

# 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

George Zomboudré <sup>(1)</sup>, Gérard Zombre <sup>(1)</sup>, Makido Ouedraogo <sup>(1)</sup>, Sita Guinko <sup>(1)</sup>, Harold Roy macauley <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Université de Ouagadougou. UFR/SVT. 03 B.P. 7021 Ouagadougou 03 (Burkina Faso).

E-mail : g.zombre@univ-ouaga.bf

<sup>(2)</sup> CERAAS (Centre d'Étude régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse). Thiès Escale (Sénégal).

Reçu le 9 juin 2004, accepté le 18 janvier 2005.

Le comportement d'une culture de maïs en situation de contrainte hydrique dans un parc à karité a été étudié. 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 le potentiel hydrique du sol, le potentiel hydrique foliaire, 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. L'effet ombrage est plus excessif au voisinage des houppiers en boule que sous et près des houppiers en balai. Les variations du potentiel matriciel de l'eau du sol ont été plus accentuées pour les sols situés sous houppier en balai et hors houppier. En période de maturation, le potentiel hydrique du maïs tend à être plus élevé sous les houppiers avant-midi et plus faible entre midi et l'après-midi en dehors du houppier. Le stress hydrique est plus important en mi-journée. La mesure du taux d'assimilation chlorophyllienne a donné des valeurs élevées dans les zones hors houppier et des valeurs faibles sous le houppier. Le rendement en grain et en épis ainsi que la biomasse de tige ont été relativement plus élevés sous le houppier en balai que sous le houppier en boule. La production a été cependant moins importante sous le houppier que hors du houppier.

**Mots-clés.** Karité, *Zea mays*, sécheresse, interaction arbre-culture, croissance, productivité, Burkina Faso.

**Physiological answer and productivity of the cultures in a traditional agroforestry system: the case of maize (*Zea mays* L.) associated with the shea tree (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) in the east zone of Burkina Faso.** This study was focused on the behaviour of maize cultivated in a forest park of shea butter tree. The surfaces 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, growth and productivity of maize 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 reduce 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. 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.

**Keywords.** Shea butter tree, *Zea mays*, interaction tree-crop, growth, productivity, Burkina Faso.

## 1. 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 FAO (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 bénéficie 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 (Somé, 1989)

Cette agriculture itinérante, très consommatrice d'espace, évolue également dans un contexte 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 plafonner et dépassent rarement 0,7 à 1 tonne/ha en milieu paysan (Hema, 1994). Pour améliorer la productivité des zones agricoles à risque et assurer une certaine stabilité de la production, il est nécessaire de promouvoir au niveau du paysan, d'une part l'utilisation et la maîtrise des facteurs de production et d'autre part, une gestion raisonnée des ressources disponibles. Si l'application des engrais minéraux permet d'obtenir de meilleurs rendements, leur coût élevé demeure cependant un facteur limitant leur utilisation. Une alternative, peu coûteuse et plus accessible aux producteurs, reste l'utilisation de technologies à travers un recyclage approprié de la biomasse produite par les composantes des systèmes agroforestiers, en l'occurrence l'association arbre-plante cultivée. La présence des arbres au milieu des cultures crée des paysages appelés parcs ou "paysages agrosylvicoles".

Il s'agit d'un système traditionnel d'utilisation des terres qui associe l'arbre et les cultures dans un arrangement 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, Högberg, 1995 ; Boffa, 1995 ; 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, 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, encore légères, 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 (Bofa, 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 de maïs dans une formation végétale en mesurant, dans cette formation végétale, la teneur en eau et les caractéristiques physico-chimiques du sol et la productivité selon le port de l'arbre dans la zone d'influence de l'ombrage du houppier.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1. Le site de l'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 recherches agricoles du village de Kouaré dans la province du Gourma. La station de Kouaré est située à 305 m d'altitude et s'inscrit en latitude entre 12°5'N et 11°55'S et en longitude 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 qui s'étale sur six à sept mois (juin à octobre) et une saison pluvieuse qui dure cinq à six mois 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 unimodale (Sivakumar, Gnoumou, 1987).

Les sols de la zone d'étude sont de type ferrugineux tropical lessivé induré peu profond (INERA, 1993). La granulométrie 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

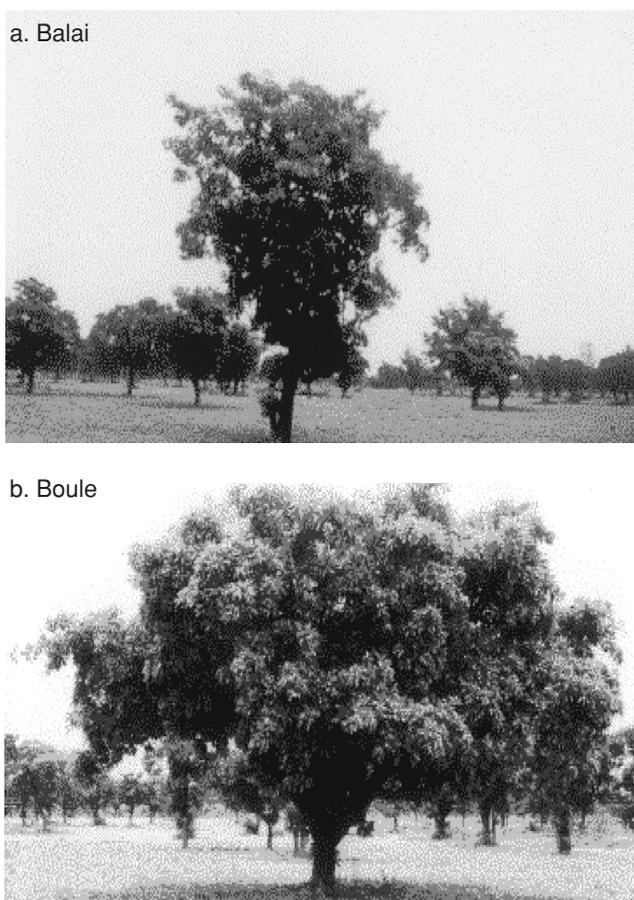
profondeur. Le sol présente une carence moyenne en potassium (1639 ppm) et en phosphore (302 ppm).

