

## **Effet combiné de NPK et de trois différents mulch d'origine végétale sur la production maïsicole et la fertilité des sols au Sud-Bénin**

**R. MALIKI<sup>3</sup>, M. BERNARD<sup>4</sup>, E. PADONOU<sup>5</sup>, C. ENGLEHART<sup>6</sup>, B. A. SINSIN<sup>7</sup> et N. AHO<sup>7</sup>**

### **Résumé**

L'objectif de l'étude a été d'évaluer l'effet combiné de NPK et de trois différents mulch d'origine végétale sur la production maïsicole et la fertilité des sols au Sud Bénin. Le système de coupe et transport des matériaux locaux frais (*Cassia seamea*, *Chromolaena odorata* et *Imperata cylindrica*) a été pratiqué par les producteurs appliqués à la dose de 5 t/ha de matière sèche en exclusive et en association avec de l'engrais NPK de formule 15-15-15 à la dose unique de 600 kg/ha. Le dispositif expérimental a été un bloc complètement aléatoire utilisant le modèle partiellement hiérarchisé à trios facteurs (site, répétition et traitement). L'essai a été conduit en champs paysans dans deux villages (sites de Houèto et d'Attotinga respectivement dans les communes d'Abomey-Calavi et d'Allada) sur terres de barre dégradées avec 12 producteurs ou répétitions intégrant huit traitements [témoin/zéro (T) ; 600 kg/ha de NPK 15-15-15 (N90) ; 5 t/ha de matière sèche (MS) de *Cassia siamea* (CA) ; 5 t/ha de MS de *Chromolaena odorata* (CH) ; 5 t/ha de MS de *Imperata cylindrica* (IM) ; CA+N90 (CA90) ; CH+N90 (CH90) ; IM+N90 (IM90)] au niveau de chaque site. Les observations ont porté sur –i- les caractéristiques physico-chimiques des sols avant les traitements et en fin d'essai à 0-10 cm de profondeur, -ii- l'humidité édaphique à 0-10 cm de profondeur, -iii- l'enherbement des parcelles, -iv- les taux de décomposition des matières végétales, -v- la croissance en hauteur des plants et –vi- le rendement du maïs. L'analyse de variance (ANOVA) utilisant le modèle linéaire généralisé (GLM) a été appliquée. L'ANOVA a révélé que les rendements moyens en grains du maïs étaient significativement différents selon les traitements ( $p = 0,001$ ) et selon les sites ( $p = 0,024$ ). L'interaction site  $\times$  traitement était aussi significative ( $p = 0,000$ ) pour le rendement en grains du maïs. L'application de matière organique végétale et engrais minéraux permet d'augmenter le rendement du maïs, d'améliorer particulièrement les teneurs en phosphore des sols et la productivité des ferralsols dégradés.

**Mots clés** : Bénin, conservation des sols, engrais minéraux, maïs, paillage, productivité

### **Combined effect of mineral fertilizers and three different mulches on maize yield and soil fertility in southern Benin**

### **Abstract**

The study aimed to compare the potential of three different types of mulch to increase productivity of the degraded ferralsols. Cut and carry system of 5 t/ha of three different types of mulch (*Cassia siamea*, *Chromolaena odorata*, *Imperata cylindrica*) sole and in combination with mineral fertilizer (600 kg/ha of NPK 15-15-15) was implemented. The experimental design was a randomized complete block using a partial nested model with three factors (site, replicate, treatment). The trial was conducted in farmers' fields in two villages (sites of Houèto and Attotinga respectively in Abomey-Calavi and Allada districts) on degraded ferralsols "terres de barre" with 12 farmers or replicates including eight treatments [control/zero (T); 600 kg/ha of NPK 15-15-15 (N90); 5 t/ha of dry matter (DM) of *Cassia siamea* (CA); 5 t/ha of DM of *Chromolaena odorata* (CH); 5 t/ha of DM of *Imperata cylindrica* (IM); CA+N90 (CA90); CH+N90 (CH90); IM+N90 (IM90)] in each site. Data were collected on soil chemical and physical characteristics (0-10 cm depth) before treatments and at the end of the trial, soil humidity (0-10 cm depth), weeds cover rate, decomposition rate of mulch, maize heights and yields. Analysis of

<sup>3</sup> Dr Ir. Raphiou MALIKI, Centre de Recherches Agricoles-Centre, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, BP 2128 Savè, E-mail : [malikird@yahoo.fr](mailto:malikird@yahoo.fr), Tél. (+229)97909039, République du Bénin

<sup>4</sup> MSc. Marc BERNARD, RUNetwork à Bonn, Centre d'innovation Verte Agricole (CIVA) à AfricaRice/IITABénin, E-Mail: [M.Bernard@cgiar.org](mailto:M.Bernard@cgiar.org) [oubernard@zadi.de](mailto:oubernard@zadi.de), Tél. : (+229) 62 10 53 21

<sup>5</sup> Ir. Eugène PADONOU, SNV 01BP : 1048, Cotonou, E-mail: [snvben@intnet.bj](mailto:snvben@intnet.bj), Tél. : (+229)97877607, République du Bénin

<sup>6</sup> MSc. Christophe ENGLEHART, Université de Moncton, 716 B Ch. Msgr. Martin O., Saint-Quentin, N.-B. E8A 2E5, Canada, E-mail : [Christopher.Englehart@groupe-savoie.com](mailto:Christopher.Englehart@groupe-savoie.com) / [christopherenglehart@hotmail.com](mailto:christopherenglehart@hotmail.com), Tél. : (+506)858-4000

<sup>7</sup> Prof. Dr Ir. Brice Augustin SINSIN, Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 526 Recette Principale, Cotonou 01, E-mail: [bsinsin@gmail.com](mailto:bsinsin@gmail.com), Tél. : (+229)97016136, République du Bénin

Prof. Dr Ir. Nestor AHO, FSA/UAC, 01 BP 526 Recette Principale, Cotonou 01, E-Mail: [ahonestor@yahoo.fr](mailto:ahonestor@yahoo.fr), Tél. : (+229)20248754, République du Bénin

variance (ANOVA) using the general linear model (GLM) procedure was applied. ANOVA showed that average maize grain yields were significant as part of treatments ( $p = 0.001$ ) and sites ( $p = 0.024$ ). Interaction site  $\times$  treatment was significant ( $p = 0.000$ ) for maize grain yields. Combined NPK and green organic matter contributed significantly to increase maize yield, improved particularly the soil phosphorous amount and the productivity of degraded ferralsols.

**Key words:** Benin, chemical fertilizers, maize, mulching, soil conservation

## INTRODUCTION

Le Bénin est un pays en voie de développement où l'agriculture constitue la base de l'économie. Elle représente près de 38 % du Produit Intérieur Brut (PIB) et occupe 80 % de la population active (Soulé *et al.*, 2008). Toutefois, cet important capital de développement est mal utilisé et se trouve aujourd'hui en proie à une forte dégradation compromettant même l'autosuffisance alimentaire. Cette situation justifie l'importance accordée à la promotion des filières au nombre des principaux axes d'intervention du Plan Stratégique de Relance du Secteur Agricole (PSRSA, 2011). Parmi les différentes cultures retenues, le maïs occupe une place de choix, car il représente à la fois une culture vivrière et une culture de rente.

Au Bénin, le maïs occupe près de 82% de la superficie totale consacrée aux céréales et représente environ 84% de la production céréalière (DPP/MAEP, 2008 ; Adégbola *et al.*, 2013). Selon FAO (2011), la production nationale du maïs a connu une évolution en dents de scie entre 1999 et 2009 avec un pic en 2008-2009. Elle est passée de 782.974 tonnes en 1999 à 1.205.200 tonnes en 2009 soit un accroissement de 35% en 10 ans. La culture du maïs a contribué à plus de 100 milliards de francs CFA au Produit National Brut (PNB) du Bénin et en moyenne à 40% à la création de la richesse nationale ; ce qui représente environ 9% du PIB agricole (Sohinto et Aïna, 2010).

Le maïs occupe aujourd'hui la première place dans le système alimentaire national et reste la céréale la plus consommée loin devant le riz et le sorgho. Il constitue le principal aliment de base de toute la partie méridionale du Bénin, soit les 2/3 de la population nationale (PSRSA, 2011). Habituellement cultivé au sud et au centre (Ouémé, Mono, Atlantique et Zou), le maïs tend à se développer dans les régions septentrionales (surtout dans le Borgou), où autrefois seul le maïs jaune était cultivé pour les périodes de soudure. Il est consommé sous plusieurs formes, seul ou en association. Selon les statistiques des services du Ministère du Développement Rural (2008), la consommation par tête d'habitant et par an est la plus élevée dans le département de l'Ouémé, suivi de celui du Mono, puis de celui de l'Atlantique. Les autres départements sont en dessous de la moyenne.

