



Annales des Sciences Agronomiques

Journal Home > Vol 19, No 1 (2015)

Log in or Register to get access to full text downloads.

Username

Password

Remember me

Login

or [Register](#)

[JOURNAL HOME](#)

[ABOUT THIS JOURNAL](#)

[ADVANCED SEARCH](#)

[CURRENT ISSUE](#)

[ARCHIVES](#)

Annals of Agronomic Sciences is a scientific review which goal is to publish original articles, technical notes, reviews of literature, scientific information, in all the fields of sciences and biological technology, ecology, biochemistry, biotechnology, geology, soil sciences, agro-feedings, human and animal nutrition. Articles are written in French or English with a detailed summary of a half-page in the second language. The authors having regularly paid their annual contribution profit from 12 pages per number for the publication of their articles. They profit from 10 drawn with share from their articles when they are published.



HOW TO USE AJOL...

- [for Researchers](#)
- [for Librarians](#)
- [for Authors](#)

OTHER RESOURCES...

- [for Researchers](#)
- [for Journals](#)
- [for Authors](#)
- [for Policy Makers](#)
- [about Open Access](#)
- [FAQ's](#)

MODÉLISATION DU STOCK DE BIOMASSE ET DYNAMIQUE DE SÉQUESTRATION MINÉRALE ET DU CARBONE DE *JATROPHA CURCAS* L. SOUS DIFFÉRENTS TYPES DE SOL AU BÉNIN

GBEMAVO D. S. J. C.*; GNANGLE P. C.**; AZONTONDE A.**; GLELE KAKAI R. L.*

*Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 526 Cotonou Bénin. Email : cgbemavo@yahoo.fr ; gleleromain@yahoo.fr

**Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Centre de Recherches Agricoles d'Agonkanmey (CRA-A), Laboratoire des Sciences du Sol, Eau et Environnement (LSSEE), 01 BP 884 Cotonou. Email : gnampaces@yahoo.fr ; anastase12000@yahoo.fr

RÉSUMÉ

En Afrique de l'Ouest, la fonction de séquestration de carbone des arbustes de *Jatropha curcas* et l'impact de leur culture sur le sol ont reçu beaucoup moins d'attention que leur potentiel de production d'huile végétale et de biodiesel. Cette étude a (i) quantifié et comparé le stock de carbone (C) séquestré et les stocks d'éléments nutritifs (N, P, K) des pieds de *J. curcas* entre organes (feuille, tige, racine), âges (1 an, 2 ans, 3 ans) et zones agroécologiques (zone extrême nord-Bénin, zone cotonnière du centre, zone de terre de barre du sud-Bénin) ; et (ii) analysé l'impact de la culture du *J. curcas* sur les caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols. Les échantillons d'organes de *J. curcas* et de sols ont été collectés dans les trois zones agroécologiques et analysés au laboratoire puis la teneur des différents éléments recherchés a été déterminée. Une analyse de la covariance avec l'âge comme covariable a été réalisée pour tester les effets des zones agroécologiques et des organes sur les différents paramètres étudiés. Les résultats ont montré que le stock de carbone séquestré par *J. curcas* ne variait pas significativement suivant les zones agroécologiques mais variait très significativement ($P < 0,001$) suivant l'âge et l'organe de la plante. Un hectare de plantation de *J. curcas* de 1111 pieds (écartement 3 m x 3 m) âgée de 3 ans séquestre en moyenne 10787,81 kg C. Les résultats obtenus permettent de conclure que les plantations de *J. curcas* sont des puits de carbone et leur culture devrait prendre en compte le climat et le type de sol.

Mots clés : *Jatropha curcas*, séquestration, carbone, Bénin, Afrique de l'Ouest.

