

Essences végétales et techniques de restauration des zones d'érosion (dongas) du Parc W et de sa périphérie à Karimama (Nord-Bénin)

Julien AVAKOUDJO¹, Valentin KINDOMIHOU^{1,*}, Pierre I. AKPONIKPE², Adjima THIOMBIANO³, Brice SINSIN¹

¹Laboratoire d'Ecologie Appliquée, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Bénin.

²Unité de Physique du Sol et d'Hydraulique Environnementale, Université de Parakou, Bénin.

³Laboratoire de Biologie et Écologie Végétales, Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre, Université de Ouagadougou, 09 BP 848 Ouagadougou, Burkina Faso.

*Auteur correspondant, E-mail : vkindomihou@yahoo.fr; Tél:(+229) 95 02 30 58

Original submitted in on 13th June 2013 Published online at www.m.elewa.org on 30th September 2013.

RESUME

Objectif : Cette étude examine les meilleures espèces végétales et les techniques d'aménagement et de conservation des eaux et sols (CES) utilisables pour élaborer les meilleures stratégies de réhabilitation des écosystèmes soudano-sahéliens dégradés au Nord-Bénin.

Méthodologie et résultats : Pendant 105 jours, un essai multifactoriel a été exécuté suivant un dispositif Split plot à trois facteurs en trois répétitions: 5 espèces (*Khaya senegalensis* (Caïlcédra), *Jatropha curcas* (Pourghère), *Moringa oleifera* (Pois quenique), *Parkia biglobosa* (Néré), *Balanites aegyptiaca* (Dattier du désert)) choisies suivant leur valeur économique et socioculturelle, cultivées sous trois traitements définis par deux techniques CES (le Zaï, la demi-lune) et leur témoin dans les dongas et sur les versants. Après quatorze semaines, les taux de survie sont plus élevés sur le versant (88,9% versus 74,8 %) avec la plus forte chez *Jatropha curcas*. Ce taux est le plus élevé chez *Balanites aegyptiaca* dans le donga (88,9%) et plus faible sur versant (68,5%). La vitesse de croissance en diamètre, plus faible chez *Parkia biglobosa* est plus élevée chez *Jatropha curcas* (0,34 versus 1,62 mm/semaine). La vitesse de croissance en hauteur varie entre 1,69 et 4,51 mm.sem.⁻¹ avec la valeur la plus élevée chez *Balanites aegyptiaca* (4,51 mm.sem.⁻¹).

Conclusions et applications : *Jatropha curcas* et *Balanites aegyptiaca* croissent plus vite en diamètre et en hauteur au stade juvénile dans les demi-lunes et le Zaï aussi bien sur dongas que sur versants. Parmi les techniques d'aménagement et de conservation des eaux et sols testées, seul le zaï est facilement réalisable au niveau paysan. Ces plantes bioénergétique et fruitière sauvage déjà domestiquées pour leurs contributions substantielles au revenu et au bien être socioculturel des paysans, conviendraient dans une large mesure à l'élaboration de stratégies durables de restauration des zones soudano-sahéliennes dégradées. Toutefois, des données de saison sèche aideront à conclure définitivement sur le long terme.

Mots clés: Espèces ligneuses, Erosion, Donga, Zaï, Demi-lune, Parc National du W

Plant species utilization and technical restoration of erosion areas (dongas) in the W Park and its periphery in Karimama (North Benin)

ABSTRACT

Objective: This study examines the best plant species and soil and water conservation management techniques for restoring degraded ecosystems in northern Benin.

Methodology and Results: A multifactorial experiment using a Split Plot design with 3 factors was conducted in Karimama during 105 days: 5 species (*Khaya senegalensis* (African mahogany), *Jatropha curcas* (Purging nut), *Moringa oleifera* (drumstick tree), *Parkia biglobosa* (stink bean), *Balanites aegyptiaca* (desert date) selected following their economic and socio cultural values. These were cultivated under 3 techniques (Zai, half moon and control) on 2 sites (donga and versant). Parameters such as mortality, diameter and height were recorded during fourteen weeks to evaluate the plant growth. Survival rates were high on the slopes (77.4 % versus 74.8 %). *Balanites aegyptiaca* showed the highest value (88.9%) on the slumpfaction and the lowest (68.5%) on the slopes where *Jatropha curcas* expressed the highest value (88.9%). The growth in diameter was the lowest with *Parkia biglobosa* and the highest with *Jatropha curcas* (0.34 versus 1.62 mm week⁻¹). The growth in the height ranged from 1.69 to 4.51 mm week⁻¹, and was the highest with *Balanites aegyptiaca* (4.51 mm week⁻¹).

Conclusions and applications: *Jatropha curcas* and *Balanites aegyptiaca* grew more quickly in diameter and height at the juvenile stage in the half-moons and the Zai as well on the dongas on slope. Among the techniques of water and soil management and conservation tested, only the zai is easily used at farmer level. These bioenergy and wild fruit plants already domesticated for their substantial contributions to farmers' income and sociocultural well being would be adequate in a large extent to the development of sustainable strategies for restoration of degraded Sudano-Sahelian areas. However, data from dry season will help to conclude definitively in the long term.

Key words: woody species, erosion, slumpfaction, zai, half-moon, W National Park

INTRODUCTION

La Commune de Karimama au Nord-Ouest du Bénin, est marquée par le phénomène de perte massive des terres appelé « Donga » (Toko et Sinsin, 2008, Avakoudjo, 2008). Ce phénomène frappe tant le Parc National du W que les terroirs riverains. Il s'agit de l'érosion hydrique en nappe liée

au splash et au ruissellement, de l'érosion en filets due au ruissellement dans les rigoles et de l'érosion par ravinement. Les dongas représentent de vastes zones érodées de formes diverses mais souvent circulaires de plusieurs dizaines de mètres de diamètre et de profondeur (Photo 1).