En dépit de l'importance de cette spéculation et de sa demande de plus en plus croissante, la productivité du maïs reste encore faible. Ainsi, certains producteurs continuent d'avoir des rendements inférieurs à 0,5 t/ha contre des rendements potentiels, en station de recherche, de 3 à 5 t/ha selon qu'ils apportent ou non des engrais minéraux (Azontondé *et al.*, 2010). Outre les aléas climatiques et les nuisibles, la faible productivité du maïs est due en grande partie à la baisse de la fertilité des sols (Houndékon et Gogan, 1996 ; Azontondé *et al.*, 2009). En effet, 90% des terres cultivées présentent une dégradation conduisant à la baisse de leur productivité. La gestion de la fertilité des sols est un sujet d'une grande importance au Bénin où la déforestation et l'érosion rendent chaque année les terres impropres à l'agriculture. Ceci s'explique par l'abandon du mode traditionnel de restauration de la fertilité des sols par la jachère de 2 à 5 ans (Boko et Kpagbin, 1997 ; Gaiser *et al.*, 2011).

La croissance démographique observée dans de nombreuses régions tropicales, notamment au Sud Bénin a entraîné la surexploitation des terres et le raccourcissement des périodes de jachères. De même, les éléments nutritifs exportés par les récoltes sont faiblement restitués. Ceci a pour conséquence la dégradation et la baisse du potentiel de production des ferralsols ou terres de barre (Igué *et al.*, 2013). Des travaux de recherche dans le cadre du Programme Spécial de Recherche SFB 308 "Agriculture adaptée au milieu en Afrique de l'Ouest" de l'Université de Hohenheim (UNIHO) en collaboration avec l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) et l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) ont été entrepris pour corriger les problèmes principaux de dégradation des terres agricoles dans la région Sud Bénin et surtout pour accroître l'adoption d'innovations techniques performantes dans les systèmes d'exploitation agricoles. Des solutions techniques adaptées aux conditions du milieu pour relever et maintenir la fertilité des terres agricoles ont été mises au point à partir de la valorisation des matériaux locaux disponibles (*Cassia siamea*, *Chromolaena odorata* et *Imperata cylindrica*) au Sud Bénin. La pratique de collecte de la matière organique et d'épandage sous forme de mulch a été développée pour la culture subséquente (maïs) par le système de coupe

et transport de la biomasse (system of cut and carry). Cette démarche se justifie par le fait que dans le contexte des changements climatiques marqués par les retards de pluies, les poches de sécheresse plus ou moins longues sur les cultures en phases critiques presque durant chaque campagne agricole ces dernières années, la pratique de semis sur couverture végétale grâce à disponibilité des matériaux locaux pourrait constituer une alternative de préservation et de valorisation durable des terres.

L'objectif de l'étude a été d'évaluer l'effet combiné de NPK et trois différents mulch d'origine végétale (*Cassia seamea*, *Chromolaena odorata* et *Imperata cylindrica*) sur la production maïsicole et la fertilité des sols ferrallitiques au Sud Bénin.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Caractéristiques des zones agro-écologiques

L'étude a été conduite sur les terres de barre au Sud Bénin à Houèto dans la Commune d'Abomey-Calavi et Attontinga dans la Commune d'Allada. Les caractéristiques physico-chimiques initiales des terres de barre des sites d'intervention sont consignées dans le tableau 1.

**Tableau 1. Propriétés physiques et chimiques moyennes des sols de 0 à 10 cm de profondeur.**

Ntotal (%)	P-Bray 1 (mg/kg)	Cations échangeables			CEC	Matière Organique (%)	pH H <sub>2</sub> O	Granulométrie		
		K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>				Sable	Limon	Argile
		(méq/100 g de sol)						(%)		
0,06	8,4	0,92	3,38	1,34	7,02	1,87	6,58	83,7	7,8	8,3

**CEC : Capacité d'échange cationique**

**Source :** Résultats d'analyse de sol au Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement (LSSEE) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

Le climat est de type subéquatorial à soudano-guinéen caractérisé par l'alternance de deux saisons sèches (novembre à mars et juillet à août) et de deux saisons de pluies (mars à juillet et septembre à novembre) (Bernard *et al.*, 1998a). La pluviométrie moyenne annuelle est de 1.100 mm (Bernard *et al.*, 1998a). La végétation est de type savane arborée dégradée, tandis que la végétation ligneuse est dominée par le palmier à huile (*Elaeis guineensis*), par contre le maïs, le manioc, la tomate, l'arachide et le niébé constituaient les principales cultures vivrières (Floquet, 1998).

### Caractéristiques des sources de matières organiques végétales pour le paillage

***Cassia siamea*, une Caesalpiniaceae (Bernard *et al.*, 1998b) :** Arbre atteignant des hauteurs de 1,5 m à 20 m, souvent à port buissonnant, est originaire des Indes, de Birmanie et de Ceylan. *Cassia siamea* est planté pour le bois de feu et sert de brise vent pour les cultures. Les feuilles sont utilisées à des fins médicinales pour la santé humaine, fourragères pour l'alimentation animale (petits ruminants) et comme plante améliorante de la fertilité des sols.

***Imperata cylindrica*, une Poaceae (Akobundu et Agyakwa, 1989) :** Graminée vivace et rigide, avec des pousses érigées grêle d'environ 50 cm de hauteur, partant d'un rhizome écailleux. Sa propagation se fait surtout par voie végétative à partir des rhizomes. La viabilité des semences est faible. La tige consiste en une masse dense de rhizomes. Les feuilles sont linéaires de 30 cm à 1,25 m de long et de 10 à 18 mm de large. Elles ont des sommets pointus comme les aiguilles. C'est un adventice redoutable colonisant les terres cultivées, surtout en forêt de transition en zone de savane. Il est souvent utilisé comme matériau de construction.

***Chromolaena odorata*, une Asteraceae (Akobundu et Agyakwa, 1989) :** Légumineuse à arbuste vivace très odorant, diffus à croissance rapide pouvant atteindre 3 m de haut et se propageant par des semences ou des pousses basilaires. L'adventice est répandu en Afrique Occidentale dans les régions côtières de la zone forestière et la limite méridionale de la savane guinéenne. Au Sud-Bénin, il colonise souvent les champs après la défriche des jachères. La tige est cylindrique, robuste, plutôt dressée, dichotome et modérément pubescente. Les feuilles sont opposées, ovales et triangulaires. Elles sont glabres ou légèrement pubescentes. Elles portent en général des points glanduleux dont émane une forte odeur. C'est une espèce cicatrisante des plaies et également reconnue comme un indicateur de fertilité des sols.

La composition de la biomasse feuille des différentes matières organiques végétales a été présentée dans le Tableau 2.

**Tableau 2. Composition de la biomasse feuille des différentes matières végétales**

Éléments	<i>Cassia siamea</i>	<i>Imperata cylindrica</i>	<i>Chromolaena odorata</i>
H <sub>2</sub> O %	65,810	72,667	75,810
MS %	34,120	26,700	24,090
C%	52,810	52,420	53,830
MO %	90,830	90,160	92,570
N organique	2,212	0,924	1,540
P %	0,145	0,095	0,335
K%	0,699	0,597	2,828
Mg %	0,427	0,428	0,675
Ca %	1,768	0,414	0,850
C/N	23,870	56,730	34,940
MO/N	41,060	97,570	60,110

Source : Résultats d'analyse de sol au Laboratoire des Sciences du Sol, Eau et Environnement (LSSEE) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

### **Dispositif expérimental**

L'essai a été implanté dans les champs des producteurs et productrices suite à la coupe et transport de la biomasse feuille appliquée sous forme de mulch. Trois matières végétales fraîches (*Cassia siamea*, *Imperata cylindrica* et *Chromolaena odorata*) au poids de 5/ha ont été utilisées en exclusive et en association avec l'engrais NPK de formule 15-15-15 à la dose unique de 600 kg/ha. Le dispositif expérimental est un bloc de Fisher éclaté complètement aléatoire installé sur terre de barre au Sud-Bénin. Le dispositif expérimental a comporté les trois facteurs ci-après :

- Traitement : un facteur fixe à huit niveaux [Témoin (T) ; NPK (N90) ; Cassia (CA) ; Cassia+NPK (CA90) ; Imperata (IM) ; Imperata+NPK (IM90) ; Chromolaena (CH) ; Chromolaena+NPK (CH90)] ;
- Site : un facteur aléatoire à 2 niveaux (Attotinga et Houéto) ;
- Répétition : un facteur aléatoire à 12 niveaux dont six niveaux par site.

Le dispositif expérimental a été installé au niveau de 12 champs paysans. Chaque champ a représenté une Répétition. Les dimensions des parcelles élémentaires étaient (8 m x 8 m). Le maïs (variété locale) a été installé en première saison sur les différents traitements. Les doses d'unité fertilisantes (kg/ha) et rapports C/N correspondants par traitement ont été présentés dans le Tableau 3.