Le matériel végétal est composé des pieds de karité en boule et en balai (**Figures 1a, b**) et d'une variété de maïs de 90 jours de cycle, communément appelée KPB (Kamboinsé Précoce Blanc).

## 2.2. 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 écartements de 0,40 m entre les poquets et 0,80 m entre les lignes.

Le démariage à deux plants par poquet a été réalisé quinze jours après le semis. Deux sarclages ont été effectués, le premier au moment du démariage et le second 15 jours plus tard. La récolte est intervenue dans la première quinzaine du mois d'octobre.



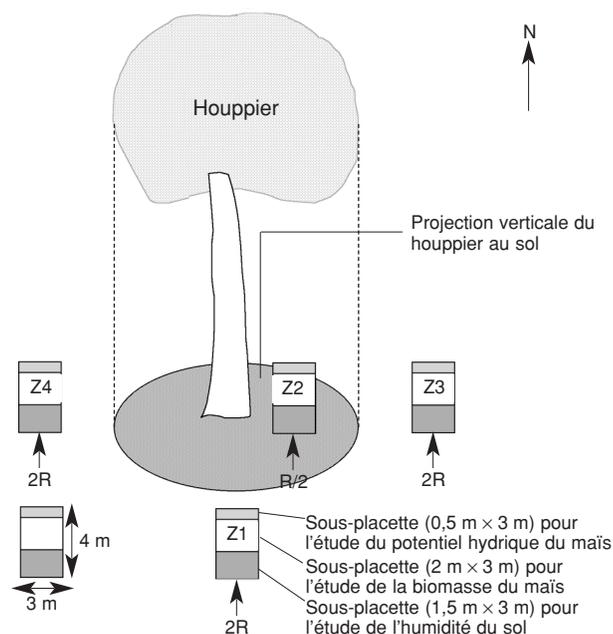
**Figure 1.** Pieds de karité. Houppier en balai (a) et en boule (b) — *Shea butter trees*. Brush canopy (a) and ball canopy (b).

## 2.3. Le dispositif expérimental

La surface sous étude est un parc à karité. Un inventaire 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 huit 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 huit pieds de karité étaient composés de quatre pieds avec un port en boule et de quatre 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 2**). Les zones d'interaction sont les suivantes :

- 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.



**Figure 2.** Dispositif expérimental — *Experimental device*.

Chaque placette, de 4 m × 3 m, a été divisée en trois sous-placettes : une sous-placette centrale, de 2 m × 3 m, pour la mesure de la biomasse aérienne du maïs et deux sous-placettes latérales, l'une de 0,5 m × 3 m, utilisée pour déterminer le potentiel hydrique du maïs et l'autre, de 1,5 × 3 m, 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.

### 3. LES MÉTHODES DE MESURES

Les mesures morphologiques prises sur les karités de la zone étudiée comprennent : la circonférence du tronc, prise à 1,30 m de hauteur ou à hauteur de poitrine à l'aide d'un mètre ruban ; 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 30 m. La forme du houppier a été déterminée par observation visuelle et en se référant aux trois catégories de port (boule, balai et parasol) (Ruyssen, 1957).

Le volume du houppier (V) a été calculé à partir de deux formules (Rondeux, 1993) suivant la forme architecturale du houppier :

– port en boule et fuseau<sup>1</sup>

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

– port en parasol

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

Les précipitations sous houppier et hors houppier ont été mesurées à l'aide de pluviomètres. L'évolution de l'humidité du sol a été suivie par la méthode directe de gravimétrie et par tensiométrie. 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 30 cm de profondeur. Les lectures de potentiel ont été effectuées tous les matins pour éliminer les effets thermiques.

Le potentiel hydrique foliaire du maïs est déterminé pendant les périodes d'arrêt des pluies et en conditions ensoleillées. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'une chambre à pression (modèle 1400 SKPM, Instrument Co, Ltd, UK).

La teneur en eau des plantes a été déterminée à partir des échantillons de feuilles séchées à l'étuve à 85 °C pendant 24 heures. La formule suivante a été ensuite utilisée pour estimer la teneur en eau :

$$TE \% = [(PF - PS)/PF] \times 100$$

avec

TE = teneur pondérale en eau

PF = poids frais de l'échantillon

PS = poids sec de l'échantillon.