BIOMASS STOCK MODELING AND DYNAMICS OF MINERAL AND CARBON SEQUESTRATION OF *JATROPHA CURCAS* L. UNDER DIFFERENT SOIL TYPES IN BENIN

ABSTRACT

In West Africa, carbon sequestration function of *Jatropha curcas* shrubs and their impact on the soil have received much less attention than their potential for producing vegetable oil and biodiesel. The present study (i) quantified and compared the stock of carbon (C) sequestration and stocks of nutrients (N, P, K) of *J. curcas* tree between organs (leaf, stem, root), ages (1 year, 2 years, 3 years) and agro-ecological zones (extreme zone of northern Benin, cotton zone of central Benin, ferralitic soil zone of southern Benin); (ii) analyzed the impact of the culture of *J. curcas* on morphological and physico-chemical properties of soil. *J. curcas* organs and soil sampled were collected in three agro-ecological zones and analyzed in the laboratory and the content of various elements was determined. Analysis of covariance with age as covariate was performed to test the effect of agro-ecological zones and organs of the species on the parameters considered. The results showed that the stock of carbon sequestered by *J. curcas* did not vary significantly among agro-ecological zones ($P > 0.05$) but varied very significantly ($P < 0.001$) according to age and organs of the plant. A 1-ha plantation of *J. curcas* consisting of 1111 plants (distance between plants 3 m x 3 m) and established since three years sequesters 10787.81 kg C in average. Findings lead to conclude that plantations of *J. curcas* are carbon sinks and culture must take into account the climate and soil type.

Keywords : *Jatropha curcas*, carbon, sequestration, Benin, West Africa.

INTRODUCTION

La baisse des rendements agricoles liée entre autres aux variations du climat les trente dernières années en Afrique de l'Ouest (Brou *et al.*, 2005) et occasionnée par l'émission des gaz à effet de serre, a mis l'attention sur de nouvelles filières agricoles capables d'améliorer le revenu des paysans. Parmi ces filières porteuses figure celle de *J. curcas* (Mbaye, 2011). *J. curcas* est une espèce bien connue des populations locales de l'Afrique de l'Ouest qui l'utilisent comme haie pour délimiter les maisons et les exploitations agricoles (Assogbadjo *et al.*, 2009). L'importance socio-économique de la plante réside dans la capacité de la graine à produire une huile facilement convertible en biodiesel (Francis *et al.*, 2005). Les émissions de carbone dues aux combustibles fossiles en 2010 ont été de 31.8 mds soit une augmentation de 5,9 % (GCP, 2010). Le biodiesel constitue une alternative au carburant fossile dans le contexte actuel de crise des combustibles fossiles accompagné par un nombre de plus en plus élevé de voitures (Prasad *et al.*, 2000).

La culture de *J. curcas* a entraîné la création des parcs et plantations de l'espèce en Afrique. Les systèmes agroforestiers sont reconnus pour leur rôle de puits de carbone. Par exemple, les parcs à karité au Bénin séquestrent $32,62 \pm 5,91$ t C/ha (Saïdou *et al.*, 2012). En Afrique de l'Ouest la fonction de séquestration de carbone des arbustes de *J. curcas* a reçu beaucoup moins d'attention que son potentiel de production d'huile végétale et du biodiesel. Or, la capacité de séquestration de carbone des ligneux est un déterminant essentiel de la performance globale de réduction des gaz à effet de serre (Bailis & McCarthy, 2011). Dans le reste du monde, l'étude de la séquestration du carbone par *J. curcas* est récente (Firdaus *et al.*, 2010, Hellings *et al.*, 2012 ; Wani *et al.*, 2012). Ainsi, l'évaluation de la contribution de l'occupation des terres dégradées et des terres appauvries pour la culture de *J. curcas* au stockage du carbone atmosphérique est d'une importance capitale pour connaître le potentiel de séquestration de la plante. Le bilan du carbone est élaboré pour engager des réflexions sur la démarche de gestion environnementale vis-à-vis de la problématique liée à la maîtrise de l'énergie et des stratégies à mettre en œuvre pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre (IPCC, 2003). Le stock de C du sol étant fortement dépendant du mode d'usage des terres ou des pratiques culturelles, une modification de ceux-ci peut conduire à des changements importants des stocks de C des horizons de surface des sols, dans le sens d'une diminution ou d'une augmentation (Schuman *et al.*, 2002). A cet effet, il est nécessaire de documenter les modifications apportées aux sols par *J. curcas*.