Photo 1: Aperçu d'un donga dans le Parc du W. (Overview of a donga in W National Parc)

Il est établi que l'érosion des sols a des impacts environnementaux au-delà de l'appauvrissement du capital sol (Fox et al., 2006). De plus, les dongas sont des biotopes très sélectifs, peu favorables à la diversité floristique en raison de la dégradation du sol par l'érosion (Toko et Sinsin, 2008). A Karimama, la grande majorité des producteurs (90%) sont confrontés aux dommages sur les productions agricoles dus essentiellement à l'érosion dans leurs champs (Avakoudjo, 2008; Avakoudjo et al., 2011). Les tentatives de lutte antiérosive engagées intégrant les efforts et stratégies de mise en valeur des dongas sont jusque-là restées sans grand succès (Avakoudjo, 2008). La dégradation du sol s'accroît de plus en plus dans cette région et appelle des dispositions spécifiques pour leur restauration. La gestion de l'érosion à partir des techniques de conservation des eaux et des sols est peu documentée dans la sous région. En effet, Zougmore et al., (2004) ont évalué les effets isolés ou interactifs des pratiques de conservation de l'eau telles que les cordons pierreux, les bandes enherbées d'*Andropogon gayanus*, les cuvettes de zaï et de demi-lunes combinées ou non à une source organominérale azotée sur la production du sorgho [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], ainsi que le contrôle du ruissellement et la réhabilitation des sols au Burkina Faso. Les bandes enherbées comprennent trois lignes régulières de plants d'*Andropogon*, peu denses durant les premières années d'établissement. La reprise et le développement de la biomasse ne deviennent effectifs qu'un mois après le début de la saison pluvieuse. Les cuvettes du Zaï sont manuellement ou mécaniquement creusées en saison sèche au moment des grandes chaleurs sur 10 à 15 cm de profondeur et 20 à 40 cm de diamètre. La terre excavée est mise en croissant en aval de manière à retenir l'eau de ruissellement. Aux sables, limons et matières organiques piégés sous l'harmattan, est apportée une poignée de fumier (≈ 250 g). L'ensemble, légèrement saupoudré de terre fine reçoit le semis après les premières pluies. Les

demi-lunes sont des cuvettes de 4 m de diamètre, séparées les unes des autres sur la même courbe de niveau de 2 m et de 4 m entre deux lignes consécutives, soit 417 demi-lunes par hectare. Environ 6,3 m² sont cultivés dans chaque demi-lune. Traditionnellement, une charretée de compost ou de fumier à 30 % d'humidité en moyenne est apportée par demi-lune, soit 10,2 t à l'hectare. Ces techniques de conservation de l'eau et du sol permettent une importante réduction du ruissellement, et augmentent par conséquent l'infiltration de l'eau dans le sol. Le paysage agraire de la région de Dem au Burkina Faso a été partiellement aménagé grâce à diverses techniques notamment : les cordons pierreux, cordons d'*Andropogon gayanus*, paillage et zaï (Dapola da, 2008). Parmi les groupes socio-culturels agriculteurs de Karimama au Benin se trouvent les Dendi et/ou Djerma et les Gourmantchés (Avakoudjo et al., 2011). Ces Gourmantchés expérimentés sont originaires de la population Burkinabé, jadis mobilisée deux décennies durant, dans des travaux de conservation des eaux et des sols ainsi que l'agroforesterie, seules, ou sous l'appui technique et financier de l'État, des projets et des ONG (Dapola da, 2008). La présente étude qui s'inscrit dans le cadre de la réhabilitation des écosystèmes dégradés du Parc National du W et de ses terroirs riverains au Benin, recherche les essences locales de haute valeur à partir de leur importance socio-économique et culturelle dans la Commune de Karimama. Elle évalue l'effet de certaines techniques de conservation des eaux et des sols (zaï, et demi-lune) dans la récupération des sols dénudés des dongas. En définitive, (1) quelles essences locales réhabilitent au mieux les écosystèmes dégradés et lesquelles s'établissent bien dans les dongas ? (2) quelles espèces végétales manifestent la meilleure vitesse de croissance au stade juvénile ? (3) quel type d'aménagement conviendrait-il pour la restauration des sols des dongas ?

MATERIEL ET METHODES

Milieu d'étude : L'étude a été menée dans la Commune de Karimama, dans le Département de l'Alibori au Bénin (11°26' - 12°25' latitudes Nord ; 2°48' - 3°05' de longitudes Est). Elle est limitée au Nord par le fleuve Niger, au Sud-ouest par la Commune de Banikoara, au Sud-est par la Commune de Kandi, à l'Est par la Commune de Malanville et à l'Ouest par le Burkina-Faso (Figure 1). Elle couvre 6.102 km² dont 92,3 % occupée par le Parc National du W. Elle est située dans la zone

soudanienne sèche à deux saisons contrastées : une saison pluvieuse de mai à septembre et une saison sèche d'octobre à avril. La moyenne annuelle des précipitations est de 900 mm. Les températures subissent des variations importantes avec une moyenne annuelle de 28°C. Le relief est une vaste pénéplaine granito-gneissique dominée par quelques collines (Viennot, 1978). Le substratum géologique du secteur est composé de quartzites, roches basiques, micaschistes, schistes,

granites, gneiss, grès (Szaniawsky, 1982). Les sols sont minéraux bruts, peu évolués, ferrugineux tropicaux et minéraux à Gley. Le réseau hydrographique regroupe la Mékrou (410 km) et l'Alibori (338 km). À ces grandes rivières, s'ajoutent de petites, raccordées en maints

endroits de leur cours. Les formations végétales rencontrées correspondent essentiellement aux savanes arborées arbustives, aux îlots de forêts ripicoles et aux forêts denses sèches (Adomou, 2005).