Le taux d'assimilation chlorophyllienne a été mesuré sur des disques foliaires prélevés à l'aide d'un emporte-pièce le matin avant le lever du soleil (5 heures) et le soir après le coucher du soleil (18 heures) sur la 3<sup>e</sup> feuille à partir du sommet de la tige (Ouedraogo, 2000).

Le taux d'assimilation exprimé en µg/mm<sup>2</sup>/heure a été calculé selon la formule suivante :

$$TA = (PS.s - PS.m)/SDF/D$$

avec :

TA = taux d'assimilation

PS.s = poids sec du soir

PS.m = poids sec du matin

SDF = surface disque foliaire

D = durée d'insolation du jour de mesure.

Le potentiel hydrique foliaire du maïs est déterminé pendant les périodes d'arrêt des pluies et en conditions ensoleillées. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'une chambre à pression (modèle 1400 SKPM, Instrument Co, Ltd, UK). Les mesures de la hauteur des plants et le comptage du nombre de feuilles apparentes ont été effectués par décade sur cinq pieds de maïs pris au hasard dans chaque placette. À la fin du cycle et dans chacune des sous-placettes de 2 × 3 m du dispositif expérimental, les variables telles 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. 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 Keuls au seuil de 5 % (niveau de probabilité retenu pour parler d'effet significatif).

### 4. RÉSULTATS

La formation végétale de l'aire étudiée est dominée par le karité. Elle couvre une superficie de 1 ha avec un effectif de 33 pieds de karité. En terme d'agriculture, ce peuplement peut présenter une forte densité. Les arbres voisins et distants de moins de 5 m représentaient 42 % des pieds et leur houppier était presque fusionné. Sur l'aire d'étude, 58 % des arbres étaient suffisamment dispersés et l'espacement entre deux arbres voisins variait de 15 à 20 m.

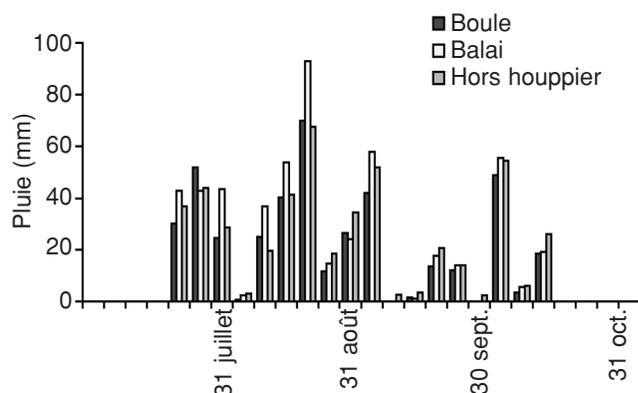
Le port du houppier est du type balai chez 60 % des karités avec un volume du houppier compris entre

<sup>1</sup> Port en fuseau est équivalent à port en balai d'où même formule de volume.

26 et 116 m<sup>3</sup>. Parmi les karités à port en boule, seulement 30 % des pieds ont un volume de houppier compris entre 200 et 500 m<sup>3</sup>. Ce peuplement pourrait être jeune car la totalité des karités présente un houppier de faible volume (inférieur à 500 m<sup>3</sup>) (Diakite, 1995). Les caractéristiques des huit sujets retenus pour la présente étude sont regroupées dans le **tableau 1**. La **figure 3** présente les hauteurs de pluies reçues au sol sous houppier en balai entre juillet et octobre, nettement plus élevées que celles reçues hors houppier et sous houppier en boule. Sous houppier en boule, les pluies reçues au sol ont même été plus faibles qu'en zone découverte. Entre juillet et octobre,

**Tableau 1.** Caractéristiques morphologiques des arbres choisis pour l'étude — *Morphological characteristics of the chosen trees for the study.*

Arbre	Circ. du tronc à 1m30 (cm)	Houppier			
		diamètre (m)	surface au sol (m <sup>2</sup> )	hauteur (m)	volume (m <sup>3</sup> )
<b>Houppier en boule</b>					
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	6,4	298
<b>Houppier en balai</b>					
2	108	8,1	53	4,5	96
5	120	7,6	45	6,0	108
6	120	7,4	44	7,0	123
7	124	8,3	54	5,4	116
<b>Moyenne</b>	<b>132</b>	<b>8,8</b>	<b>62</b>	<b>5,6</b>	<b>193</b>

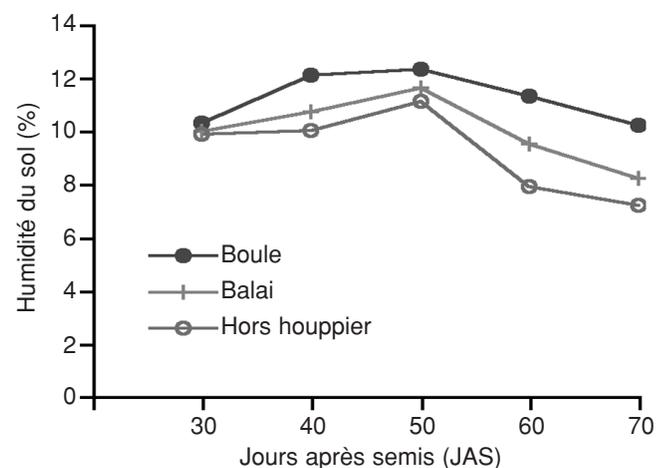


**Figure 3.** Variation des précipitations moyennes pentadaires (mm) relevées pendant l'expérimentation sous houppier (boule et balai) et hors houppier — *Variation of average rainfall (mm) raised during the experimentation under the shade of the canopy (ball and brush) and outside the shade of canopy.*

