au cours de la croissance des maïs selon le houppier du karité (Boule et Balai) et les zones d'interaction (Z1, Z2, Z3 et Z4)

Zones d'interaction	Jours Après Semis (JAS)											
	30 JAS			40 JAS			50 JAS			60 JAS		
	Type houppier			Type houppier			Type houppier			Type houppier		
Boule	Balai	Moyenne	Boule	Balai	Moyenne	Boule	Balai	Moyenne	Boule	Balai	Moyenne	
Z1	146	146	146	325	365	345 a	248	209	229 a	146	130	138 a
Z2	90	67	78	119	411	265 b	111	104	108 b	48	57	53 c
Z3	123	104	112	594	576	585 a	207	194	199 a	85	88	86 b
Z4	112	90	101	594	502	548 a	277	278	277 a	97	85	91 b
Moyennes	119	101	109	458	443	461	192	188	195	84	80	82
CV (%)							22,5			18,1		
FPDS							171			52		

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par la méthode de Newman-Keuls.

- 1. sans houppier (culture en pleine terre)
- 2. avec houppier (culture en pleine terre)
- 3. avec houppier (culture en pleine terre)
- 4. avec houppier (culture en pleine terre)
- 5. avec houppier (culture en pleine terre)

tion augmentent régulièrement depuis le 30ème JAS jusqu'au 40ème JAS où ils atteignent leur maximum ($461 \times 10^{-2} \mu\text{g mm}^{-2} \text{h}^{-1}$) avant de décroître vers le 60 JAS ($92 \times 10^{-2} \mu\text{g mm}^{-2} \text{h}^{-1}$). En comparant les moyennes, on remarque également que malgré l'effet d'ombrage momentané sur Z3 et Z4, leur taux est resté statistiquement équivalent au taux de Z1 à 40 et 50 JAS. A 60 JAS le taux moyen relevé dans Z1 est par contre plus élevé que les taux moyens de Z3 et Z4.

Les résultats du rendement et de ses composantes (tableau IV) indiquent que d'une manière générale les poids des épis, des tiges et des grains sont plus élevés dans les zones d'interaction Z1, Z3 et Z4 que dans Z2. L'analyse statistique révèle que ces résultats sont significativement différents dans les zones d'interaction. Dans le classement des moyennes, Z1 présente le meilleur rendement en grains (236 g m^{-2}) suivi de Z3 (217 g m^{-2}) et Z4 (200 g m^{-2}) et en dernière position Z2 (131 g m^{-2}). Le poids des grains obtenu dans Z1 est de 80% supérieur au poids des grains obtenu dans Z2 (236 contre 131 g m^{-2}).

Tableau IV : Le rendement des maïs et ses composantes selon le houppier du karité (Boule et Balai) et les zones d'interaction (Z1, Z2, Z3 et Z4)

Zones	Composantes de rendement											
	Poids des épis (g m^{-2})			Poids des tiges (g m^{-2})			Poids des grains (g m^{-2})			Poids de 1500 grains (g)		
	Type de houppier	Boule	Balai	Moyenne	Type de houppier	Boule	Balai	Moyenne	Type de houppier	Boule	Balai	Moyenne
Z1	307	268	287 a	334	308	321 a	252	226	239 a	161	154	158
Z2	134	162	148 b	189	220	204 b	104	153	131 b	172	164	168
Z3	234	276	255 a	276	286	281 a	285	228	217 a	173	170	172
Z4	227	253	240 a	233	218	226 a	193	208	200 a	178	184	181
Moyennes	225	238		264	283		189	201		171	164	
CV (%)	18,1			19,2			18,3			7,8		
Ln (441 = 24)	42,09			52,82			35,94			11,11		
FPDS	58,05			72,87			49,26					

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par la méthode de Newman-Keuls.

- 1. sans houppier (culture en pleine terre)
- 2. avec houppier (culture en pleine terre)
- 3. avec houppier (culture en pleine terre)
- 4. avec houppier (culture en pleine terre)
- 5. avec houppier (culture en pleine terre)

Quant au poids des tiges, il a augmenté régulièrement dans Z1, Z4 et Z3 avant de décroître dans Z2. On relève que le poids des grains sous houppier en balai est de 40% supérieur au poids des grains sous houppier en boule (153 contre 109 g m^{-2}). C'est également sous ce dernier que le poids des tiges a fortement baissé.