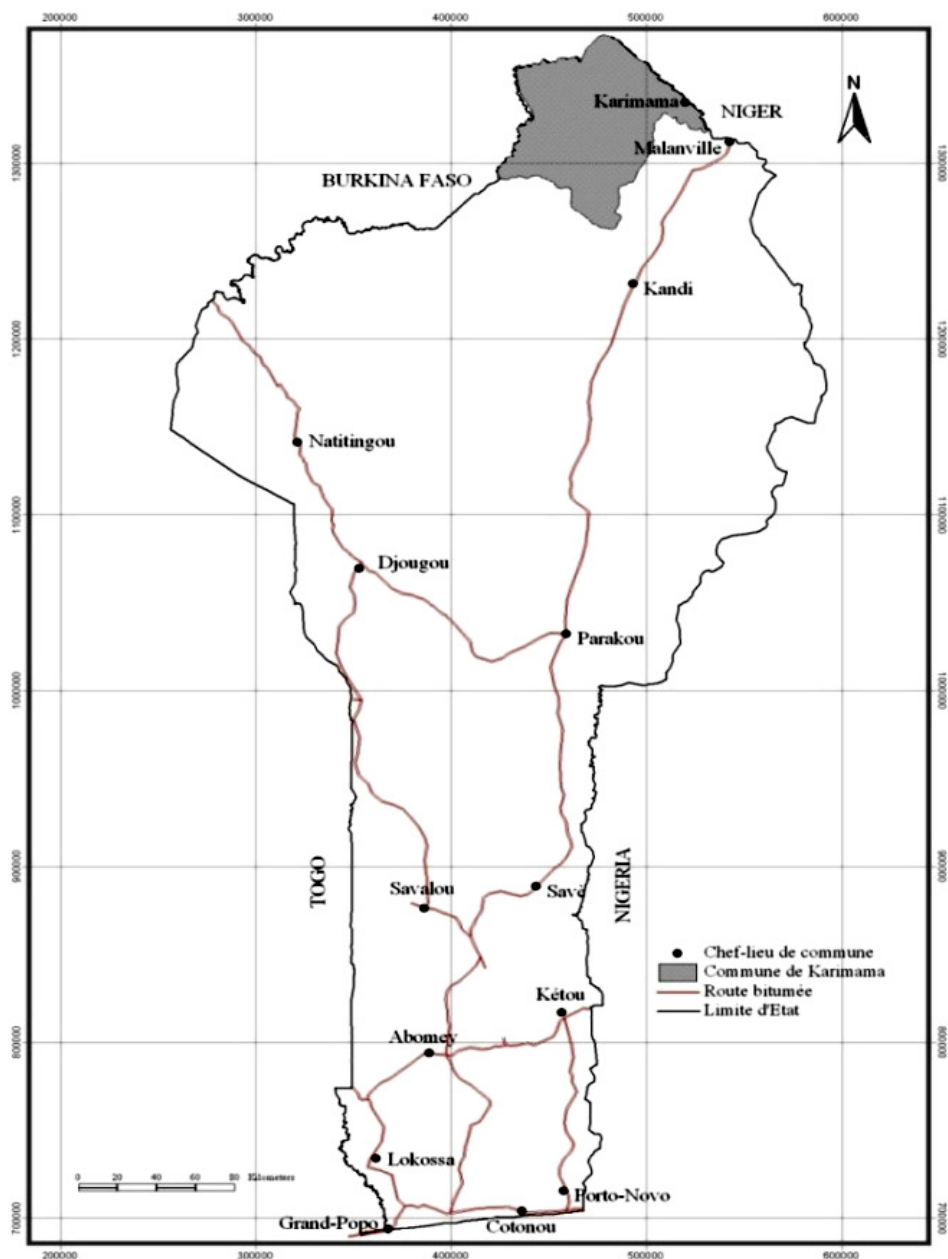


Figure 1: Carte du Bénin avec la localisation de la zone d'étude : Commune de Karimama (Map of Benin Republic showing the study area of Karimama district)

Dispositif expérimental : Une expérimentation a été réalisée suivant le dispositif de Blocs Aléatoires Complets avec parcelles divisées (split-plot RCB) (figure 2) à deux

facteurs et trois répétitions sur deux sites (niveau split). Le premier facteur est représenté par l'aménagement pour la conservation des eaux et des sols ($n = 3$ types) :

zaï forestier, demi-lune et un témoin (terrain naturel). Le zaï réalisé à la houe consiste en une cuvette cylindrique de 15 cm de rayon et de 30 cm de profondeur (Ouedraogo et al., 2007; Sawadogo et al., 2008). La demi-lune consiste en une excavation en demi-cercle à 25 cm de rayon et 30 cm de profondeur. En aval du demi-cercle est posée une diguette. L'écartement entre demi-lune est de 5 m. Elle est réalisée à la houe et au coupe-coupe. Les lignes sont perpendiculaires à la pente du versant. Le sable extrait des trous est disposé en bourrelet en aval pour servir de barrière aux eaux de ruissellement et éléments nutritifs constitutifs. Cette technique aide à recueillir l'eau avec ses nutriments et les mettre à la disposition des plantes. Le second facteur est représenté par les essences forestières (n = 5 espèces) : *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., *Jatropha curcas* L., *Moringa oleifera* Lam., *Parkia biglobosa* (Jacq.) R.Br et *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile). Elles sont choisies en raison de leur présence en tant qu'espèces épargnées dans les terroirs, de leurs potentialités à restaurer les zones dégradées, de leur valeur socio économique et culturelle relevées des suites d'enquête socio économique et ethnobotanique. *Jatropha curcas* y a été ajouté par les paysans pendant la priorisation des espèces au cours des fora, en raison de son intérêt énergétique, lucratif et anti érosif tels que perçus par les

paysans. En effet, ces multiples fonctions de l'espèce avaient été documentées (Kanouté, 2009 ; Domergue et Pirot, 2008). Les blocs (n=3 par site) sont installés en 3 répétitions sur deux sites : un donga du Parc W et un versant de la zone dégradée du terroir villageois de Goroubéri. Les parcelles abritant un type d'aménagement, couvrent 750 m² chacune à raison de trois par bloc dans les deux sites (Goroubéri et donga 1 du Parc W). Les parcelles sont espacées de 7,5 m et les plants de 5 m. Chaque bloc contient trois parcelles randomisées et chaque parcelle contient cinq sous parcelles constituées des lignes randomisées de six plants de chaque espèce forestière (sous-parcelle) (Figure 3). Les plants proviennent d'une pépinière à sachets polyéthyléniques ensemencées le 15 Mars 2010, arrosés deux fois par jour, et libérés des adventices trois fois durant les 105 jours en pépinière avant leur transplantation en terre pleine à Karimama. Aucune fumure ni traitement phytosanitaire n'a été effectué. Les transplantations ont eu lieu sur le versant de Goroubéri le 27 Juin 2010, et dans le donga1 du Parc National du W le 29 Juin 2010. Au total, 270 plants sont disponibles par site représentant 6 plants * 3 blocs * 3 répétitions * 5 espèces. Durant l'essai, les plants ont été sarclés 3 fois à la houe, sans aucun apport d'engrais.

Bloc 1	TKs1-6	DLPb1-6	ZMo1-6
	TMo1-6	DL Jc1-6	ZPb1-6
	TJc1-6	DLBa1-6	ZJc1-6
	TPb1-6	DLMo1-6	ZBa1-6
	TBa1-6	DLKs1-6	ZKs1-6
Bloc 2	DLPb1-6	ZMo1-6	TKs1-6
	DLJc1-6	ZPb1-6	TMo1-6
	DLBa1-6	ZJc1-6	TJc1-6
	DLMo1-6	ZBa1-6	TPb1-6
	DLKs1-6	ZKs1-6	TBa1-6
Bloc 3	ZPb1-6	TMo1-6	DLKs1-6
	ZJc1-6	TJc1-6	DLJc1-6
	ZKs1-6	TBa1-6	DLMo1-6
	ZMo1-6	TPb1-6	DLBa1-6
	ZBa1-6	TKs1-6	DLPb1-6

Techniques d'Aménagement : DL=Démi-lune, Z=Zaï ; T= Témoin

Espèces : Ks=*Khaya senegalensis* ; Mo= *Moringa oleifera* ; Jc=*Jatropha curcas* ; Pb= *Parkia biglobosa* ; Ba= *Balanites aegyptiaca* ; 1-6= 1plant à 6 plants