**Tableau 3. Doses d'unité fertilisante (kg/ha) et rapports C/N correspondants par traitement**

Traitements	N	P	K	Ca	Mg	C/N
T (Témoin)	-	-	-	-	-	-
N90 (NPK)	90,00	39,60	74,70	0	0	-
CA (Cassia)	110,60	7,25	34,95	88,4	21,35	23,87
CA90 (Cassia+NPK)	200,60	46,85	109,65	88,4	21,35	-
IM (Imperata)	46,20	4,75	29,85	20,7	21,40	56,73
IM90 (Imperata+NPK)	136,20	44,35	104,55	20,7	21,40	-
CH (Chromolaena)	77,00	16,75	141,40	42,5	33,75	34,94
CH90 (Chromolaena+NPK)	167,00	56,35	216,10	42,5	33,75	-

### **Prélèvement et analyse des échantillons de sol et plante**

Les échantillons de sols ont été prélevés quelque jours avant l'épandage de la matière organique et après la culture (à la récolte) à l'aide d'une sonde et ceci en 10 points suivant les diagonales de chaque parcelle élémentaire à une profondeur de 0-10 cm du sol. Au total 208 échantillons ont été prélevés.

Les analyses de sol et plantes ont été réalisées au LSSEE. La CEC et les bases échangeables ont été extraites par la méthode de l'acétate d'ammonium normal à pH7 dans un rapport sol/solution de 1 : 6. Les bases échangeables du sol ont été déterminées par l'absorption atomique. Le phosphore assimilable du sol a été déterminé par la méthode de BRAY1 (Bray, 1954). L'azote total du sol a été déterminé par la méthode de KJELDAHL (Scarf, 1998). Le carbone organique a été déterminé par la méthode de Walkley et Black (1934.). Le pH eau du sol et de l'engrais de formule 15-15-15 a été mesuré à l'aide d'un pH mètre dans un rapport substrat/eau de 1 : 2,5.

Quant aux analyses foliaires, l'azote des grains et des pailles a été extrait par la méthode de KJELDAHL (Scarf, 1998). Cela a consisté à minéraliser l'échantillon en présence de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré, de l'eau oxygéné (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) et d'un catalyseur (sélénium). Le K, Mg et Ca ont été déterminés par la méthode FAO (FAO, 1970 ; FAO, 1977) qui a consisté à minéraliser des échantillons par le H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en présence de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Les observations ont porté sur les paramètres de croissance suivants :

**Hauteur des plants du maïs :** elle a été mesurée 1 mois après semis puis répétée tous les 12 jours jusqu'à l'émergence des panicules.

**Enherbement des parcelles :** Cela a consisté à mesurer à l'aide d'un double décimètre, trois et six semaines après épandage (S. A. E), la fréquence d'apparition des adventices au niveau de chaque traitement. A chaque pas de graduation (5 cm), les adventices en compétition avec la plante noble et sis au-dessus ou en dessous des trajectoires empruntées par le décimètre sont comptés. L'enherbement en pour cent de couverture est déterminé en ramenant l'effectif des adventices enregistrés à un total de traits de l'instrument fixé d'avance.

**Décomposition des substrats organiques des parcelles :** la minéralisation des substrats végétaux a été mesurée les 4, 42 et 110 jours après épandage. Cela a consisté à poser trois cadres de 1 m<sup>2</sup> sur la surface utile et à recueillir leur contenu en matière organique appliquée sur chaque traitement. Après tamisage et tri, les poids frais et poids secs ont été déterminés. Le calcul de la décomposition a été réalisé de la façon suivante :  $D = (A_m - R_m) \times S$  (1), où :  $A_m$  : apport de substrat par m<sup>2</sup> ;  $R_m$  : reliquat moyen de substrat par m<sup>2</sup> ;  $S$  : surface utile (16 m<sup>2</sup>) ;  $D$  : décomposition du substrat par surface utile. Le taux de décomposition (T%) a été calculé comme suit :  $T\% = (D/A_m) \times 100$  (2).

**Teneur en eau du sol :** elle a été mesurée huit semaines après épandage au moyen d'une sonde plongée à 10 cm de profondeur dans le sol. Trois échantillons de sols ont été constitués par surface utile lesquels ont été immédiatement pesés puis passés à l'étuve. L'humidité édaphique moyenne a été évaluée comme suit :  $H_2O\% = (P_f/P_s - 1) \times 100$  (3), où :  $P_f$  : poids frais moyen du sol ;  $P_s$  : poids sec moyen du sol ;  $H_2O\%$  : teneur en eau moyenne du sol.

**Le rendement en grains du maïs :** Trois plants et 15 épis de maïs ont été échantillonnés au hasard sur la surface utile ou élémentaire puis pesés et égrenés après le déspathage. Les pailles et les grains obtenus à partir de l'échantillon de même que leurs rafles ont été pesés après la mise à l'étuve à 85°C. Les rendements en grains du maïs ont été estimés de la façon suivante :

$$R = PFTE \times \frac{100 - TE}{100} \times \frac{PFEG}{PFEE} \times \frac{S}{S_i} \times \frac{1}{1000} \quad (4),$$

où :  $R$  = rendement en grains du maïs (t.ha<sup>-1</sup>) ;  $PFTE$  = Poids frais total épis (kg) ;  $TE$  = Teneur en eau des grains (par la méthode de l'humidimètre de marque PFEUFFER HE 50) ;  $PFEG$  = Poids frais échantillon grains (g) ;  $PFEE$  = Poids frais échantillon épis (g) ;  $S$  = 1 ha (=10.000 m<sup>2</sup>) ;  $S_i$  = surface élémentaire (m<sup>2</sup>).



L'estimation du rendement en grains de maïs commercial dosant 15% d'humidité a été faite à l'aide de la formule suivante :  $R_{mm} = R_M \times \frac{100}{85}$  (5), où :  $R_M$  = rendement de maïs (t.ha<sup>-1</sup>) ;  $R_{mm}$  = rendement en grains de maïs dosant 15% d'humidité ;  $R_{mm}$  est déterminé pour les évaluations économiques. En effet, le maïs commercial renferme 15% d'humidité (Maliki, 1993).

### **Analyses statistiques**

Le test de Student-Newman-Keuls a été appliqué pour évaluer les différences entre les traitements. La significativité a été considérée à  $p \leq 0,05$ . L'analyse de l'effet des interactions (test de Fisher) a été faite sur la base de l'analyse de variance (ANOVA) qui a été appliquée pour l'évaluation de l'effet de chacun des facteurs Traitement et Site et de leur interaction (tableau 4). La procédure du Modèle Linéaire Général (GLM) recommandée par (SAS, 1996) a été utilisée pour l'évaluation des interactions entre les facteurs considérés. Lorsque les interactions entre les principaux facteurs sont significatives, le diagramme d'interaction a été établi pour décrire l'effet de chaque facteur.

**Tableau 4. Caractérisation des facteurs du dispositif expérimental**

Facteur	Nature des facteurs	Niveaux des facteurs	Variantes des facteurs
Traitement	Fixe	8	T, N90, CA, CA90, IM, IM90, CH et CH90
Répétition	Aléatoire	12	Rep1, Rep2, Rep3, Rep4, Rep5, Rep6, Rep7, Rep8, Rep9, Rep10, Rep11 et Rep12
Site	Aléatoire	2	Houéto et Attotinga

**Rep1 : Répétition 1 ; Rep2 : Répétition 2 ; Rep3 : Répétition 3 ; Rep4 : Répétition 4 ; Rep5 : Répétition 5 ; Rep6 : Répétition 6 ; Rep7 : Répétition 7 ; Rep8 : Répétition 8 ; Rep9 : Répétition 9 ; Rep10 : Répétition 10 ; Rep11 : Répétition 11 ; Rep12 : Répétition 12.**

### **Évaluation financière des systèmes cultureux**

L'analyse financière a pris en compte les différents traitements. Le revenu net se présentait comme suit :  $RN = (MB - CTP)$  (6), où : RN = Revenu net (FCFA/ha) ; MB = Marge Brute (FCFA/ha) ; CTP = Coût Total de Production (FCFA/ha). Pour les différents traitements, il a été pris en compte la valeur économique du maïs dosant 15% d'humidité avec les prix moyens annuels au marché de Glazoué au centre du Bénin. Les coûts de production étaient répartis comme suit : coût du foncier (location de la terre), coût des intrants (semences de maïs, engrais minéraux), coût de la main d'œuvre (coûts de la coupe, du transport et paillage des matériaux végétaux, coûts des activités champêtres). Le retour sur investissement (RI %) a été estimé suivant la formule :  $RI = 100 \times (RN/CTP)$  (7). La productivité de la main d'œuvre (PMO) a été déterminée en FCFA/Homme-jour en utilisant la formule suivante :  $PMO = RN/MOT$  (8), où : MOT représentait la main d'œuvre totale requise exprimée en Homme-jour/hectare.