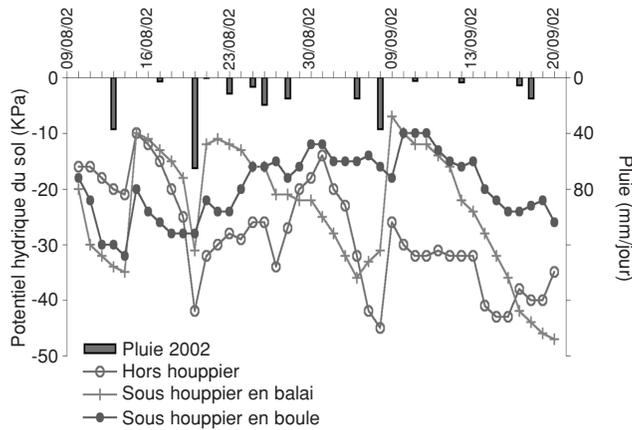
le cumul pluviométrique a été de 524,7 mm sous houppier en balai, 420,5 mm sous houppier en boule et 475,8 mm hors houppier. Comparativement à la pluviométrie hors houppier, on note une réduction moyenne de 12 % des pluies sous houppier en boule et un excédent moyen de 10,3 % sous houppier en balai. Du point de vue répartition, la **figure 3** 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.

La teneur moyenne en eau du sol évaluée en août, du 40<sup>e</sup> au 50<sup>e</sup> jour après le semis (JAS), à 30 cm de profondeur, a été de 12 % pour les sols situés sous houppier en boule, de 11,2 % pour les sols situés sous houppier en balai et enfin de 10,6 % pour les sols hors houppier. L'évaluation réalisée du 60<sup>e</sup> au 70<sup>e</sup> JAS, en septembre, lorsque la pluviosité a diminué, montre que la teneur en eau du sol a été de 10,7 % sous houppier en boule, de 8,86 % sous houppier en balai et de 7,5 % hors houppier (**Figure 4**). La teneur en eau du sol a moins varié sous le houppier en boule entre août et septembre et cela s'est également manifesté au niveau de la tension de l'eau dont les valeurs sont restées élevées pendant cette même période.

L'évolution des tensions à 30 cm de profondeur (**Figure 5**) montre 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



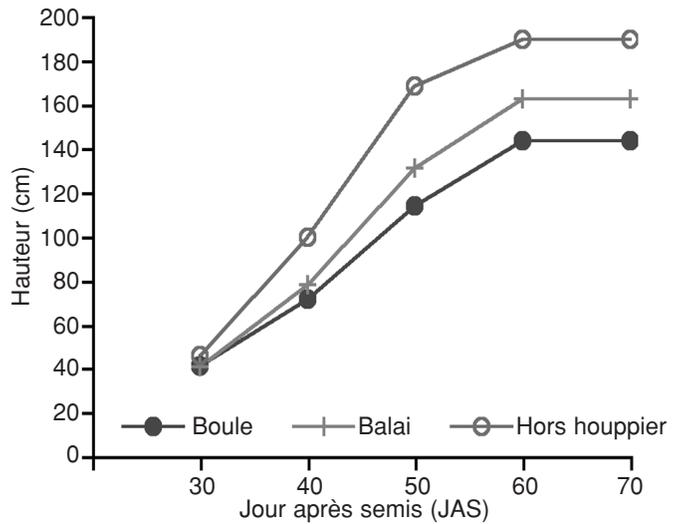
**Figure 4.** Teneur en eau (%) du sol sous houppier (boule et balai) et hors houppier — *Soil water content (%) under the canopy (ball and brush) and outside of the canopy.*



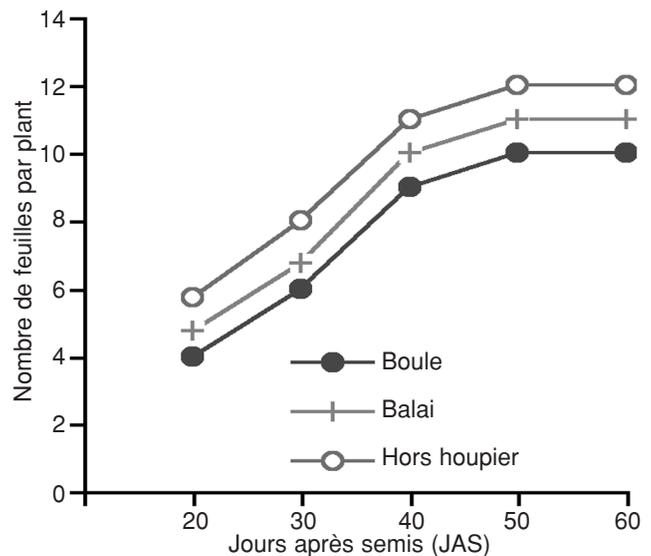
**Figure 5.** Évolution des tensions de l'eau (KPa) du sol à 30 cm de profondeur sous houppier (boule et balai) et hors houppier — *Evolution of the soil water matrix potential (KPa) at 30 cm depth under the canopy (ball and brush) and outside the shade of the canopy.*

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 5** 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 supérieure ou égale à 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.