Figure 2 : Schéma simplifié du dispositif expérimental sur un site

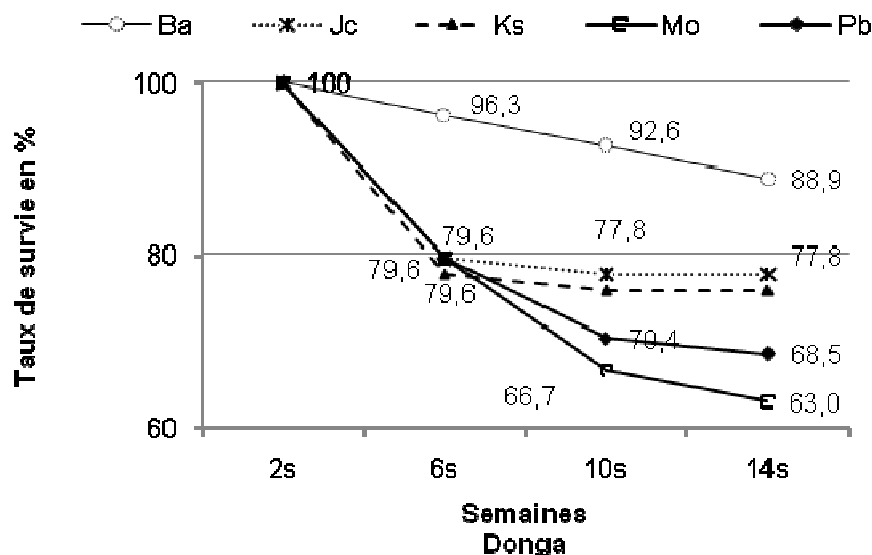
Collecte des données : Les données ont été collectées respectivement 2, 6, 10 et 14 semaines après la mise en terre des plants. Les paramètres suivants étaient relevés : le nombre de plants morts pour calculer les taux de mortalité ou de survie, le diamètre au collet mesuré avec le pied à coulisse à 1 cm au-dessus du sol pour analyser la vitesse de croissance en diamètre des espèces, la hauteur des plants mesurée avec un mètre métallique pour analyser la vitesse de croissance en hauteur des espèces et les pluies enregistrées pendant la période de l'étude.

Analyse des données : Les vitesses de croissance (diamètre et hauteur) ont été soumises à l'analyse de variance à trois critères (sites, espèces et aménagements) ainsi qu'aux tests d'homogénéité suivant un modèle linéaire généralisé dans Minitab version 14. Les relations entre les causes de la mortalité et les facteurs ont été analysées à partir du test d'association de chi-deux de Pearson. Le test d'homogénéité de Tukey a permis d'identifier le meilleur aménagement et les espèces manifestant le meilleur patron de croissance en vue de contribuer utilement à la restauration des terres dégradées à Karimama.

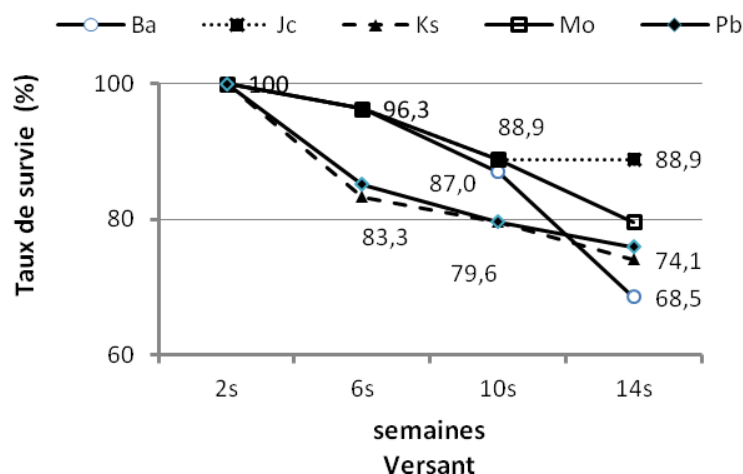
RESULTATS

Variation du taux de survie : Le nombre de plants vivants diminue avec l'âge indépendamment du site. En effet, quatorze (14) semaines après la plantation, dans le donga, *Balanites aegyptiaca* montre le taux de survie le plus élevé (88,9%) et *Moringa oleifera* le taux le plus faible (63 %) (Figure 3a). Sur le versant, *Jatropha curcas* montre la valeur la plus élevée du taux de survie (88,9%) et *B. aegyptiaca*, la plus faible (68,5%) (Figure 3b). Globalement, le taux de survie est plus élevé sur le versant que dans le donga (77,4 % versus 74,8 %). Globalement, les résultats montrent des taux de survie variables d'une espèce à l'autre et d'un site à l'autre. On peut admettre que les cinq espèces n'aient pas les

mêmes taux de survie aussi bien dans le donga que sur le versant. En effet, l'analyse des relations entre facteurs et causes de mortalité montre que les espèces sont dépendantes aussi bien des causes de mortalité ($X^2_{obs}=13,5$ et $P=0,009$) que des sites ($X^2_{obs}=3,95$ et $P=0,047$). En effet, dans le donga, il y a une mortalité naturelle globale de 4,4% soit 12 plants et une mortalité spécifique de 20,7% soit 56 plants imputables aux termites. A l'inverse, sur le versant, pendant que cette mortalité naturelle est de 7,4% soit 20 plants, spécifiquement 15,2% de mortalité soit 41 plants relèvent des termites.



(a)



(b)

Ba = *Balanites aegyptiaca*; **Ks** = *Khaya senegalensis*; **Jc** = *Jatropha curcas*; **Mo** = *Moringa oleifera*; **Pb** = *Parkia biglobosa*
Figure 3: Evolution du taux de survie des plants dans le donga (a) et sur le versant (b) par espèce. (Changes in the survival rate of seedlings in the donga and on the slopes).

Variation des vitesses de croissance en diamètre (VCD) des plants :

Les vitesses de croissance en diamètre varient de 0,34 à 1,62 mm/semaine suivant les espèces et les sites (Tableau 3). Les espèces ligneuses en cause sur le donga montrent des VCD significativement différentes ($p=0,000$) (Tableau 3). *Parkia biglobosa* montre la plus faible valeur (0,34 mm/semaine) comparée à toutes les autres espèces tandis que *J. curcas* montre généralement la valeur la plus élevée (1,62 mm/semaine) occupant ainsi le premier rang sur 3 suivi du groupe intermédiaire représenté par *M. oleifera*, *B. aegyptiaca* et *K. senegalensis* (0,58 à 0,65 mm/semaine). En dehors de l'effet "espèces", les vitesses de croissance en diamètre diffèrent aussi significativement d'un site à l'autre ($p \leq 0,001$). La comparaison de l'ensemble des espèces sur les deux sites respectifs (Tableaux 3 et 4) montre une augmentation de la vitesse de croissance en diamètre dans 3 sur 5 cas de comparaison et cette augmentation est à la fois significative ; c'est-à-dire *J. curcas*, *B. aegyptiaca* et *K. senegalensis* croissent en diamètre plus vite sur le versant que dans le donga. Dans le cas de *M. oleifera* et de *P. biglobosa*, la vitesse de croissance en