IV. DISCUSSIONS

Les résultats obtenus par la présente étude permettent de confirmer les effets positifs de l'arbre dans l'amélioration de la fertilité des sols. Les teneurs en éléments nutritifs du sol ont été particulièrement plus élevées sous les houppiers du karité qu'en dehors du houppier. En effet, de par la litière, les arbres et les arbustes retournent au sol une grande quantité d'éléments nutritifs qui sont souvent puisés en profondeur, grâce à un enracinement profond, ou fixés par voie photosynthétique comme le cas du carbone (YOUNG, 1986). Ce niveau de fertilité élevé sous le houppier pourrait également être attribué à une exportation moins importante des nutriments par la culture associée dont la croissance et le rendement se sont révélés moins élevés que hors houppier. Nous pensons aussi que les phénomènes de ruissellement des eaux de pluie, souvent très réduits sous les arbres pourraient occasionner moins de pertes d'éléments nutritifs et contribuer ainsi à creuser davantage l'écart entre ce milieu et les zones découvertes.

En ce qui concerne les précipitations, leur interception par les arbres varie en fonction de leur intensité et de la taille du houppier (BOFFA, 2000). L'interception sera d'autant plus importante que la pluie est moins violente et le vent plus faible. Au cours de l'essai, la quantité de pluie reçue au sol hors houppier a été augmentée de 10,3% sous le houppier en balai et diminuée de 12% sous le houppier en boule. Cette différence entre les houppiers peut être en partie attribuée à l'orientation des vents dominants par rapport à la position des pluviomètres ou à la nature des deux types de houppier. Selon RUYSSSEN (1957) le houppier en balai est généralement plus aéré et plus perméable à l'eau que le houppier en boule qui semble beaucoup plus compact et moins perméable à l'eau. BALDY et STIGTER (1993) rapportent que la pluie interceptée par les organes aériens peut s'égoutter avec un retard plus ou moins important. L'égouttage se fera plus rapidement lorsque le houppier est moins dense et plus lentement lorsque le houppier est plus compact. Ce dernier cas s'accompagne généralement d'un ruissellement d'eau le long des branches et des troncs jusqu'au sol. Ces auteurs soulignent que cette distribution de la pluie au voisinage des troncs assure une suralimentation localisée du sol en eau.

Ce phénomène s'est traduit au cours de l'essai par une nette amélioration de l'humidité du sol sous les houppiers qu'en dehors du houppier. L'humidité accrue sous les houppiers peut en outre être attribuée à l'effet ombrage qui selon JONSSON (1995) contribue à modérer la température ambiante et à augmenter l'humidité de l'air. Cet effet ombrage permet de réduire l'évaporation du sol et la transpiration des cultures sous-jacentes. Toutefois, au fur et à mesure que les pluies se raréfient, le déficit de pression de vapeur d'eau augmente et l'humidité du sol sous houppier diminue.

L'excès de l'humidité du sol et l'insuffisance de l'éclairage sous houppier ont par ailleurs entraîné un mauvais développement des plants du maïs. La hauteur et le nombre de feuilles par plante ont été relativement plus élevés en dehors du houppier que sous le houppier. Cet écart entre les deux milieux s'explique en partie par la modération des températures sous l'effet d'ombrage. Selon BONHOMME (1984) l'émission des feuilles de maïs est beaucoup influencée par la température de l'air et celle du sol. Dans un milieu où la température du sol est plus basse que celle de l'air, le rythme d'apparition des premières feuilles est très lent. Ce rythme est souvent à l'origine de la réduction de la hauteur des plants.

La photosynthèse, facteur primaire de la production totale en matière végétale, constitue un meilleur indicateur du fonctionnement hydrique de la plante au cours d'une sécheresse. Pendant les poches de sécheresse, le maïs régule ses pertes en eau par la fermeture des stomates ou par réduction de ses surfaces transpirantes en enroulant ses feuilles (HEMA, 1990). Cette régulation influe sur la photosynthèse. Selon ROBELIN (1984) la diminution de la perméabilité aux gaz de la feuille à la suite de la fermeture des stomates freine l'entrée du gaz carbonique et par conséquent réduit l'activité photosynthétique. Les résultats obtenus au cours de cette étude révèlent que le taux d'assimilation chlorophyllienne sous le houppier est significativement moins élevé que le taux hors houppier. Ce niveau bas du taux d'assimilation constaté sous les houppiers ne peut être attribué à l'effet d'un déficit hydrique car sous les karités, le sol est resté constamment humide pendant une bonne partie de la saison. Il peut être dû à l'effet d'ombrage. En effet, selon des auteurs (KESSLER, 1992 ; BAYALA et al. 2002), la réduction de la production de la matière sèche sous les arbres serait en partie due à l'insuffisance de la quantité d'éclairage. Au cours de la croissance et du développement du maïs on constate que la demande d'assimilats se modifie sans cesse. Elle se trouve particulièrement plus