Les **figures 6** et **7** présentent la hauteur des plants de maïs et le nombre de feuilles mesurés par décade et dans les zones d'interaction suivant le type de houppier. Les hauteurs des plants à maturité ne diffèrent pas significativement entre les deux formes de houppier. Par contre, elles ont été significativement plus élevées en dehors des houppiers ( $P = 0,0055$ ) que sous les houppiers. La hauteur des plants à maturité était en moyenne de 189 cm hors houppier, de 162 cm sous le houppier en balai et de 143 cm sous le houppier en boule. La différence des hauteurs constatée sous houppier et hors houppier montre bien que le maïs est une plante qui a besoin de lumière pour mieux assurer sa croissance. En ce qui concerne la variable nombre de feuilles, elle a été significativement plus élevée hors houppier ( $P = 0,0019$ ) que sous 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. Le nombre moyen de feuilles par plante à 60 JAS a été de 12 dans la zone hors houppier, de 11 sous le houppier en balai et de 10 sous le houppier en boule. L'excès d'ombrage sous le houppier en boule explique en



**Figure 6.** Évolution de la hauteur (cm) des plants de maïs sous houppier (boule et balai) et hors houppier — *Evolution of the height (cm) of the maize seedlings under the canopy (ball and brush) and outside the shade of the canopy.*



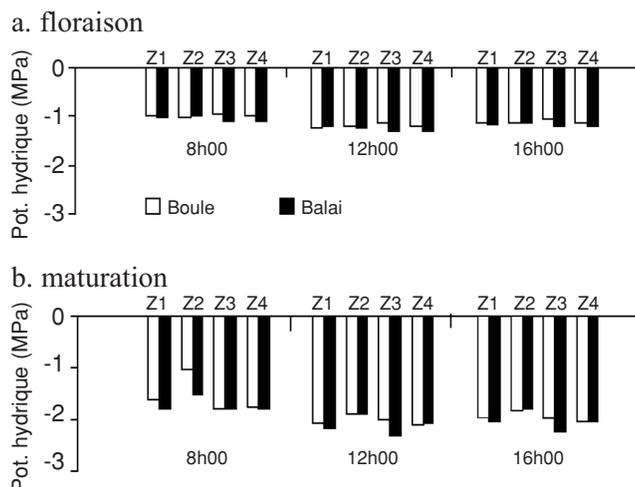
**Figure 7.** Évolution du nombre de feuilles formées au cours de la croissance du maïs sous houppier (boule et balai) et hors houppier — *Evolution of the number of leaves formed during the growth of maize under the canopy (ball and brush) and outside the shade of the canopy.*

partie ces résultats. Le potentiel hydrique du maïs a été évalué au cours de deux périodes de végétation (floraison et maturation) marquées par des arrêts momentanés des pluies. Au moment de la floraison intervenue entre le 40<sup>e</sup> et le 50<sup>e</sup> JAS, l'arrêt des pluies a duré cinq jours, (du 21 au 25 août). À la maturation intervenue entre le 60<sup>e</sup> et le 70<sup>e</sup> JAS, cet arrêt des pluie a été de sept jours.

Le potentiel hydrique foliaire du maïs ne varie pas significativement en fonction du type de houppier ou en fonction de la zone d'interaction. En période de floraison (**Figure 8a**), le potentiel hydrique est assez élevé le matin (8h00) dans les zones d'interaction avec houppier en boule (-0,989 MPa), il diminue à 12h00 (-1,2 MPa) et retrouve le soir (16h00) des valeurs qui sont légèrement inférieures à celles du matin (-1,04 MPa). Cette variation du potentiel hydrique foliaire au cours de la journée n'est pas statistiquement significative.

Le comportement du potentiel hydrique foliaire a été légèrement différent en période de maturation (**Figure 8b**). Les valeurs les plus élevées ont été observées dans les zones Z2 situées sous les houppiers le matin. Sous le houppier en boule le matin (8h00), le potentiel hydrique a été de -1,04 MPa contre -1,5 MPa sous le houppier en balai. Au cours des autres heures de la journée (12h00 et 16h00), le potentiel hydrique foliaire a atteint des valeurs beaucoup plus faibles à 12h00 dans les zones Z1, Z3 et Z4 (-2,07 MPa) que dans la zone Z2 (-1,8 MPa). Ces valeurs ont tendance à demeurer constantes jusqu'à 16h00.