diamètre décroît du versant vers le donga. La comparaison intra site indique trois groupes de plantes. *J. curcas* montre toujours les valeurs de VCD les plus élevées et *P. biglobosa*, les plus faibles tandis que le groupe qui a la VCD intermédiaire reste toujours constitué des mêmes espèces, c'est-à-dire *B. aegyptiaca*, *K. senegalensis* et *M. oleifera*. Il existe un effet significatif de l'interaction espèces * sites ($p=0,000$) sur les variations des VCD des plants testés. Toutefois, la réponse est spécifique selon le site mais le patron de croissance en diamètre semble peu variable d'un site à l'autre. Les espèces à VCD élevées dans le donga montrent également des valeurs élevées sur le versant. La comparaison des deux sites montre une augmentation des VCD dans 13 cas sur 25 et une diminution dans 8 cas sur 25. L'augmentation est significative sur le versant chez *J. curcas*, *K. senegalensis* et *B. aegyptiaca*. Cependant, l'amplitude de cet effet varie entre espèces, étant la plus faible avec *B. aegyptiaca* (12,3%) et la plus large chez *K. senegalensis* (13,8%) et *J. curcas* (14,2%). Par ailleurs, les VCD diminuent chez *M. oleifera* et *P. biglobosa* avec des amplitudes respectives de 1,3% et 3%.

Tableau 3 : Comparaison des vitesses de croissance végétale en diamètre et en hauteur sur les donga et versant dans la réserve du W du Niger au Bénin

Espèces	Donga		Versant	
	VCD (mm semaine ⁻¹)	VCH (cm semaine ⁻¹)	VCD (mm semaine ⁻¹)	VCH (cm semaine ⁻¹)
<i>Jatropha curcas</i>	1,62±0,33a	2,34±0,65a	1,85±0,71a	3,27±1,98a
<i>Balanites aegyptiaca</i>	0,65±0,20b	4,51±1,72b	0,73±0,21b	4,92±1,16b
<i>Khaya senegalensis</i>	0,58±0,12b	2,03±0,38a	0,66±0,23b	2,33±0,73c
<i>Moringa oleifera</i>	0,64±0,22b	3,94±0,96b	0,63±0,25b	3,83±1,74a
<i>Parkia biglobosa</i>	0,34±0,07c	1,69±0,36a	0,33±0,09c	1,79±0,31c

Les moyennes suivies d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % VCD : Vitesse de croissance en diamètre ; VCH : Vitesse de croissance en hauteur.

Tableau 4 : Résultats d'ANOVA à trois critères sur les vitesses de croissance des essences de restauration des terres dégradées : Valeurs de F (4, 420) et niveau de signification

Source de variation	Espèce	Traitement	Site	Espèce*traitement	Espèce*site	Traitement*site	Espèce*traitement*site	Répétition	R ²
Paramètres									
DL	4	2	1	8	4	2	8	2	-
VCD	180,6***	2,37ns	21,28***	0,98ns	14,93***	0,74ns	0,46ns	18,45***	68,43
VCH	79,60***	1,51ns	11,62**	1,29ns	5,21***	0,56ns	0,42ns	11,14***	46,86

DL : degré de liberté ; VCD : Vitesse de croissance en diamètre ; VCH : Vitesse de croissance en hauteur

*, **, *** : probabilité significative respectivement à 0,05 ; 0,01 ; 0,001. ns : non significative.

Variation des vitesses de croissance en hauteur (VCH) des plants : A l'instar de la VCD, la vitesse de croissance en hauteur (VCH) varie significativement entre espèces et entre sites (Tableaux 3 et 4). Les valeurs de VCH varient entre 1,69 et 4,51 mm.sem⁻¹. Comparées aux autres espèces dans le donga, *P. biglobosa* montre à la fois les plus faibles valeurs de VCH et VCD. Celle-ci s'identifie assez bien à *K. senegalensis* et *J. curcas* qui montrent également de faibles valeurs (<2,3 mm.sem⁻¹). Par contre, *M. oleifera* (3,94 mm.sem⁻¹) et *B. aegyptiaca* qui montrent de VCD intermédiaires manifestent remarquablement les VCH les plus élevées (3,94 et 4,51 mm.sem⁻¹). Sur le versant, *M. oleifera* montre une VCH décroissante contrairement aux autres espèces. Les résultats d'analyses ne montrent aucun effet significatifs des techniques d'aménagement ni sur les VCD (P = 0,095) ni sur les VCH (P = 0,221). Cependant,

l'interaction espèces x site est hautement significative (p=0,000) aussi bien sur les VCD que sur les VCH. L'interaction espèces*site requiert la comparaison de l'effet des différents facteurs par site. Ce résultat indique des réponses spécifiques suivant les sites.

Effet des techniques d'aménagement : Le tableau 5 présente les résultats de l'analyse de variance de la vitesse de croissance en diamètre et en hauteur. Les résultats montrent de différences significatives entre VCD et VCH suivant les espèces et les sites. L'interaction espèce *site n'est significatif que sur les VCD à l'échelle du donga. Au total, d'une part *J. curcas* montre les valeurs de VCD les plus élevées et *P. biglobosa*, les valeurs les plus faibles. D'autre part, *B. aegyptiaca* montre les valeurs de VCH les plus élevées, et *P. biglobosa* les plus faibles VCH.

Tableau 5: Comparaison intra et inter sites des traits de croissance des espèces végétales utilisées pour la restauration des zones d'érosion à Karimama.

Sites	Paramètres	Espèces	Techniques d'aménagement	Espèces* Techniques	Bloc	Erreur	R ² ajusté (%)
Donga	DL	4	2	8	2	185	-
	VCD	104,63***	6,08**	1,99*	9,78***	-	70,36
	VCH	56,28***	2,23ns	0,57ns	1,09ns	-	52,37
Versant	DL	4	2	8	2	192	-
	VCD	108,76***	0,30ns	0,35ns	15,73***	-	68,74
	VCH	36,36***	0,10ns	1,03ns	16,55***	-	45,63

DL : degré de liberté ; VCD : Vitesse de croissance en diamètre ; VCH : Vitesse de croissance en hauteur

*,**,***: probabilité significative respectivement à 0,05 ; 0,01 ; 0,001. ns : non significative.

Par ailleurs, les techniques d'aménagement influencent significativement les VCD dans le donga (P=0,003), mais elles restent sans effet dans le versant (Tableau 5). Les valeurs de VCD sont plus élevées avec la demi-lune (0,76 mm.sem⁻¹) et le zaï (0,74 mm.sem⁻¹) qu'avec le témoin (0,62 mm. Sem⁻¹) (Figure 4). A cet effet, la comparaison des moyennes suivant le test d'homogénéité de Tukey montre une différence

hautement significative entre le témoin et la demi-lune (p=0,0031, Tableau 6) d'une part et le zaï (p=0,0322) d'autre part. L'amplitude de variation est de 19,3% pour le zaï et de 22,5% pour la demi-lune (Figure 4). En dehors de l'effet espèce hautement significatif et déjà signalé plus haut, les VCH ne montrent aucune variation significative induite par les techniques d'aménagement (Tableau 5).