élevée à la floraison (40 JAS) et plus faible à la maturation (60 JAS). Selon PRIOUL (1984), cette demande en phase de reproduction est due à la mise en place de certains organes (tige, spathes, rafles) qui vont servir de réservoirs pour alimenter les épis au cas où l'approvisionnement serait défaillant au niveau des feuilles. La baisse du taux d'assimilation à 60 JAS peut être attribuée à la contrainte hydrique observée au moment de la maturation et dans ce cas, la plante met à profit ses réservoirs afin d'assurer le remplissage de l'épis.

Concernant la productivité, les résultats ont révélé que le poids des grains, le poids des tiges et celui des épis ont été significativement plus élevés dans les zones hors houppier que sous houppier. Le rendement du maïs a été réduit de 35% sous le port en balai conte 54% sous le port en boule. On remarque que malgré l'importance de l'humidité et la fertilité du sol sous les houppiers, la production du maïs est restée bien inférieure à celle relevée hors houppier. Des observations semblables ont été faites sur une culture de sorgho associée au néré et au karité où les rendements avaient fléchi dans les parcelles sous houppier (MAÏGA, 1987, KESSLER, 1992). Ces auteurs soulignent que cette diminution de rendement est fortement corrélée à une diminution régulière de l'intensité lumineuse constatée sous les arbres.

CONCLUSION

Il ressort de ce travail que la présence du karité dans les parcelles agricoles crée un environnement agroécologique favorable à la croissance des cultures. Sous les karités, bien qu'une partie des précipitations soit interceptée par le houppier, le taux d'humidité du sol est resté plus élevé dans le temps, par rapport à celui du sol hors houppier. Cette humidité accrue du sol sous les houppier a permis de réduire le stress hydrique du maïs à la maturation des grains, période au cours de laquelle les pluies étaient rares et insuffisantes. L'étude a aussi révélé que l'accumulation de la litière sous le karité a permis d'améliorer le niveau de fertilité des sols. Cet effet bénéfique sur le sol n'a cependant pas pu combler les effets négatifs de l'ombrage induits par les houppiers puisque la croissance et la productivité du maïs sont demeurées moins bonnes sous le karité qu'à découvert. L'effet ombrage a contribué également à réduire l'activité photosynthétique sous les karités.

Lorsqu'on analyse les composantes de rendement en relation avec les différents ports du karité, on peut affirmer que l'ombrage des houppiers en balai affecte moins à la baisse la croissance et la productivité du maïs que celui des houppiers en boule. Dans les zones sous influence de l'ombrage le matin ou l'après-midi,

les rendements ont certes été réduits mais pas de façon significative par rapport à la zone hors houppier.

Dans cette étude, nous avons cherché à comprendre le comportement d'une culture de maïs en situation de contrainte hydrique naturelle dans une association avec le karité. Mais, la bonne pluviosité constatée cette année, a réduit la durée de la contrainte hydrique au moment de la floraison et de la maturation du maïs. Les résultats que nous avons obtenus l'ont donc été dans des conditions de sécheresse modérée.

Remerciements

Nous exprimons notre sincère reconnaissance au CERAAS pour nous avoir associés à leur programme de recherche ; nous remercions l'Association des Universités Africaines (AUA) qui a financé notre équipement et nos activités de recherche.