## **RÉSULTATS**

### **Cinétique de minéralisation des différents mulch**

Les taux de décomposition des matières organiques n'étaient pas significativement ( $p > 0,05$ ) différents d'un site à un autre. Dans le tableau 5 ont été indiqués les taux de décomposition de différents substrats végétaux selon les traitements en considérant les deux sites (Attotinga et Houéto) confondus. Au bout de 45 j, les taux de décomposition les plus élevés étaient affichés par les mulch CH et CH90. Les taux de décomposition les plus bas étaient observés sur les traitements (IM et IM90). Les traitements CA et CA90 constituaient un intermédiaire aux autres traitements précités. Les traitements mixtes CA90, IM90 et CH90 ont manifesté des taux de décomposition élevés par rapport aux traitements exclusifs CA, IM et CH. Au bout de 110 j, les taux de décomposition étaient relativement élevés. Concernant, l'effet des différents mulch sur la croissance en hauteur du maïs (tableau 6), les croissances en hauteur des plants de maïs n'étaient pas significativement ( $p > 0,05$ ) différentes d'un site à un autre. Les hauteurs moyennes observées dans tous les traitements étaient significativement ( $p < 0,05$ ) supérieures au témoin. Au sein des traitements mixtes (CA90, IM90 et CH90), des différences significatives ( $p > 0,05$ ) n'étaient pas observées. Par contre entre les traitements mixtes (CA90, IM90 et CH90) et le traitement NPK (N90), les hauteurs moyennes étaient significativement ( $p < 0,05$ ) différentes durant toutes les phases de croissance de la plante. Les traitements mixtes ont mieux favorisé la croissance en hauteur des plants.

**Tableau 5. Taux de décomposition de différents substrats végétaux**

Traitements	45 j après épandage	110 j après épandage
T(Témoin)	-	-
N90 (NPK)	-	-
CA (Cassia)	32d	83dc
CA90 (Cassia+NPK)	38c	86bc
IM (Imperata)	17e	72e
IM90 (Imperata+NPK)	22e	80d
CH (Chromolaena)	44b	88ba
CH90 (Chromolaena+NPK)	55a	92a
PPDS (0,05)	5,543	4,528

Les valeurs moyennes d'une même colonne suivies d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil de 5%.

**Tableau 6. Influence des différents mulch sur la croissance en hauteur du maïs**

Traitements	30 jours	42 jours	54 jours	66 jours	78jours
T(Témoin)	31,9e	57,4e	110,4d	145,0d	146,4e
N90 (NPK)	69,5b	140,3b	214,7b	228,4b	227,1b
CA (Cassia)	54,0c	104,3c	174,4c	200,3c	200,9c
CA90 (Cassia+NPK)	85,1a	170,4a	241,5a	249,7a	250,9c
IM (Imperata)	43,1dc	85,4dc	160,4c	190,0c	190,1d
IM90 (Imperata+NPK)	86,6a	173,3a	243,5a	253,0a	257,8a
CH (Chromolaena)	51,0dc	100,6dc	176,77c	205,4c	208,8c
CH90 (Chromolaena+NPK)	88,2a	172,2a	241,7a	249,2a	252,0a
PPDS (0,05)	9,7	16,4	19,9	16,2	16,0

Les valeurs moyennes d'une même colonne suivies d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil de 5%.

Concernant l'effet des différents mulch sur l'enherbement des parcelles (tableau 7), les taux d'enherbement des parcelles n'étaient pas significativement différents d'un site à un autre. Sur les différentes parcelles, la végétation de la strate inférieure était constituée surtout de poaceae (*Digitaria horizontalis*, *Setaria barbata*, *Imperata cylindrica*, *Sporobolus pyramidalis*, *Rynchelytrum repens*, *Perotisindica*, *Panicum repens*, *Panicum maximum*, *Eragotis tenella*, *Eleusine indica*, *Andropogon tectorum*, *Andropogon gayanus*), d'asteraceae (*Chromolaena odorata*, *Tridax procumbens...*), d'euphorbiaceae (*Mallotus oppositifolius*), de cleomaceae (*Cleome viscosa*), de caesalpiniaceae (*Cassia occidentalis*, *Cassia hirsuta...*). D'une façon générale, les parcelles paillées présentaient des taux d'enherbement faibles par rapport aux parcelles non paillées au bout de trois semaines après épandage (3. S. A. E.). Le taux d'enherbement le plus élevé a été observé sur la parcelle à NPK. Les traitements IM et IM90 ont affiché les taux d'enherbement les plus bas. Au bout de six semaines après épandage (6. S. A. E.), les taux d'enherbement étaient relativement faibles. Concernant l'effet des différents mulch sur l'humidité des sols (tableau 8), les taux d'humidité édaphique n'étaient pas significativement ( $p > 0,05$ ) différents d'un site à un autre. Les parcelles avec paillis montraient les taux d'humidité significativement ( $p < 0,05$ ) élevés en comparaison avec les parcelles sans paillis. Au niveau des traitements mixtes, CH90 montrait le taux d'humidité le plus faible et IM90 le taux d'humidité le plus élevé. Concernant l'effet des différents traitements sur les rendements en grains du maïs (figure 1) une distribution normale des valeurs de rendements moyens en grains du maïs a été observée tant sur le site de Houèto dans la commune d'Abomey-Calavi que sur celui d'Attontinga dans la Commune d'Allada. Les rendements en grains du maïs étaient significativement ( $p < 0,01$ ) faibles à Houèto qu'Attontinga (Figure 2). Les rendements en grains des traitements mixtes étaient significativement ( $p < 0,01$ ) supérieurs aux rendements des traitements exclusifs (Figures 2 et 3). Concernant l'effet site, traitement et interaction site  $\times$  traitement sur le rendement moyen en grains du maïs (tableau 9), l'analyse de variance a montré que les rendements moyens en grains du maïs

étaient significativement différents selon les traitements ( $P = 0,001$ ) et selon les sites ( $P = 0,024$ ). L'interaction site  $\times$  traitement était aussi significative ( $P = 0,000$ ).

**Tableau 7. Influence des différents mulch sur l'enherbement des parcelles**

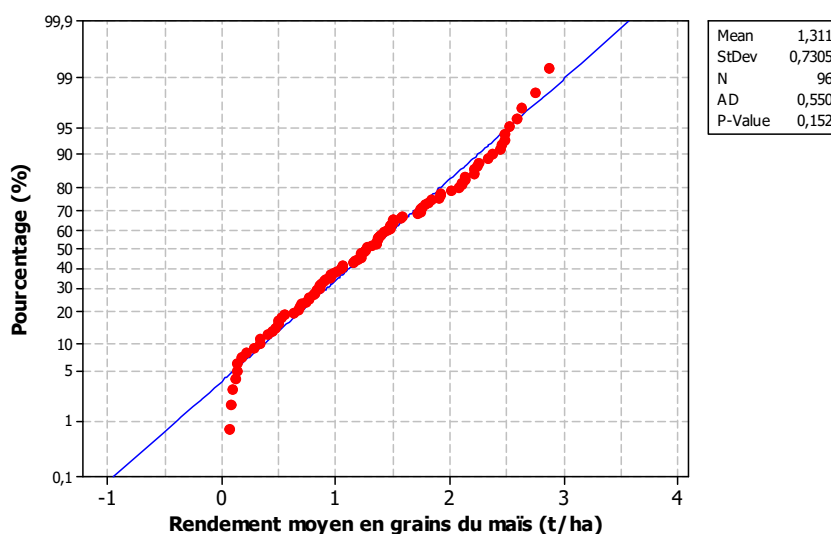
Traitements	3 semaines après épandage	6 semaines après épandage
T(Témoin)	47b	28cb
N90 (NPK)	60a	36bc
CA ( <i>Cassia siamea</i> )	33d	25c
CA90 ( <i>Cassia</i> +NPK)	36dc	26c
IM ( <i>Imperata</i> )	16e	15d
IM90 ( <i>Imperata</i> +NPK)	17e	17d
CH ( <i>Chromolaena</i> )	37dc	30b
CH90 ( <i>Chromolaena</i> +NPK)	40c	28b
PPDS (0,05)	5,08	3,42

Les valeurs moyennes d'une même colonne suivies d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil de 5%.

**Tableau 8. Effet des différents traitements sur l'humidité des sols**

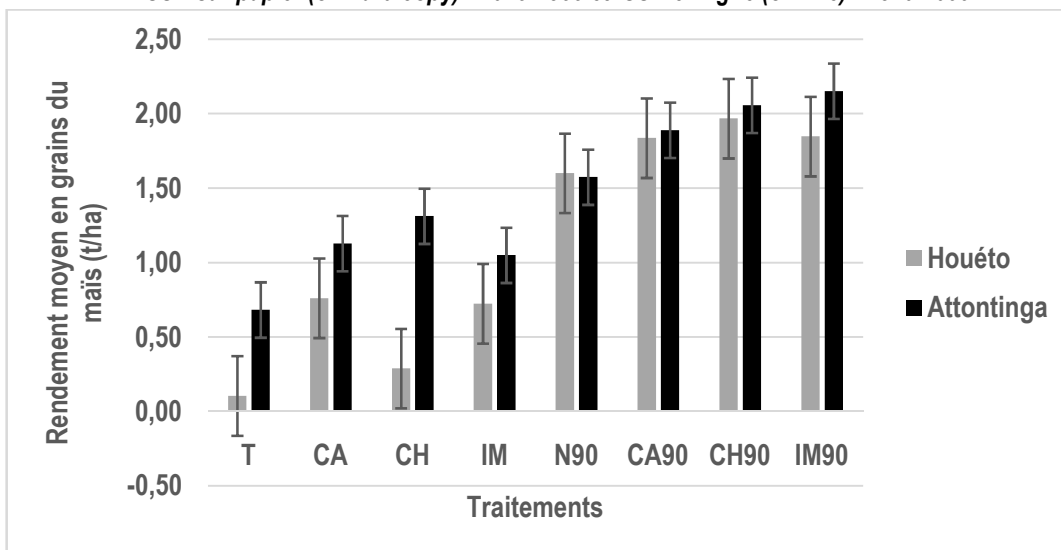
Traitements	8 semaines après épandage
T (Témoin)	3d
N90 (NPK)	3d
CA ( <i>Cassia</i> )	5c
CA90 ( <i>Cassia</i> +NPK)	6b
IM ( <i>Imperata</i> )	8a
IM90 ( <i>Imperata</i> +NPK)	8a
CH ( <i>Chromolaena</i> )	5c
CH90 ( <i>Chromolaena</i> +NPK)	5c
PPDS (0,05)	0,81

Les valeurs moyennes d'une même colonne suivies d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil de 5%.