Tableau 6: Test d'homogénéité de Tukey pour la comparaison des aménagements deux à deux en fonction de la vitesse de croissance des espèces en diamètre dans le Donga.

Facteurs	Variable (vitesse de croissance en diamètre)	
	T observé	P
Témoin -Demi-lune	3,317	0,0031***
Témoin-Zaï	2,536	0,0322**
Demi-lune-Zaï	0,7581	0,7291ns

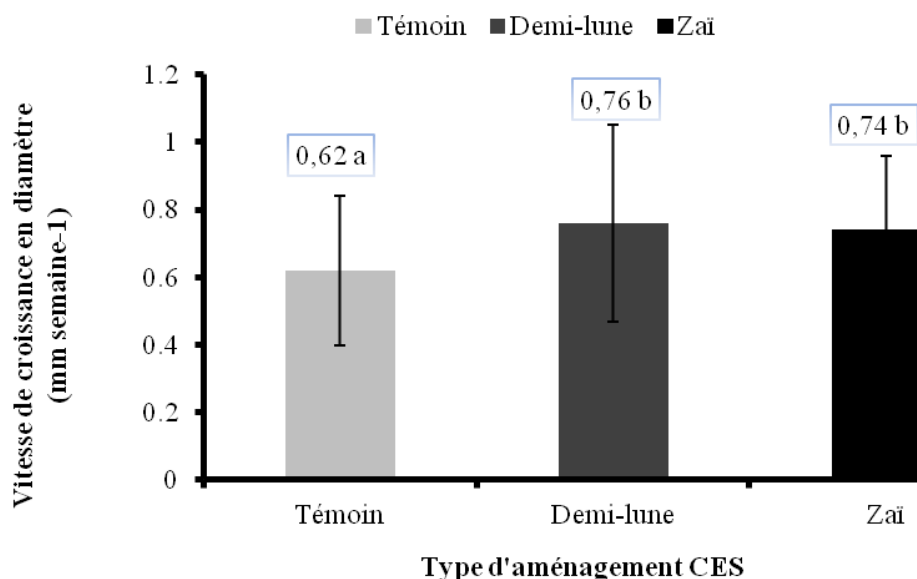


Figure 4: Variation de la vitesse de croissance en diamètre (mm/semaine) en fonction du type d'aménagement dans le donga ; les bars ayant les mêmes lettres ne diffèrent pas statistiquement au seuil de 5%. (Average diameter growth rate [mm / week] by SWC techniques in the donga)

DISCUSSION

Mortalité des plants : Le test d'indépendance de khi-deux indique que les mortalités observées ne dépendent pas des aménagements et des blocs, mais plutôt des espèces ($p=0,009$) et des sites ($p=0,047$). Cette dépendance serait liée aux caractéristiques écologiques des espèces et aux conditions climatiques. Le comportement végétal varie d'un sol à l'autre avec des performances relatives spécifiques sur les sols sableux et sablo-argileux (Yossi et al., 2006). Par ailleurs, la composition chimique et minéralogique du sol, la génétique et l'écologie des espèces pourraient aussi justifier la mortalité inégalement enregistrée sur le versant et dans le donga. Nos résultats montrent que le taux de survie sur l'ensemble du versant et du donga à Karimama varie de 74% à 77%. Ces valeurs sont légèrement supérieures à celles obtenues par Mahaman et al. (2002) sur les mêmes espèces en zone sahélienne, c'est-à-dire 62% à 70%. Les principaux facteurs accusés sont le stress hydrique, la pression des termites sur les ouvrages et l'étouffement des plantes par les herbacées. *Jatropha curcas* et *Moringa oleifera* sont recommandées dans les zones de 700 à 1000 mm de pluie (Yossi et al., 2006), ou bien la seule *J. curcas* pour des zones plus sèches de 400 à 700 mm de pluie (Ouédraogo, 2000). En fait, *J. curcas* s'adapte à la sécheresse grâce à : (i) son développement racinaire de surface et de profondeur pour l'eau; (ii) sa protection cuticulaire; (iii) son

élimination du feuillage en saison sèche limitant la transpiration (Ouédraogo, 2000) ; l'espèce est d'ailleurs réputée des milieux semi arides et de sols pauvres, se propageant par semis ou bouturage (Achten et al., 2008) et adaptée aux sols marginaux (Heller, 1996). En outre, ses aptitudes à mobiliser les éléments des couches profondes du sol, à s'accroître rapidement et à se ramifier fortement renforcent assez bien son rôle dans la lutte antiérosive (Achten et al., 2007). La grande faculté adaptative de *J. curcas* aux sols marginaux justifie dans une large mesure son choix pour la lutte antiérosive et le développement de sa culture intensive (Patolia et al., 2007).

Différence de taux de survie entre versant et donga :

Nos résultats montrent sur les trois périodes de collecte de données (6, 10 et 14 semaines après la plantation), que les taux moyens de survie des plants sont supérieurs sur le versant que dans le donga (6 semaines : 91,54% versus 82,6 % ; 10 semaines : 77,4% versus 76,6% ; 14 semaines : 77,4% versus 74,8%). Les amplitudes de variations respectives sont de 10,82% en 6 semaines, 1,04% en 10 semaines et 3,47% en 14 semaines. En fait, le sol moins encroûté plus perméable à l'eau sur les versants rendrait plus disponible les éléments nutritifs sollicités par les jeunes plants. Les études de Roose et al., (1992) ont signalé que l'encroûtement des horizons superficiels des sols dans la zone Soudano-sahélienne,

favorise le développement du ruissellement. En effet, la formation de la croûte limite considérablement l'infiltration de l'eau, favorise en conséquence le ruissellement de surface et l'accélération de l'érosion (Roose, 1989; Roose et al., 1995 ; JGRC, 2012).