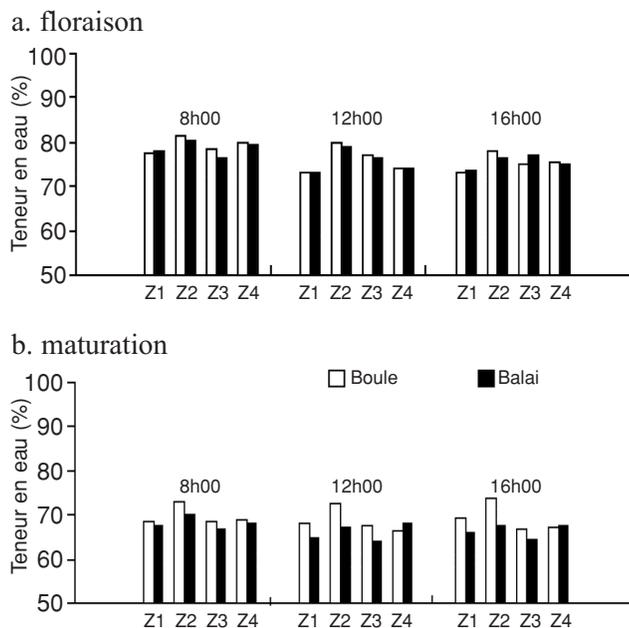
La teneur en eau des plantes a été mesurée pendant les mêmes périodes de mesure du potentiel hydrique foliaire. En période de floraison (**Figure 9a**), la teneur en eau des feuilles mesurée à 8h00 dans la zone sous les houppiers (Z2) a été significativement plus élevée ( $P = 0,017$ ) que celle des zones situées hors houppier (Z3, Z1, Z4). Cette différence a été plus manifeste surtout à 12h00. À cette heure de la journée, la teneur en eau des feuilles était en moyenne de



**Figures 8a et b.** Évolution du potentiel hydrique (MPa) des feuilles de maïs selon la période de croissance (a. floraison, b. maturation), la forme du houppier, les zones d'interaction et l'heure de mesure — *Evolution of the hydrous potential (MPa) of the maize leaves according to the period of growth (a. flowering, b. maturation), the form of the canopy, the zones of interaction and the hour of measurement.*

79,51 % dans Z2, 76,67 % dans Z3, 74,17 % dans Z4 et de 73,09 % dans Z1. En comparant les heures de mesure, la teneur en eau des feuilles dans les zones d'interaction diminue progressivement de 8h00 jusqu'à 16h00. Dans la zone Z1 la teneur en eau des feuilles passe de 77,4 % à 8h00, à 76,6 % à 12h00 et à 75,9 % à 16h00. Sous le houppier (Z2) cette diminution est relativement plus faible entre 8h00 (80,8 %) et 12h00 (79,5 %). Ces données montrent que le stress hydrique ne s'est pas beaucoup manifesté au moment de la floraison.

Pendant la période de maturation (**Figure 9b**) intervenue en septembre, seules les teneurs en eau des feuilles situées sous le houppier en boule sont restées légèrement au-dessus de 70 %. La teneur en eau des feuilles mesurée à 8h00 dans les zones sous houppier balai et hors houppier a été en moyenne de 67 %. Cette teneur n'a pas beaucoup évolué au cours des autres heures de la journée. La diminution de la teneur en eau des feuilles indique que le maïs a été plus stressé pendant cette phase qu'à la floraison. En effet, la maturation a coïncidé avec le mois de septembre et à cette période les pluies étaient rares et insuffisantes. Le mois de septembre a totalisé 94,9 mm repartis en huit jours de pluie. Suite à la rareté des pluies, un début de sénescence a été observé au niveau des feuilles basales du maïs.



**Figures 9a et b.** Évolution de la teneur en eau (%) des feuilles de maïs selon la période de croissance (a. floraison, b. maturation), la forme du houppier, les zones d'interaction et l'heure de mesure — *Evolution of the water content (%) of the maize leaves according to the period of growth (a. flowering, b. maturation), the form of the canopy, the zones of interaction and the hour of measurement.*

**Tableau 2.** Taux d'assimilation chlorophyllienne ( $10^{-2} \mu\text{g mm}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) au cours de la croissance du maïs selon le type de houppier du karité et les zones d'interaction — *Rate of photosynthesis ( $10^{-2} \mu\text{g mm}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) during growth of maize according to the canopy of the shea tree (ball and brush) and zones of interaction (Z1, Z2, Z3 and Z4).*

Jours après semis (JAS)	Z1	Z2	Z3	Z4	Moy.	CV* (%)	PPDS**
<b>30 JAS</b>							
Boule	146	90	123	112	119		
Balai	146	67	101	90	101		
Moyenne	146	78	112	101	109		
<b>40 JAS</b>							
Boule	525	119	594	594	458		
Balai	365	411	576	502	463		
Moyenne	445 <sup>a</sup>	265 <sup>b</sup>	585 <sup>a</sup>	548 <sup>a</sup>	461	22,5	171
<b>50 JAS</b>							
Boule	248	111	202	209	192		
Balai	209	104	196	278	188		
Moyenne	229 <sup>a</sup>	108 <sup>b</sup>	199 <sup>a</sup>	243 <sup>a</sup>	195	16,1	52
<b>60 JAS</b>							
Boule	146	48	85	97	94		
Balai	130	57	88	85	90		
Moyenne	138 <sup>a</sup>	53 <sup>c</sup>	86 <sup>b</sup>	91 <sup>b</sup>	92	17,6	27

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

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 l'après-midi) ; Z4 : zone intermédiaire 2 (culture à l'ombre le matin et au soleil dans l'après-midi).

\* CV = coefficient de variation ; \*\* PPDS = plus petite différence significative.