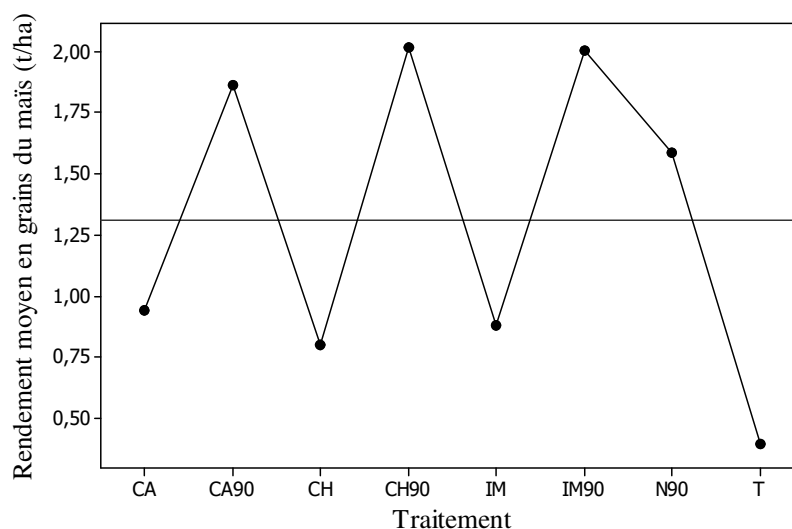


**Figure1. Test de normalité de rendements moyens en grains du maïs sur le site de Houéto dans la commune d'Abomey-Calavi et celui d'Attontinga dans la Commune d'Allada**





**Figure 2.** Effet des différents traitements sur les rendements en grains du maïs selon les sites et les traitements



**Figure 3.** Effet des différents traitements sur les rendements en grains du maïs tous sites confondus

**Tableau 9.** Analyse de variance du rendement moyen en grains du maïs sous l'effet des différents traitements et sites à Houéto dans la Commune d'Abomey-Calavi et Attontinga dans la Commune d'Allada

Source	Paramètres statistiques				
	ddl	SC Aj.	MC Aj.	F	P
Site	1	2,7540	2,7540	8,17	0,024
Répétition	5	9,9076	1,9815	64,92	0,000
Traitement	7	33,3881	4,7697	14,15	0,001
Site × Traitement	7	2,3599	0,3371	11,04	0,000
Erreur	75	2,2893	0,0305		
R <sup>2</sup> ajusté (%)		94,28			

ddl = Degré de liberté ; SC Aj = Somme des carrés ajustés ; MC Aj = Moyenne des carrés ajustés ; F = Test de Fisher ; P = Probabilité du test de Fisher

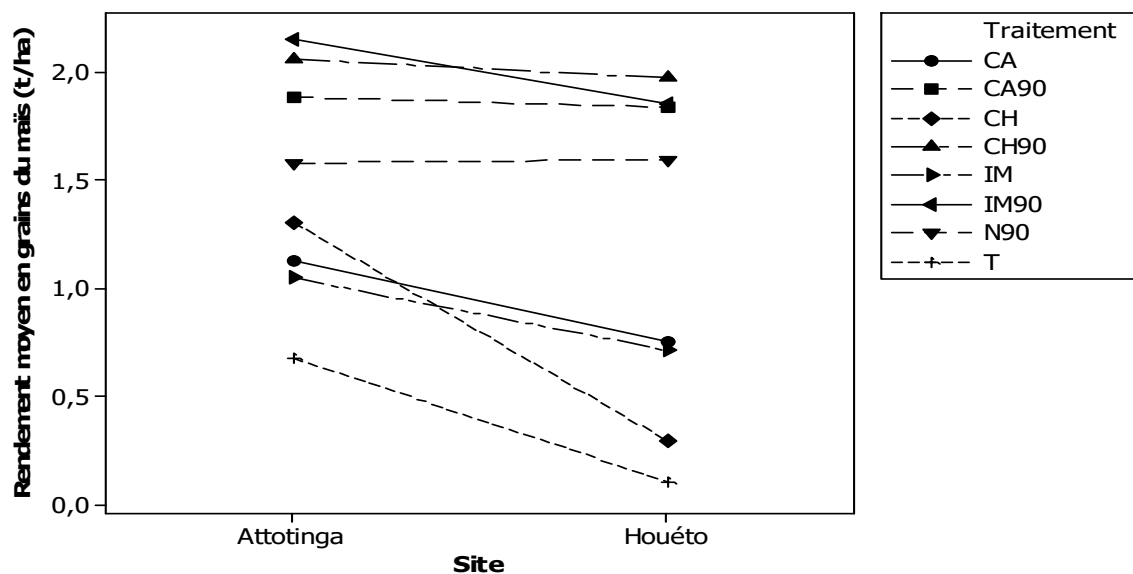


Figure 4. Diagramme de l'interaction site × traitement sur le rendement moyen en grains du maïs

### **Influence des différents traitements sur les caractéristiques des sols et rentabilité financière des systèmes culturaux**

Dans les tableaux 8 et 9 a été illustrée l'influence des différents traitements sur les caractéristiques des sols à Houéto et Attotinga respectivement.

Avant l'installation de la culture, les valeurs moyennes des caractéristiques chimiques initiales des parcelles n'étaient pas significativement différentes les unes des autres. Par contre, les différences de teneurs d'éléments nutritifs du sol étaient observées entre les répétitions. D'une façon générale, les teneurs en éléments nutritifs (N, P et K) des sites étaient faibles. Les teneurs en azote totale (N) des sites de Houéto étaient relativement faibles par rapport aux sites d'Attotinga. Les pH des deux sites étaient moyennement acides. Ceux de Houéto étaient relativement bas.

Après la culture, l'apport de matière organique végétale n'a pas amélioré significativement les teneurs en N, K, Ca et Mg. En revanche, les parcelles présentaient des teneurs en phosphore notablement supérieures aux témoins.

Dans le tableau 10 ont été indiquées la rentabilité financière et la productivité de la main d'œuvre des différents traitements. Les traitements (N90, CA, CA90, IM, IM90, CH et CH90) étaient plus rentables que le témoin. Les traitements mixtes (CA90, IM90 et CH90) étaient plus rentables que les traitements exclusifs d'engrais organiques (CA, IM et CH) et minéraux (N90).

**Tableau 8. Influence des différents traitements sur les caractéristiques des sols à Houéto**

Traitements	pH (eau)	C%	N%	C/N	P (ppm)	K+	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	CEC (méq/100g)	Mg/K	MO%
<b>Avant la culture</b>											
	6,49	0,94	0,04	23,5	6,78	0,20	1,73	0,98	3,87	4,9	1,61
<b>Après la culture</b>											
T	6,34	0,76ba	0,04a	19,00	6,65c	0,16b	2,10a	1,14a	3,39ba	7,12	1,30
N90	6,16	0,73ba	0,04a	18,25	14,74c	0,21b	1,69a	0,74bac	3,90a	3,52	1,25
CA	6,16	0,68ba	0,04a	17,00	9,39c	0,24b	1,49a	0,75bac	3,11a	3,12	1,16
CA90	5,90	0,69ba	0,04a	17,25	17,44a	0,28b	1,38a	0,62c	2,68b	2,21	1,18
IM	6,11	0,67ba	0,04a	16,75	3,94c	0,16b	2,11a	0,95bac	3,11ba	5,93	1,15
IM90	6,15	0,70ba	0,04a	17,50	10,51c	0,20b	1,46a	0,68bc	3,09b	3,4	1,20
CH	6,07	0,77a	0,05a	15,40	12,57c	0,30b	1,75a	1,08ba	3,21ba	3,6	1,32
CH90	5,93	0,57b	0,05a	11,40	22,78a	0,69a	1,47a	0,75bac	3,45ba	1,08	0,98
PPDS (0,05)		0,18	0,009		12,00	0,34	0,85	0,40	0,80		