Efficacité des techniques de conservation des eaux et des sols sur la croissance végétale : Les résultats de comparaison des techniques CES montrent que la différence entre le témoin et la demi-lune est hautement significative ($p=0,0031$) avec une différence des moyennes de la vitesse de croissance en diamètre de 0,12 mm/semaine. La différence entre le témoin et le zaï est significative ($p=0,0322$) avec une différence des moyennes de la vitesse de croissance en diamètre de 0,09 mm/semaine. Par contre la demi-lune et le zaï ne sont pas significativement différents. Cette observation pourrait être due au fait que les cuvettes de demi-lune sont légèrement plus large que celles du zaï et ces deux types d'aménagement aident à piéger l'eau pour son infiltration afin de solubiliser et de rendre disponible les éléments nutritifs du sol pour la plante. Des travaux antérieurs rapportent combien le zaï induit des rendements allant jusqu'à 500 kg. ha⁻¹ de grain de mil et concluent quant à l'efficacité de cette technique à la récupération des sols dégradés (Yaméogo et al., 2005; Ouédraogo et Kaboré, 1996). Ces auteurs obtiennent avec le zaï amélioré au compost, des rendements en grain de sorgho allant de 300 à 1000 kg ha⁻¹; et concluent que la technique est adaptée pour augmenter les productions agricoles. Bien plus, Roose (1994) examine le zaï avec un complément de 60 kg N ha⁻¹ + 30 kg P ha⁻¹ sur sol dégradé sahélien et soudano-sahélien, et parvint à 1500 kg ha⁻¹ de grain de sorgho soit 8 fois la production sans zaï. En effet, selon Ganaba (2005), les cordons pierreux, zaï et demi-lune favorisent dans une certaine mesure la reconstitution de la végétation ligneuse, marquant ainsi la restauration progressive des espaces aménagés. Nos résultats sont en accord avec ces différentes observations. Le zaï et la demi-lune aideraient certainement à restaurer les sols dégradés dans les dongas du Parc National du W. Bien que les espèces se distinguent significativement, nos résultats ne montrent aucune différence significative des traits de croissance végétale liée aux techniques d'aménagement. Ceci pourrait s'expliquer par les caractéristiques écologiques des espèces en présence et leur aptitude à se développer sur sols dégradés. Dans les terroirs, les versants sont cultivés, justifiant d'une fertilité chevronnée

comparée aux dongas qui sont restés jusque là presque sans végétation. Le fait que les aménagements n'aient pas eu d'effet serait relatif au fait que le versant de Goroubéri serait probablement moins dégradé et plus fertile ; ainsi, le piégeage de l'eau et de nutriment réalisé avec le zaï et la demi-lune n'est pas suffisant pour induire un dénivelé substantiel. Il serait opportun de répéter l'expérience pour identifier les facteurs explicatifs. L'avantage d'une technologie locale comme le zaï est qu'au delà de ses performances agronomiques, elle est facilement adoptée par les petits producteurs (Bologo, 1998; Sawadogo, 2001). Cet intérêt à utiliser des technologies locales pour améliorer la production a été largement documenté (Landers et al., 2001; Power et al., 2002; Pretty et al., 2003; Cholter et al., 2003).

Performances variables des espèces: La présence des arbres dans l'écosystème conditionne dans une certaine mesure la durabilité des systèmes de production soudano-sahéliens (Zombré, 2003), ainsi que la protection du sol contre l'érosion éolienne et hydrique (Ganaba, 2011). En effet, la végétation active assure le renouvellement du stock par la litière et l'activité racinaire. Nos travaux montrent que la croissance en diamètre dans le donga et sur le versant est plus forte chez *J. curcas*. Par ailleurs, *B. aegyptiaca* montre les vitesses de croissance en hauteur les plus élevées. En effet, ces deux espèces s'adaptent mieux aux milieux très pauvres (Janin et Ouédraogo, 2009) et même aux sols tassés et encroûtés (Ganaba, 2005). La rusticité de ces espèces couplée à la fertilité des sols pourraient expliquer leur meilleur développement en diamètre et en hauteur par rapport aux autres espèces.

Globalement, les faibles taux de mortalité et les meilleurs taux de survie relevés chez *J. curcas* et *B. aegyptiaca* indiquent combien ces deux espèces conviendraient assez bien dans la restauration des dongas et des versants de la biosphère du W. D'ailleurs, elles seraient déjà recommandées pour les zones de pluviosité comprise entre 700 - 1000 mm (*B. aegyptiaca* : Chevallier et al., 2003; Yossi et al., 2006; *J. curcas* : Louppe et Yossi 2000). En outre, leur production en pépinière est relativement facile et est bien connue des producteurs de la Commune. Par ailleurs, la pression anthropique pour divers autres usages, les risques de pâturage, surpâturage et d'attaque par les termites menacent la viabilité et la durabilité de leur exploitation dans ce contexte.

CONCLUSION

L'étude a été réalisée dans la saison pluvieuse, favorable à la solubilisation des nutriments du sol pour une bonne nutrition des plantes. Les données de saison sèche rendraient plus concluants les résultats de la présente étude. Toutefois, *Jatropha curcas* et *Balanites aegyptiaca* montrent de meilleures croissances en hauteur et en

diamètre dans le donga et sur le versant. La demi-lune et le zaï induisent les meilleures croissances végétales dans le donga. Des études ultérieures sont nécessaires sur le long terme en vue de confirmer ces technologies dans la réhabilitation des écosystèmes dégradés en milieux soudano-sahéliens.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé grâce à l'appui financier et logistique du Laboratoire d'Écologie Appliquée de la Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi (Bénin) et de l'Union Européenne (FP6

INCO-dev 031685) à travers le Projet SUN (Sustainable Use of Natural Vegetation in West Africa). Les populations de Karimama et les pépiniéristes ont soutenu la lutte contre divagation des animaux.

REFERENCES

- Achten WMJ, Mathijs E, Verchot L, Singh VP, Aerts R, Muys B. 2007. *Jatropha* bio-diesel fueling sustainability? *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 1: 283-291.
- Achten WMJ, Verchot L, Franken YJ, Mathijs E, Singh VP, Aerts R, Muys B, 2008. *Jatropha* bio-diesel production and use: review, *Biomass and Energy*. 32(12): 1063-1084
- Adomou CA, 2005. Vegetation Patterns and Environmental gradients in Benin Implications for biogeography and conservation. PhD Thesis. Wageningen University, Wageningen. 133p.
- Avakoudjo J, 2008. Dégradation des terres et réhabilitation des écosystèmes dégradés au Nord du Bénin : Étude de cas du Parc National du W et des terroirs riverains dans la Commune de Karimama (Bénin), DEA, Université d'Abomey-Calavi, 68 p.
- Avakoudjo J, Kindomihou V, Sinsin B. 2011. Farmers' perception and response to soil erosion while abiotic factors are the driving forces in Sudanian Zone of Benin. *Agricultural Engineering Research Journal* 1 (2): 20-30.
- Bologo E, 1998. *Contribution à l'étude du zaï : la logique de la diffusion de la technique*. Mémoire de maîtrise de sociologie : Faculté de Lettres, Langues, Arts et Sciences humaines (FLASH), Université de Ouagadougou (Burkina Faso).
- Chevallier M.-H, Bensaid S, Diallo OB, Sahki R, Ganaba S, Sanou J, Bouguedoura N, Vaillant A, Babin D, 2003. Biodiversité et multidisciplinarité : méthodologie pour les zones arides. *Bois et Forêts des tropiques*, 276(2): 33-41.
- Dapola DCE, 2008. Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur le rendement du sorgho au centre-nord du Burkina Faso. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 241-242.
- Domergue M et Pirot R. 2008. *Jatropha curcas* L. Rapport de synthèse bibliographique. CIRAD, AGRO génération, 118 pp.
- Fox D, Martin C, Grosso J, Morschel J. 2006. Étude et cartographie de l'érosion des sols dans un vignoble du Sud Est de la France. Études de Géographie Physique, n° XXXIII, UMR 6012 "ESPACE" du CNRS, Département de Géographie, Université de Nice-Sophia-Antipolis.
- Ganaba S, 2005. Impact des aménagements de conservation des eaux et des sols sur la régénération des ressources ligneuses en zone sahélienne et nord soudanienne du Burkina Faso. *VertigO*, 6(2):126-140.
- Ganaba S, 2011. La végétation ligneuse du Sahel (Burkina Faso). Caractérisation, utilisations, tests de restauration et gestion, Éditions Universitaires Européennes 2011, p. 294.
- Heller J, 1996. Physic nut *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops.1. 66 pp.
- Janin P. et Ouédraogo FDC, 2009. Enjeux des agrocarburants au Burkina Faso : le cas du *Jatropha curcas* L. 12. pp.
- Japan Green Resources Corporation (JGRC). 2001. Guide Technique de la conservation des terres agricoles. Vol 5, 43 pp.
- Kanouté AN, 2009. Appui à la mise en place d'une filière locale de *Jatropha curcas* pour l'autonomie énergétique de Tériya Bugu: Acceptabilité sociale et impacts socioéconomiques de l'introduction du *Jatropha*. Mémoire d'Ingénieur AgroSup Dijon, 126 pp.