Les taux d'assimilation chlorophyllienne ont été évalués à 30, 40, 50 et 60 JAS. Les résultats sont portés sur le **tableau 2**. Ils ne diffèrent pas significativement entre les deux types de houppier. Par contre, en comparant 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 2**, on constate que les taux relevés dans les zones d'interaction augmentent régulièrement depuis le 30<sup>e</sup> JAS jusqu'au 40<sup>e</sup> 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. À 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 3**) indiquent que, d'une manière générale, les poids des épis, des tiges et des grains sont plus

**Tableau 3.** Le rendement du maïs et ses composantes selon le houppier du karité et les zones d'interaction — *The yield of maize and its components according to the canopy of the shea tree (ball and brush) and zones of interaction (Z1, Z2, Z3 and Z4).*

Composantes de rendements	Z1	Z2	Z3	Z4	Moy.	CV <sup>1</sup> (%)	Etr <sup>2</sup> (ddl <sup>3</sup> =24)	PPDS <sup>4</sup>
<b>Poids des épis (g m<sup>-2</sup>)</b>								
Boule	307	134	234	227	225	18,1	42,09	58,05
Balai	268	163	270	253	238	18,1	42,09	58,05
Moyenne	288 <sup>a</sup>	148 <sup>b</sup>	252 <sup>a</sup>	240 <sup>a</sup>				
<b>Poids des tiges (g m<sup>-2</sup>)</b>								
Boule	334	189	276	273	268	19,2	52,82	72,83
Balai	308	220	286	319	283	19,2	52,82	72,83
Moyenne	321 <sup>a</sup>	204 <sup>b</sup>	281 <sup>a</sup>	296 <sup>a</sup>				
<b>Poids des grains (g m<sup>-2</sup>)</b>								
Boule	252	109	205	191	189	18,3	35,94	49,56
Balai	220	153	229	209	202	18,3	35,94	49,56
Moyenne	236 <sup>a</sup>	131 <sup>b</sup>	217 <sup>a</sup>	200 <sup>a</sup>				
<b>Poids de 1000 grains (g)</b>								
Boule	161	172	173	178	171	7,8	13,13	
Balai	154	166	170	164	164	7,8	13,13	
Moyenne	158	169	172	171				

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

<sup>1</sup> CV = coefficient de variation ; <sup>2</sup> Etr = écart type résiduel ; <sup>3</sup> ddl = degré de liberté ; <sup>4</sup> PPDS = plus petite différence significative.

élevés dans les zones d'interaction Z1, Z3 et Z4 qu'en Z2. L'analyse statistique révèle que ces résultats sont significativement différents dans les zones d'interaction. En revanche, entre les houppiers en boule et en balai, les résultats ne diffèrent pas significativement. Dans le classement des moyennes, Z1 présente le meilleur rendement en grains ( $236 \text{ g m}^{-2}$ ) suivi de Z3 ( $217 \text{ g m}^{-2}$ ) et Z4 ( $200 \text{ g m}^{-2}$ ) et en dernière position Z2 ( $131 \text{ g m}^{-2}$ ). Le poids des grains obtenu dans Z1 est de  $236 \text{ g m}^{-2}$  contre  $131 \text{ g m}^{-2}$  obtenu dans Z2. Cette différence est évaluée à 80 %. Le poids des tiges quant à lui a augmenté régulièrement dans Z1, Z4 et Z3 et est inférieur dans Z2. Le poids des grains relevé sous houppier en balai est de  $153 \text{ g m}^{-2}$  contre  $109 \text{ g m}^{-2}$  sous houppier en boule. Cette différence est évaluée à 40 %. C'est également sous houppier en boule que le poids des tiges est le plus bas.

#### 4. DISCUSSIONS

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 Ruyssen (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 donc 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 d'ombrage qui selon Jonsson (1995) contribue à modérer la température ambiante et à augmenter l'humidité de l'air. Cet effet d'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'éclairement sous houppier ont par ailleurs entraîné un mauvais développement des plants de 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 très 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 plus lent. Ce rythme est souvent à l'origine de la réduction de la hauteur des plants.

Concernant le potentiel hydrique foliaire, sa valeur moyenne journalière suit le potentiel hydrique du sol, par contre ses valeurs instantanées sont étroitement dépendantes de la demande transpiratoire (Robelin, 1984). Cette demande serait liée à l'augmentation du rayonnement et à l'élévation du déficit de pression de vapeur. Les données obtenues par la présente étude, à la floraison, n'ont pas révélé de différence