Pour une estimation fiable du stock de carbone séquestré par l'espèce, l'évaluation dans un premier temps de la teneur en biomasse de la plante par

approche destructive est une étape importante. Ensuite, il est nécessaire de déterminer la fraction de carbone que cette biomasse contient. La quantification de la biomasse sèche de *J. curcas* a été abordée par différents chercheurs notamment Bengé (2006), Reinhardt et al. (2008), Francis *et al.* (2005), Struijs (2008) et Wani *et al.* (2012). Ces auteurs ont utilisé une approche estimative pour déduire la biomasse sèche de la plante, ce qui affecte la précision d'estimation du stock de carbone de l'espèce. Quelques études ont utilisé l'approche destructive des pieds de *J. curcas* mais toutes ont été réalisées en dehors de l'Afrique de l'Ouest. Il s'agit notamment des travaux de Ghezehei *et al.* (2009) en Afrique du Sud (biomasse aérienne de 12 pieds), de Bailis & McCarthy (2011) au Brésil (5 pieds) et en Inde (6 pieds), de Firdaus *et al.* (2010) en Malaisie (3 pieds), de Achten *et al.* (2010) en Inde (Jeunes plants en serre) et de Hellings *et al.* (2012) en Tanzanie (15 pieds). Seules les études de Firdaus *et al.* (2010) et Hellings *et al.* (2012) ont réellement quantifié la biomasse des différents organes (feuille, tige, racine) de la plante, les autres études ont seulement abordé la biomasse aérienne. Par ailleurs, la détermination de la fraction de carbone dans la biomasse de *J. curcas* garantit une bonne estimation du potentiel de stockage de carbone par la plante. Certains auteurs comme Firdaus *et al.* (2010), Hellings *et al.* (2012) et Wani *et al.* (2012) ont utilisé un analyseur de carbone à cette fin ; les autres utilisant souvent un principe de base qui stipule qu'environ 50 % de la biomasse sèche constitue le carbone (Ghezehei *et al.*, 2009 ; Bailis & McCarthy, 2011). Toutefois, des études sont nécessaires pour évaluer la précision de ce principe sur les individus de la plante dans la région Ouest africaine. Ces différents travaux sont nécessaires pour quantifier avec précision le stock de carbone séquestré par les pieds de *J. curcas* de la région Ouest Africaine. Par ailleurs, la connaissance de la teneur des éléments nutritifs dans les organes de *J. curcas* sur différents sols est primordiale puisque la disponibilité de ces éléments est liée aux inputs mais aussi aux caractéristiques intrinsèques (pH, minéralogie, teneur en eau, biologie et microbiologie) du sol. Cette préoccupation de recherche sur la plante a été abordée par Wani *et al.* (2012) mais ces chercheurs n'ont pu mettre en exergue l'impact de l'environnement (climat, sol) sur la teneur en ces éléments par la plante. L'objectif de cette étude est d'estimer la biomasse des différents organes de la plante par la méthode destructive et d'évaluer le stock de carbone et d'éléments nutritifs au niveau des organes de la plante et les caractéristiques physico-chimiques du sol (sol sans *J. curcas* et sol avec *J. curcas*). Ainsi, l'approche analytique a été utilisée au laboratoire en considérant des échantillons de la plante et du sol provenant de différentes zones agroécologiques au regard de la plasticité de la plante. Les hypothèses testées à travers ces objectifs sont : (i) la fraction de carbone dans la biomasse des organes de *J. curcas* échantillonné est de 50 % ; (ii) le stock de carbone séquestré et les stocks d'éléments nutritifs (N, P, K) des

jeunes pieds de *J. curcas* varient suivant l'organe, l'âge et surtout les zones agroécologiques ; (iii) les pieds de *J. curcas* contribuent significativement à l'amélioration des caractéristiques physico-chimiques des sols.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Milieu d'étude