**Tableau9. Influence des différents traitements sur les caractéristiques des sols à Attotinga**

Traitements	pH (eau)	C%	N%	C/N	P (ppm)	K+	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	CEC (méq/100g)	Mg/K	MO%
<b>Avant la culture</b>											
	6,6	1,16	0,28	14,50	9,18	1,25	4,02	1,50	8,43	1,20	1,99
<b>Après la culture</b>											
T	6,4	1,26ba	0,09a	14,00	7,86d	0,45a	4,66a	1,75a	6,00ba	3,88	2,16
N90	6,3	1,33a	0,10a	13,30	22,86a	0,40a	4,53ba	1,64a	6,31ba	4,1	2,28
CA	6,3	1,38a	0,10a	13,80	10,60c	0,38a	3,98ba	1,61a	5,97ba	5,36	2,37
CA90	6,2	1,36a	0,10a	13,60	15,70c	0,42a	4,32ba	1,58a	6,68a	3,76	2,33
IM	6,2	1,25ba	0,09a	13,88	6,23d	0,50a	3,68b	1,55a	5,85ba	3,10	2,15
IM90	6,3	1,22ba	0,09a	13,55	23,90c	0,54a	3,78ba	1,50a	5,32b	2,77	2,09
CH	6,3	1,15ba	0,09a	12,37	9,45c	0,40a	3,86ba	1,68a	5,76b	4,2	1,97
CH90	6,3	1,28ba	0,10a	12,80	22,28a	0,42a	3,99ba	1,56a	5,75b	3,71	2,20
PPDS (0,05)		0,20	0,015		6,86	0,25	0,96	0,29	0,91		

**Tableau 10. Rentabilité financière et productivité de la main d'œuvre des différents traitements**

Traitements	Rendement économique du maïs (t/ha)	Marge brute (FCFA)	Coût de production (FCFA)			Coût total de production (FCFA)	Revenu net (FCFA)	Retour sur investissement (%)	Main d'œuvre totale (Homme-jour/ha)	Productivité de la main d'œuvre (FCFA/ha)
			Terre	Intrant	Main d'œuvre					
T	0,55	82.235	5.000	3.000	71.500	79.500	2.735	3	52	53
N90	1,83	274.765	5.000	123.000	88.000	216.000	58.765	27	62	948
CA	1,33	199.059	5.000	76.700	89.500	171.200	27.859	16	63	442
CA90	2,17	325.235	5.000	136.700	95.500	237.200	88.035	37	67	1314
IM	1,06	158.824	5.000	33.800	89.500	128.300	30.524	24	63	485
IM90	2,36	354.353	5.000	153.800	95.500	254.300	100.053	39	67	1493
CH	1,27	190.765	5.000	54.300	89.500	148.800	41.965	28	63	666
CH90	2,35	352.588	5.000	174.300	95.500	274.800	77.788	28	67	1161

## **DISCUSSION**

### **Cinétique de minéralisation des différents mulch**

Les taux de décomposition les plus élevés sont affichés sur les traitements mixtes. Cet état de chose peut être lié à l'effet « starter » de la fumure minérale et à l'indice de biodégradabilité (C/N) plus élevé pour IM en comparaison avec CA et CH. L'apport de fertilisants azotés suscite une intense activité des micro-organismes dans le processus de décomposition de la matière végétale et partant, accru la disponibilité des éléments nutritifs pour la plante par la libération progressive dans la solution du sol de l'azote, du phosphore, du soufre et certains oligo-éléments. Au bout de 110 j, les taux de décomposition sont relativement élevés et peuvent s'expliquer par l'activité microbienne couplée aux facteurs climatiques (eau et température).

### **Effet des différents mulch sur les paramètres de croissance et de rendement du maïs**

#### ***Effet des traitements sur les croissances en hauteur des plants***

L'effet des traitements mixtes par rapport au traitement exclusif NPK sur les croissances en hauteur des plants peut résider d'une part, dans la rhizosphère favorable créée par le paillage, laquelle permet une utilisation plus efficace de l'engrais minéral par la plante, d'autre part, dans l'intense activité biologique sur ces parcelles en raison de l'apport de la fumure minérale. Il en résulte la libération des éléments nutritifs par suite du processus de décomposition des substrats végétaux ; lesquels sont mobilisés par les racines pour la nutrition de la plante donc pour sa croissance et son développement.

#### ***Effet des traitements sur l'enherbement des parcelles***

Les parcelles paillées présentent des taux d'enherbement faibles par rapport aux parcelles non paillées au bout de trois S. A. E. Ceci peut s'expliquer par l'apport d'éléments nutritifs directement assimilables par la plante qui peut favoriser la prolifération des adventices sur ces parcelles, augmentant ainsi la concurrence du point de vue hydrique et des éléments nutritifs. Les faibles taux d'enherbement dont les parcelles paillées font montre peuvent être dus à l'épaisseur de la couche initiale de matière végétale (5 t/ha). L'écran naturel formé par le mulch peut avoir influencé les conditions édaphiques et atmosphériques à la surface du sol, causant la suppression de la lumière et un état d'étouffement au détriment des adventices. Les traitements IM et IM90 affichent les taux d'enherbement les plus bas. Ceci peut être lié au taux de décomposition relativement bas de Imperata en raison de son indice de biodégradabilité (C/N) élevé gênant ainsi toute implantation d'adventices, par opposition aux traitements CH et CA à cinétique de minéralisation relativement élevée favorisant l'émergence des adventices.

#### ***Effet des traitements sur les taux d'humidité des sols***

Les parcelles avec paillis montrent les taux d'humidité significativement élevés en comparaison avec les parcelles sans paillis. A cet effet, les travaux de recherche révèlent que le paillage sur les sols tropicaux a pour effet simultané de réduire l'érosion hydrique, de ralentir la minéralisation de l'humus et d'en augmenter les réserves dans le sol. Ce qui peut améliorer la structure du sol et accroître sa porosité ainsi que sa résistance à l'érosion. Dans le même ordre d'idée, Lal (1986) a montré que le paillage favorisait une bonne conservation de la structure du sol. En effet, l'activité biologique du sol est favorisée par un meilleur brassage par la faune tellurique, et la protection du sol contre l'ultra dessiccation.

#### ***Effet des traitements sur les rendements en grains du maïs***

Les rendements en grains du maïs sont relativement plus faibles à Houèto qu'Attontinga (Figure 2). Les rendements en grains des traitements mixtes sont significativement ( $p < 0,01$ ) supérieurs au rendement des traitements exclusifs. Ces résultats confirment les résultats d'études antérieures avec différentes sources de matières organiques (engrais vert, paille, fumure organique...) et montrent clairement que l'application matière organique et engrais minéraux permet d'augmenter le rendement de maïs. Il existe plusieurs résultats de recherche sur la fertilisation organo-minérale concordant avec cette étude. Aïhou et Adomou (1999), ont signalé que l'effet résiduel du niébé et du mucuna rajada fumés au second cycle à 50 kg/ha de TSP plus 166 kg/ha de phosphate naturel du Togo pouvait améliorer au premier cycle de l'année suivante le rendement du maïs de 65 à 70 % par rapport à l'utilisation des résidus du maïs (1,52 t/ha) sur les terres de barre du Plateau d'Allada. Aïhou (1999) a



poursuivi en affirmant que les résidus du niébé produits in situ possédaient des quantités d'azote avoisinant 45 kg/ha d'azote. Selon cet auteur, un mélange organo-minéral constitué de résidus de niébé et 45 kg/ha d'azote sous forme d'urée, permettait d'obtenir le même rendement de maïs qu'avec l'apport de 90 kg/ha d'azote sur les terres de barre. Akakpo *et al.* (2003) ont indiqué que l'enfouissement de 2 à 4 t/ha de biomasse d'arachide, variété TS 32-1, fumée avec 50 kg/ha de TSP au cours de la petite saison pluvieuse permettait aussi d'améliorer le rendement de maïs de 700 à 1500 kg/ha sur les terres de barre dégradées du Plateau d'Abomey. Mewou et Carsky (2001) ont indiqué que le paillis d'une jachère plantée à *Acacia auriculiformis* permettait d'augmenter de près de 100% le rendement du maïs sur les terres de barre. Les travaux de Amadji et Glitho (2005) ont montré que l'apport de 50 kg/ha de potassium et 45 kg/ha d'azote avec l'application de 4 t/ha de matière organique sous forme de paillis, améliorerait la teneur en phosphore et en potassium et favorisait l'économie de l'eau sur les terres de barre dégradées. Amadji et Aholoukpè (2008) ont montré qu'en milieu paysan, le passé cultural de l'exploitation influençait significativement la teneur en K, Ca, Mg et P assimilable, la Capacité d'Échange Cationique (CEC), l'azote total et l'acidité du sol. Mais les teneurs en carbone et en phosphore total n'ont pas été affectées.