- Landers JN, De C Barros GSA, Manfrinato WA, Rocha MT, Weiss JS, 2001. 'Environmental benefits of zero-tillage in Brazil – a first approximation' in Garcia Torres, L, Benites, J and Martinez Vilela, A (eds) Conservation Agriculture - A Worldwide Challenge. Volume 1. XUL, Cordoba, Spain.
- Louppe D et Yossi H, 2000. Les haies vives et défensives en zones sèche et sub-humide d'Afrique de l'Ouest. La jachère en Afrique tropicale. De la jachère naturelle à la jachère améliorée, le point des connaissances, C. Floret, R. Pontanier, *John Libbey Eurotext*, Paris. 293-309.
- Mahaman I, Zanguina I, Alhousseini I, Ibro G, Maman I, Moussa O, 2002. Gestion intégrée du bassin versant agricole de Tanda. Rapport d'activités 1997-2001, 30 pp.
- Ouédraogo E, Stroosnijder L, Mando A, Zougmore R, Brussaard L, 2007. Agroecological analysis and economic benefit of organic resources and fertilizer in till and no-till sorghum production after a 6-year fallow in semi-arid West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 77: 245–256.
- Ouédraogo M et Kaboré V, 1996. Le Zaï, technique traditionnelle de réhabilitation des terres dégradées au Yatenga (Burkina Faso). In Techniques de conservation de l'eau et des sols en Afrique, CTA-CDCS-Karthata, 119-125.
- Ouédraogo M. 2000. Étude Biologique et Physiologique du Pourghère, *Jatropha curcas* L. Thèse d'Etat, Université de Ouagadougou Burkina Faso: Ouagadougou. 290 pp.
- Patolia J, Ghosh A, Chikara J, Chaudhary DR, Parmar DR, Bhuvra HM, 2007. Response of *Jatropha curcas* grown on wasteland to N and P fertilization. in Expert Seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and Genetics.
- Power AG and Kenmore P, 2002. Exploiting interactions between planned and unplanned diversity in agroecosystems: what do we need to know? In: Uphoff N., ed. *Agroecological innovations*. London: Earthscan, 233-242.
- Pretty JN, Morison JIL, Hine RE, 2003. Reducing food poverty by increasing agricultural sustainability in developing countries. *Agric. Ecosystems Environ.*, 95(1) : 217-234.
- Roose E, 1989. Méthodes traditionnelles de gestion de l'eau et des sols en Afrique occidentale soudano-sahélienne. Définitions, fonctionnements, limites et améliorations possibles. *Érosion* 10: 98-107.
- Roose E, Dugué P, Rodriguez L, 1992. La gestion conservatoire des eaux et des sols : une nouvelle stratégie de lutte anti-érosive appliquée à l'aménagement de terroirs en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *Bois et Forêts des Tropiques* 233: 49-63
- Roose E, 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin. FAO des sols. Rome, n°70. 420 pp.
- Roose E, Kaboré V, Guenat C, 1995. Le zaï : Fonctionnement, limites et amélioration d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahéliennes (Burkina Faso). Cahiers ORSTOM. In : Spéciale érosion : réhabilitation des sols et GCES : 158-173.
- Sawadogo H, 2001. Gestion de la matière organique et récupération des potentialités de sols dégradés en milieu soudano-sahélien du Burkina Faso. Mémoire : Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux (Belgique).
- Sawadogo H, Laurent-Bock L, Lacroix D, Zombré NP, 2008. Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 12(3): 279-290.
- Scholter M, Dilly O, Munch JC, 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agric. Ecosystems Environ.*, 98(1-3) : 255-262.
- Szaniawsky H, 1982. Développement des parcs nationaux : Plan directeur du Parc National du W du Niger. Rapport technique 3 PNUD/FAO, Rome, 98 pp.
- Toko I and Sinsin B, 2008. Les phénomènes d'érosion et d'effondrement naturels des sols (dongas) du Parc national du W et leur impact sur la productivité des pâturages. *Sécheresse*. Vol. 19(3): 193-200.
- Viennot M, 1978. Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin au 1/200 000. Notice explicative N°66, feuille de Kandi-Karimama. Orstom, Paris, France, 45 pp.
- Yaméogo G, Yélémou B, Traoré D, 2005. Pratique et perception paysannes dans la création du parc agro-forestier dans le terroir de Vipalodo (Burkina-Faso) *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 9(4): 241-248.

- Yossi H, Kaya B, Traoré CO, Niang A, Butare I, Levasseur V, Sanogo D, 2006. Les haies vives au Sahel. État des connaissances et recommandations pour la recherche et le développement. ICRAF Occasional Paper no. 6. Nairobi: World Agroforestry Centre.
- Zombré NP, 2003. Les sols très dégradés (Zipella) du Centre Nord du Burkina Faso : dynamique, caractéristiques morpho-bio-pédologiques et impacts des techniques de restauration. Thèse de doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Ouagadougou, p.374.
- Zombré NP, 2006. Évolution de l'occupation des terres et localisation des sols nus dans le Centre Nord du Burkina Faso. *Télédétection* 5(4): 285-297.
- Zougmore R, Ouattara K, Mandoz A, Ouattara B, 2004. Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lunes) au Burkina Faso. *Sécheresse* 15(1) :41-48.