L'étude a été réalisée dans trois zones agroécologiques parmi les huit que compte le Bénin. La classification de ces zones est fondée sur la définition de zones relativement homogènes à l'aide de paramètres agro-pédologiques, aux systèmes de cultures, à la répartition spatiale de la population et à la végétation (PNUD/ECVR, 1995). Les trois zones agroécologiques considérées dans l'étude sont : la zone I, appelée « zone extrême Nord-Bénin »; la zone V, appelée « zone cotonnière du centre » située au Centre du Bénin et la zone VI, appelée « zone de terre de barre située au Sud du Bénin » (Figure 1). La zone I abrite un climat de type Soudano-sahélien à une saison pluvieuse et une saison sèche avec une pluviométrie moyenne inférieure à 900 mm par an. La température dans cette zone varie entre 18 et 38°C. La période culturale est de 120 jours ; les sols sont de type ferrugineux sur grès ou sur socle et des sols alluviaux très fertiles du fleuve Niger. La végétation de cette zone est caractérisée par une savane arbustive à épineux. La zone V abrite un climat de type soudano-guinéen à deux saisons pluvieuses au Sud et une saison pluvieuse au Nord, la pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 1000 et 1200 mm. La température est en moyenne de 27°C ; les sols sont de type ferrugineux sur socle cristallin de caractéristiques très variables. Elle porte une végétation de savane arborée/arbustive à dominance du *Panifia ohieri*. La zone VI abrite un climat de type soudano-guinéen à deux saisons de pluie avec 600 à 1200 mm d'eau par an à l'Ouest et 1000 à 1400 mm d'eau par an à l'Est. La température moyenne annuelle est de 26,5°C. Les sols de cette zone agroécologique sont des terres de barre sur continental terminal, profonds et faciles à travailler mais pour la plupart actuellement dégradés. La végétation de la zone VI est essentiellement anthropique caractérisée par un fourré arbustive dense à dominance de palmier à huile et graminées. Mais il y subsiste quelques reliques forestières par endroits. Les caractéristiques biophysiques et démographiques des trois zones agroécologiques d'étude sont présentées dans le Tableau 1.