BIBLIOGRAPHIE

1. **BALDY C. et STIGTER C.J., 1993.** Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes. INRA, Paris, 246p.
2. **BAYALA J., TEKLEHAIMANOT Z. and OUEDRAOGO J.S., 2002.** Millet production under pruned tree crowns in a parkland system in Burkina Faso. *Agroforestry Systems*, 54, 203-214.
3. **BOFFA J.M., 1995.** Productivity and management of agroforestry parklands in the Sudan Zone of Burkina Faso, West Africa. Ph.D. Thesis. Purdue Univ. USA, 99p.
4. **BOFFA J.M., 2000.** Les parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne. *Cahier FAO conservation*, 34, 258p.
5. **BONHOMME R., 1984.** Fonctionnement photosynthétique du couvert végétal. In : *Physiologie du maïs*. INRA, Paris, pp 147-162.
6. **BUNASOL, 1987.** Méthodes d'analyse physiques et chimiques des eaux et du sol. Document technique n°3, 159p.
7. **DIAKITE T., 1995.** Concurrence pour l'eau et les éléments nutritifs du sol entre ligneux et cultures. Le karité et le sorgho en zone semi-aride au Mali. Mémoire M.Sc. Univ. Laval, Québec, Canada, 69p.
8. **FAO, 2000.** Annuaire FAO de la production. Collection FAO statistique, 163, 71-83.
9. **GOUNOT M., 1969.** Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Edt. Masson et Cie, Paris, 305p
10. **HEMA I., 1990.** Adaptation à la sécheresse du maïs. Rapport CERAAS, 10p.
11. **HEMA D., 1994.** Etude de la résistance à la sécheresse chez le maïs (*Zea Mays L.*). Analyse de la variabilité génétique de quelques caractères agrophysiologiques. Thèse Doct. Univ. Nat. de Côte d'Ivoire, 151p.
12. **INERA, 1993.** Caractérisation des stations de recherches agronomiques de Di, Katchari et Kouaré. Rapport technique, pp 69-82.
13. **JONSSON K., 1995.** Agroforestry in dry savanna areas in Africa : interactions between trees, soils and crops. Ph.D. Dissertation. Swedish Univ. of Agricultural science, Umea, Sweden, 92p.
14. **JONSSON K., ONG C.K. and ODONGOS J.C.W., 1999.** Influence of scattered néré and karité on microclimate, soil fertility and millet yield in Burkina Faso. *Experimental Agriculture*, 35, pp 39-53.
15. **KESSLER J.J., 1992.** The influence of karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) trees on sorghum production in Burkina Faso. *Agroforestry systems*, 17, pp 97-118.
16. **MAIGA A., 1987.** L'arbre dans les systèmes agroforestiers traditionnels dans la province du Bazèga. Influence du karité, du néré et de *Acacia albida* sur le sorgho et le mil. Rapport de stage. IRBET/CNRST Ouagadougou, 86p + annexes.
17. **NYBERG G. and HÖGBERG P., 1995.** Effets of young agroforestry trees on soils in farm situations in Western Kenya. *Agroforestry Systems*, 32, 145-152.
18. **OUEDRAOGO M., 2000.** Etude biologique et physiologique du *Jatropha curcas L.* Thèse d'Etat. Univ. de Ouagadougou, 289 pages.
19. **PRIOUL J.L., 1984.** Transport et distribution des assimilats chez le maïs : mécanisme, rôle des facteurs externes. In : *Physiologie du maïs*. INRA, Paris, pp 303-319.
20. **ROBELIN M., 1984.** Fonctionnement hydrique et adaptation à la sécheresse. In : *Physiologie du maïs*. INRA, Paris, pp 445-476.
21. **RUYSSSEN B., 1957.** Le karité au Soudan. *Agronomie tropicale*, vol. XI, n° 2, 144-172 ; vol. XII, n° 3, 279-306; vol. XII, n° 4, 415-438.
22. **RONDEUX J., 1993.** Les mesures des arbres et des peuplements forestiers. Eds les Presses agronomiques de Gembloux, 521p.
23. **SINCLAIR F.L., 1999.** A general classification of agroforestry practice. *Agroforestry Systems*, 46, 161-180.
24. **SIVAKUMAR M.V.K. and GNOUMOU F., 1987.** Agroclimatology of West Africa. Burkina Faso. ICRISAT information bulletin, 23, 1-62.
25. **SOME L., 1989.** Diagnostic agropédoclimatique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Étude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance pour les cultures de sorgho, de mil et de maïs. Thèse Doct. Univ. Montpellier II, 213p.
26. **YOUNG A., 1986.** Effets of trees on soils. In : *Amelioration of soil by trees*. R.T. PRINSLEY and M.J. SWIFT. Eds. Commonwealth Science Council, London, pp 10-15.