Cet état de chose s'appuie sur des bases scientifiques. Le maïs est un bon indicateur de la fertilité des sols. Il montre un bon potentiel de rendement lorsque le sol est pourvu en éléments nutritifs et fait piètre figure lorsque le sol en est pauvre. La plante en fait également une consommation de luxe lorsque les engrais minéraux sont apportés en quantité importante ; ce qui n'est pas approprié du point de vue viabilité économique et impact environnemental. Les études ont rapporté que l'application exclusive des engrais minéraux semble diminuer le stock d'azote suite à une décomposition accélérée de l'humus du sol. Et pour cause, les micro-organismes s'attaquent à l'humus du sol pour leur activité biologique. Ainsi, les éléments minéraux appliqués pour la culture seraient faiblement retenus par le complexe argilo-humique et seraient rapidement lessivés en profondeur. La lixiviation des bases de ces sols peut avoir pour conséquence une augmentation de la concentration des ions  $Al^{3+}$  et  $H^+$  et donc de l'acidité du sol. Les écologistes associent de plus en plus l'emploi accru des fertilisants inorganiques à la pollution de l'environnement. Ainsi, une meilleure valorisation des engrais organiques disponibles notamment les résidus des cultures ou autres sources de matières organiques s'avère nécessaire sur ces sols qui sont pour la plupart à statut organique très fragile. Toutefois, l'application exclusive des engrais organiques pour améliorer la fertilité des sols se traduirait à la longue par l'épuisement du sol en azote à cause de l'effet dépressif qui peut résulter de l'activité microbienne. De plus, la valeur nutritive de la matière organique à C/N élevé (cas de IM) est souvent en dessous des besoins réels de la plante. En effet, l'apport de substance organique lignifiée à C/N élevé se traduit par un coefficient de minéralisation faible donc par la libération d'une quantité fragmentaire d'éléments nutritifs à la disposition de la plante. Les solutions préconisées consistent à apporter la matière organique avant de faire intervenir les engrais chimiques. Ainsi, sont préférés généralement des traitements mixtes/fertilisation organo-minérale (matière organique + engrais minéraux) qui donnent des rendements plus élevés que les traitements exclusifs d'engrais minéraux ou de matière organique. Ce qui peut favoriser non seulement le maintien et la restauration de la fertilité des sols, mais aussi peut réduire la quantité d'engrais chimique lessivée. D'où la nécessité d'accroître la réponse de la culture à l'application de cet intrant par une meilleure gestion de la matière organique et des façons culturales appropriées.

### **Influence des différents traitements sur les caractéristiques des sols**

Avant l'installation de la culture, les valeurs moyennes des caractéristiques chimiques initiales des parcelles ne sont pas significativement différentes les unes des autres. D'une façon générale, les teneurs en azote total (N) des sites de Houèto et Attotinga sont faibles. Les sites de Houèto montrent des teneurs relativement faibles par rapport aux sites d'Attotinga. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'azote constitue presque toujours l'un des éléments nutritifs déficients des sols cultivés à statut organique fragile et particulièrement les sols ferrallitiques et ferrugineux. Les études ont rapporté que la déficience en azote de ces sols résidait dans le fait que l'azote a été le seul élément nutritif majeur à ne pas préexister dans la roche mère (Yekini, 1991). Aussi, le transfert de l'azote atmosphérique vers le sol par processus biologique est-il lent. Outre ces observations, les pertes d'azote dans le sol sont fréquentes à cause du caractère très volatil et la grande solubilité de cet élément. Les sites de Houèto montraient une Capacité d'Échange Cationique faible ( $CEC < 5$  méq). Cet état de chose peut être dû aux teneurs en matière organique (MO) relativement faibles de ces sites à horizon supérieur sableux. Partant, les éléments nutritifs sont faiblement retenus par le Complexe Argilo-Humique (CAH) et rapidement lessivés par suite des précipitations. Cette situation stigmatise les faibles teneurs en  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  des parcelles de Houèto. Par contre à Attotinga, la CAH est relativement élevée (CAH =

8,43 méq/100 g). Le risque de pertes par lessivage est relativement moindre, et partant induit des teneurs en bases échangeables ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$ ) relativement élevées. Les résultats du rapport Mg/K appuient les précédentes analyses et montrent un état de déséquilibre en magnésium et en potassium de ces sols. Les pH des deux sites sont moyennement acides. Ceux de Houèto sont relativement bas. Ceci démontre que le lessivage des bases de ces sols peut avoir pour conséquence une augmentation de la concentration des ions  $Al^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$  et  $H^+$  causant l'acidité du sol. Néanmoins, l'aluminium tend à s'accumuler dans les racines du maïs empêchant l'absorption et le transport du calcium et du phosphore vers l'intérieur de la plante. Les teneurs en aluminium des différentes parcelles ne sont pas déterminées. Ces observations polarisent les faibles performances présentées par les plants des parcelles témoin sur les deux sites et seraient liées non seulement à l'état de déficience en éléments nutritifs de ces sols mais aussi à la toxicité en aluminium. Globalement, les sites d'Attontinga présentent un état de fertilité initiale plus élevé que les sites de Houèto. Ceci confirme les travaux antérieurs de Gaiser (1990). Ces différentes observations sont en accord avec les rendements en grains. Il en est de même pour les rendements en pailles, rafles et en biomasse totale des parcelles témoin (résultats non présentés).

### **Profitabilité des différents systèmes culturaux**

Les traitements mixtes combinant les matières organiques et les engrais minéraux (CA90, IM90 et CH90) sont plus rentables que les autres traitements. Ces résultats confirment les travaux de Issiaka (2002) qui a montré que l'apport de la biomasse de *Acacia auriculiformis* et du *Cassia siamea* combiné avec l'application de l'engrais NPK sont financièrement et économiquement rentable pour la culture du maïs. Ces résultats confirment également les travaux antérieurs de Bamire et Manyong (2003) et Olarindé (2006) qui ont révélé la profitabilité des systèmes d'intensification intégrant les légumineuses.

### **Contraintes et perspectives liées à la conduite de la technologie**

Les principales contraintes évoquées par les producteurs testeurs sont les charges de travail liées à la coupe des matériaux végétaux dans les jachères naturelles, le transport et le paillage aux champs. Sur la base de ces contraintes, le Programme Spécial de Recherche SFB 308 a développé avec les producteurs du plateau d'Allada, le système de haies de bordure à base de *Senna siamea* autour des champs des producteurs qui a été vulgarisé afin de rendre disponible sur place la biomasse fertilisante (Bernard *et al.*, 1998b). Le système de bordure offrait plusieurs autres avantages évoqués par les producteurs du sud et du centre Bénin (Bernard *et al.*, 1998b) dont notamment la sécurisation foncière entre mitoyens par le marquage végétalisé des zones de démarcation des champs, le contrôle de l'érosion hydrique et éolienne (effet brise vent contre la verse du maïs suite aux vents violents qui précédaient les fortes précipitations), le contrôle de l'intrusion des bêtes dans les champs de culture dans les zones où la divagation des animaux se posait avec acuité. Toutefois, une contrainte majeure évoquée par les producteurs a été la charge de la main d'œuvre liée à l'émondage des haies de bordure. D'ores et déjà, l'adaptation apportée par certains producteurs dans le temps et dans l'espace au sud et au centre Bénin a consisté à laisser en jachère les haies de bordure. Ce qui permet ainsi de réduire sensiblement la charge de travail liée à l'émondage, de séquestrer du carbone et de pratiquer dans une dynamique d'assolement rotation à l'intérieur des haies de bordures des systèmes de cultures alternatives intégrant les légumineuses herbacées et/ou autres sources de matières organiques (fumier bovin par exemple) qui nécessitent moins de main d'œuvre.