significative ni entre les houppiers ni entre les zones d'interaction. La sécheresse occasionnée par les cinq jours d'arrêt momentané des pluies à la floraison, a été moins sévère si bien que le potentiel hydrique foliaire du maïs est resté très élevé (-0,989 MPA) dans les zones d'interaction. Les valeurs du potentiel hydrique ont très peu varié au cours de la journée. Cette situation est due à la période des mensurations qui est intervenue en août. Le mois d'août est généralement très pluvieux et les phénomènes d'évaporation et de rayonnement moins intenses contribuent à conserver l'eau du sol. La tension de l'eau dans le sol à cette période a été plus élevée sous les houppiers (-18 KPa) qu'en dehors du houppier (-30 KPa). Les plantes se trouvent en ce moment en condition de confort hydrique. Par contre, à la maturation, intervenue en septembre, le déficit hydrique provoqué par l'arrêt de la pluie durant sept jours a été très intense, provoquant une diminution de la teneur en eau des feuilles de maïs (67 %). La tension de l'eau dans le sol est passée de -30 à 43 KPa en dehors du houppier et de -18 à -24 KPa respectivement sous le houppier en balai et en boule. Cette diminution de l'eau du sol a entraîné une baisse du potentiel hydrique foliaire du maïs (-2,07 MPA). L'abaissement du potentiel hydrique est relativement moins important sous houppier (-1,2 MPA) que hors houppier (-2,07 MPA). Au mois de septembre, suite à la diminution des précipitations, l'eau du sol diminue et le rayonnement solaire redevient plus intense. Diakite (1995) rapporte que la baisse progressive du potentiel hydrique foliaire de 8 heures à 12 heures serait liée à l'augmentation du rayonnement solaire durant cette période du jour et qui entraîne une élévation de l'évapotranspiration et du déficit de pression de vapeur à l'interface feuille-air.

La teneur en eau des feuilles a suivi également la même tendance que le potentiel hydrique en août, à la seule différence que sous les houppiers elle a été significative plus élevée (79,51 %) qu'en dehors du houppier (73,09 %). L'humidité accrue du sol sous les houppiers à cette période et l'effet d'ombrage ont dû favoriser cette tendance. En septembre la teneur en eau des feuilles diminue suite à la diminution de l'humidité du sol occasionnée par la rareté des pluies. Mais elle demeure toujours plus élevée sous le houppier en boule (70 %) où le sol est faiblement appauvri en eau.

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.*, 2000), la réduction de la production de la matière sèche sous les arbres serait en partie due à l'insuffisance de la quantité d'éclairement. 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 contre 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.

## 5. 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 houppiers 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. Mais 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.

## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier sincèrement l'Association des Universités Africaines (AUA) qui a financé le projet soumis par le CERAAS.

## Bibliographie

- Baldy C., Stigter C.J. (1993). *Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes*. Paris : INRA, 246 p.
- Bayala J., Teklehaimanot Z., Ouedraogo J.S. (2002). Millet production under pruned tree crowns in a parkland system in Burkina Faso. *Agrofor. Syst.* **54**, p. 203–214.
- 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, 99 p.
- Boffa J.M. (2000). Les parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne. *Cah. FAO Conserv.* **34**, 258 p.
- Bonhomme R. (1984). Fonctionnement photosynthétique du couvert végétal. In *Physiologie du maïs*. Paris : INRA, p. 147–162.
- Bureau National des Sols (BUNASOL) (1987). *Méthodes d'analyse physiques et chimiques des eaux et du sol. Document technique n°3*. Ouagadougou, Burkina Faso : BUNASOL, 159 p.
- Diakité 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.Sci. Univ. Laval, Québec, Canada, 69 p.
- FAO (2000). Annuaire FAO de la production. Collection *FAO statistique* **163**, p. 71–83.
- Hema D. (1990). *Adaptation à la sécheresse du maïs. Rapport CERAAS*, 10 p.
- Hema D. (1994). *Étude 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, 151 p.
- 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, 92 p.
- Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) (1993). *Caractérisation des stations de recherches agronomiques de Di, Katchari et Kouaré. Rapport technique*. Ouagadougou, Burkina Faso : INERA, p. 69–82.
- Jonsson K., Ong CK., Odongos JCW. (1999). Influence of scattered nere and karite on microclimate, soil fertility and millet yield in Burkina Faso. *Exp. Agric.* **35**, p. 39–53.
- Kessler JJ. (1992). The influence of karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) trees on sorghum production in Burkina Faso. *Agrofor. Syst.* **17**, p. 97–118.
- Maïga 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, 86 p + annexes.
- Nyberg G., Högborg P. (1995). Effets of young agroforestry trees on soils in farm situations in Western Kenya. *Agrofor. Syst.* **32**, p. 145–152.
- Ouedraogo M. (2000). *Étude biologique et physiologique du Jatropha curcas L.* Thèse d'État Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 289 p.
- Prioul JL. (1984). Transport et distribution des assimilats chez le maïs : mécanisme, rôle des facteurs externes. In Gallais A. (Ed.). *Physiologie du maïs*. Paris : INRA, p. 303–319.
- Robelin M. (1984). Fonctionnement hydrique et adaptation à la sécheresse. In Gallais A. (Ed.). *Physiologie du maïs*. Paris : INRA, p. 345–376.
- Rondeux J. (1993). *Les mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Gembloux, Belgique : Les Presses agronomiques de Gembloux, 521 p.
- Ruyssen B. (1957). Le karité au Soudan. *Agron. Trop.* **XI** (2), p. 144–172 ; **XII** (3), p. 279–306 ; **XII** (4), p. 415–438.
- Sinclair FL. (1999). A general classification of agroforestry practice. *Agrofor. Syst.* **46**, p. 161–180.
- Sivakumar MVK., Gnoumou F. (1987). Agroclimatology of West Africa. Burkina Faso. *ICRISAT Inf. Bull.* **23**, p. 1–62.
- Somé 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, 213 p.
- Young A. (1986). Effects of trees on soils. In RT. Prinsley, MJ. Swift (Eds). *Amelioration of soil by trees*. London: Commonwealth Science Concil, p. 10–15.

(25 réf.)