### **CONCLUSION**

L'essai de paillage est entrepris pour mettre au point des systèmes de mise en valeur et de conservation du sol plus appropriés à une production agricole continue et stable. Les résultats révèlent que les rendements moyens en grains du maïs sont significativement différents selon les traitements et selon les sites. L'interaction site  $\times$  traitement est aussi significative pour le rendement en grains du maïs. L'application de matière organique végétale et engrais minéraux permet d'augmenter le rendement du maïs, d'améliorer particulièrement les teneurs en phosphore des sols et la productivité des ferrasols dégradés. Sur la base des contraintes relatives à la charge de travail liée à la coupe et au transport du matériel végétal, il doit être souhaitable au vu de l'expérience du Programme Spécial de Recherche SFB 308 d'établir en champs paysans entre mitoyens, les systèmes de haies de bordure à base de *Senna siamea* et/ou autres essences agroforestières. Et ce, dans une dynamique de rotation avec les légumineuses herbacées ou autres sources de matière organique afin de rendre disponible sur place la matière organique fertilisante, de limiter l'intrusion des animaux en divagation dans les champs de culture, de restaurer et de maintenir la fertilité des sols.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient sincèrement tous les producteurs du Sud-Bénin qui ont participé à la réalisation de l'étude. Ils adressent leurs sincères remerciements aux contributions des fonds compétitifs de l'Institut National des Recherches Agricoles et à l'Université de Hohenheim (UNIHO) en Allemagne qui a appuyé financièrement l'étude dans le cadre du Programme Spécial de Recherche SFB 308.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adégbola, P., Vlaar, J., 1998 :Expériences des cultures en couloirs et de l'agroforesterie au Sud-Bénin. Compte rendu d'atelier tenu à Cotonou les 02 et 03 février 1998, INRAB, Cotonou, Bénin, 10 p.
- Adegbola, Y. P., A. K. A. Djinadou, N. R. Ahoyo Adjovi, C. M. Allagbe, M. H. Gotoechan, A. Adjanooun, G. A. Mensah, 2013 : Synthèse bibliographique des travaux de recherche effectués sur la filière maïs de 2000 à 2012 au Bénin. Document Technique et d'Information, CNS-Maïs, INRAB, PPAO/WAAPP, ProCAD & MAEP/Bénin. Dépôt légal N° 6947 du 04 novembre 2013, 4<sup>ème</sup> trimestre 2013, ISBN : 978-99919-1-612-5, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin. 117 p. En ligne (on line) sur <http://www.slire.net>.
- Agossou, V., Mouïnou, I., 2002 : Caractérisation des sols des sites de recherche développement du CRA-Centre : classification dans la base de référence mondiale et actualisation de leur niveau de dégradation. Atelier scientifique Centre (1<sup>ère</sup> édition) 18 au 19 Déc.2002 au CRA- Centre, Bénin, 18 p.
- Aihou, K., 1999 : Gestion équilibrée des éléments nutritifs dans les systèmes de culture à base de maïs. Rapport Annuel BNMS, 40 p.
- Aihou, K., Adomou, M., 1999 : Le maïs en rotation avec le niébé et le mucuna rajada. Rapport annuel INRAB, 70 p.
- Akakpo, C., F. Amadji, S. Sacca, I. Adje, 1998 : Essai comparatif de dispositifs agroforestiers pour les systèmes culturaux à base de maïs et d'igname in Expérience des cultures en couloirs et de l'agroforesterie au sud du Bénin, Comm. INRAB, 2-3 fev. 1998, Cotonou, Bénin, 15 p.
- Akobundu, I.O., Agyakwa, C.W., 1989 : Guide des adventices d'Afrique de l'Ouest. IITA, Ibadan, Nigeria, 521 p.
- Akakpo, C., M. Allagbé, M. Adomou, 2003 : Essai rotation maïs-arachide sur terre de barre dégradée à Adingnigon. Actes 4 de l'Atelier Scientifique Sud et Centre décembre 2003 à Niaouli, pp 167-168.
- Amadji, G.L., Aloukpè, H.N.S., 2008 : Impact du niébé (*Vigna unguiculata*) et de la fumure minérale sur les propriétés chimiques de la terre de barre du Bénin. *Etude et Gestion des sols*, **15** (3) : 147-159. ISSN : 1252 – 5851- CPPAP : 0612 G82389, France.
- Amadji, G.L., Glitho, M., 2005: Diagnostic des carences minérales d'une terre de barre du sud Bénin sous le niébé (*Vigna unguiculata*). *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin* (7) 1 : 69-89. ISSN 1659-5009.
- Azontondé, H.A., A.M. Igué, P. Akondé, 2009 : Rapport de mission sur le prélèvement des échantillons des stocks d'engrais NPK (16-16-16) et des sols au niveau des champs des producteurs pour le contrôle de sa qualité dans les départements de l'Atacora, de la Donga et du Borgou. PUASA/MAEP, 10 p. Cotonou, Bénin.
- Azontondé, H.A., A.M. Igué, G. Dagbénonbakin, 2010 : Carte de fertilité des sols du Bénin par zone agro-écologique du Bénin. Document validé à l'INFOSEC Cotonou le 10 août 2010. Rapport final, LSSEE/CRA-Agonkanmey/INRAB/Bénin, 128 p.
- Bamire, A.S., Manyong, V.M., 2003: Profitability of intensification technologies among smallholder maize farmers in the forest-savanna transition zone of Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 100(2-3): 111-118
- Bernard, M., E. Padonou, R. Maliki, 1998a : La restauration de la fertilité des sols par deux systems agroforestiers au SudBénin in soil fertility management in west Africa land use systems G. Renard, A. Neef, K. Becker and M. Von oppen (Editors); Niamey Niger, 4-8 March 1997, Margraf Verlag, pp. 287-291.
- Bernard, M., R. Maliki, E. Padonou, 1998b : Système clôture: Production d'engrais verts et de bois de feu dans des haies de *Senna siamea* établies autour des champs paysans et impact sur la production de maïs sur terre de barre. Comm. INRAB, 2-3 fev. 1998, Cotonou, Bénin, 10 p.
- Boko, K.A., Kpagbin, A.G., 1997 : Bilan des éléments nutritifs dans les systèmes de production au Nord-Bénin: cas de Banikoara. INRAB/CENAP, Cotonou.
- Bray, R.H., 1954: A nutrient mobility concept of soil-plant relationships. *Soil Science*, vol. 78, no. 1, pp. 9-22.
- DPP/MAEP, 2008: Statistiques Agricoles 2008. Base de données. MAEP.
- Dugué, P., Floquet, A., 2000 : Projet d'amélioration et de diversification des systèmes d'exploitation dans les Départements du Zou, des Collines, du Borgou et de l'Alibori PADSE, 132p, Bénin.
- FAO, 1970 : A Standard Guide to Soil Fertility Investigations in Farmers' Fields. Soils Bulletin no. 11, FAO, Rome, Italy.
- FAO, 1977: Soil and Plant Testing and Analysis, Soils Bulletin no. 38/1, FAO, Rome, Italy.

FAO, 2011 : Statistiques FAO, [www.fao.org](http://www.fao.org).

Floquet, A., 1998 : Évaluation socio-économique en collaboration avec des paysans du Bas Bénin d'une gamme de technologie visant à stabiliser le niveau de productivité des sols. In : Renard G., Neef A., Becker K. et von Oppen M. (Eds.) : Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest. pp 525-530. Proceed. Reg. Workshop, Univ. Hohenheim, ICRISAT and INRAN, Niamey, Niger, 4-8 march 1997. Margraf Verlag

Gaiser, T., 1990: Improvement of water and nutrient supply and conservation of soil fertility, organic matter variability trail. Progress Report SFB 308, 1988-1990, pp. 209-217.

Gaiser, T., M. Judex, A.M. Igué, H. Paeth, C. Hiepe, 2011: Future productivity of fallow systems in Sub-Saharan Africa: Is the effect of demographic pressure and fallow reduction more significant than climate change? *Agricultural and Forest Meteorology* 151: 1120–1130. [www.elsevier.com/locate/agrformet](http://www.elsevier.com/locate/agrformet).

Houndekon, V.A., Gogan, A.C., 1996 : Adoption d'une technologie nouvelle de gestion des ressources naturelles: cas du mucuna dans le Sud-Bénin. RAMR, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), Cotonou, 65 p.

Igué, A.M., A. Saidou, A. Adjanohoun, G. Ezui, P. Attiogbe, G. Kpagbin, H. Gotoechan-Hodonou, S. Youl, T. Pare, I. Balogoun, J. Ouedraogo, E. Dossa, A. Mando, J. M. Sogbedji, 2013 : Évaluation de la fertilité des sols au sud et centre du Bénin. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) sur le site web <http://www.slire.net> Numéros spécial Fertilité du maïs – pp 12 à 23. ISSN sur papier (on hard copy): 1025-2355 et ISSN en ligne (on line): 1840-7099.

Issiaka, K., 2002: Innovations in agricultural technology : assessment of constraints and performance in Benin. Verlag Grauer, Beuren, Stuttgart. 240 p.

Lal, R., 1986: Soil in the topics for intensive land use and high and sustained Production. Springer-Verlag New-york, Vol 5, 94 p.

Maliki, R., 1993 : Effets combinés de NPK et tris différents mulch d'origine végétale (*Cassia siamea*, *Chromolaena odorata*, *Imperata cylindrica*) sur la production maïsicole et la fertilité des ferralsols au Sud-Bénin. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Université d'Abomey-Calavi, 117 p.

Maliki, R., V. Deffo, S. Hounzangbé-Adoté, M. Ould Ferrouck, 1999 : Options d'intensification durable des cultures vivrières au sud du Togo, Série de document de travail N° 83 Togo 1999; ICRA, Centre Agropolis Montpellier, 132 p.

Mewou, J.M., Carsky, R., 2001 : Gestion de la fertilité des sols par intégration des engrais minéraux au pailis d'*Acacia auriculiformis*. Actes 2 de l'atelier scientifique Sud-Centre, pp 172-179.

Olarindé, L.O., 2006: Performance Assessment of Land Enhancing Technologies: An Economic Analysis For Food Crop Farmers in Southwestern Nigeria in Asch, F. and Becker, M. (eds): Prosperity and Poverty in a Globalised World Challenges for Agricultural Research. Tropentag, University of Bonn, Germany. October 11-13, 2006

PSRSA (Plan Stratégique de Relance du Secteur Agricole), 2011 : Plan Stratégique de Relance du Secteur Agricole. Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche, Cotonou, Bénin, 135 p.

Scarf, H., 1998: One hundred years of the Kjeldahl method for nitrogen determination. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, vol. 32, pp. 321–332.

Sohinto, D., Aina, M.S., 2010 : Analyse économique et financière de cinq chaînes de valeurs ajoutées (CVA) de la filière maïs au Bénin. Rapport provisoire d'étude, 76 p.

Soulé, G.B., B. Yerima, A. Soglo, E. Videgla, 2008 : Rapport diagnostic du secteur agricole du Bénin : synthèse réalisée dans le cadre de la formulation du PNIA, ECOWAP/PDDAA. 124 p.

Walkley, A., Black, I.A., 1934 : An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, vol. 37, no. 1, pp. 29–38.

Yekini, B., 1991 : Rapport fertilité et fertilisation FSA-UNB, Cotonou, 10 p.