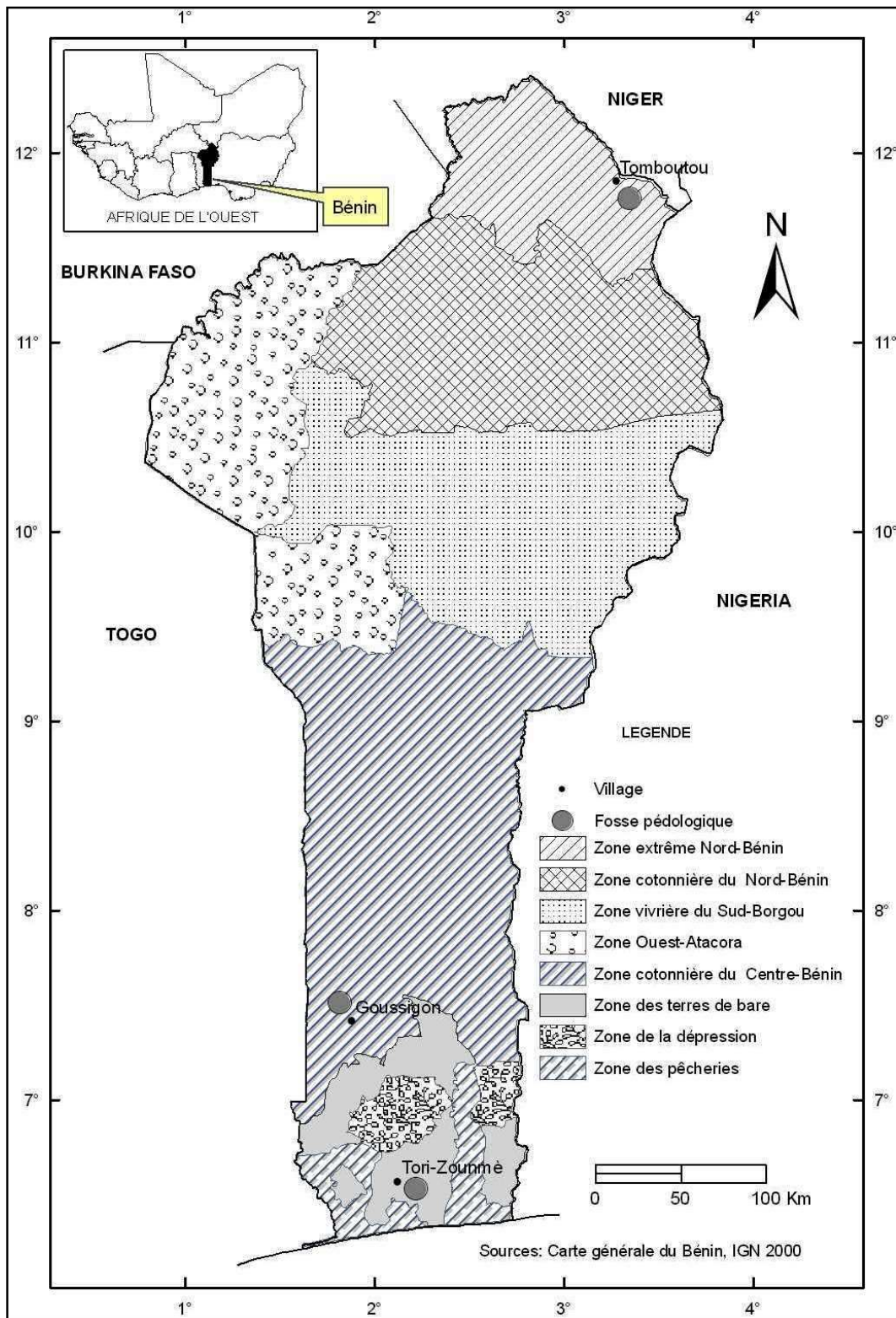


Figure 1. Carte du milieu d'étude présentant les zones agroécologiques et les localités d'étude

Tableau 1. Caractéristiques biophysiques et démographiques des zones agroécologiques d'étude.

	Zones agroécologiques d'étude		
	Zone I (zone extrême nord-Bénin)	Zone V (zone cotonnière du centre-Bénin)	Zone VI (zone de terre de barre du sud-Bénin)
Commune (localité d'étude)	Malanville (Tomboutou)	Djidja (Goussigon)	Tori-bossito (Tori-Zounmè)
Paramètres biophysiques et démographique			
Climat	Soudano-sahélien à une saison des pluies inférieure à 900 mm par an. Température varie entre 18 et 38°C	Soudano-guinéen à deux saisons pluvieuses au sud et une saison pluvieuse au Nord, la pluviométrie est entre 1000 et 1200 mm par an. Température est en moyenne de 27°C	Soudano-guinéen à deux saisons de pluie avec 600 à 1200 mm d'eau par an à l'Ouest et 1000 à 1400 mm d'eau par an à l'Est. Température moyenne annuelle est de 26,5°C
Sol	Ferrugineux sur grès ou sur socles alluviaux très fertiles du fleuve Niger	Ferrugineux sur socle cristallin de caractéristiques très variables	Ferralitiques sur continental terminal, profonds et faciles à travailler mais pour la plupart actuellement dégradés
Végétation	Savane arbustive à épineux	Savane arborée/arbustive à dominance du <i>Panifia ohieri</i>	Essentiellement anthropique ; fourré arbustive dense à dominance de palmier à huile et de graminées. Existence de quelques reliques forestières par endroits
Démographie (Commune d'étude)	168 006 habitants (INSAE, 2013)	123 804 habitants (INSAE, 2013)	57 445 habitants (INSAE, 2013)

Échantillonnage et collecte des données

Dans chaque zone agroécologique considérée suivant les critères de gradient climatique, pédologique et topographique, une commune a été retenue et par commune une localité a été choisie en fonction de l'accessibilité et de la présence effective des plantations ou des haies de *J. curcas* pour abriter l'étude. Ainsi dans la Zone I, la commune de Malanville a été retenue et le village Tomboutou a été choisi ; dans la Zone V, la commune de Djidja a été retenue et le village Goussigon a été choisi et dans la Zone VI, la commune de Tori-Bossito a été retenue et le village Tori-Zounmè a été choisi (Figure 1).

Afin d'évaluer la quantité de carbone séquestrée par *J. curcas* et la quantité des éléments nutritifs majeurs (Azote, Phosphore et Potassium) des pieds de *J.*

curcas, neuf individus de l'espèce ont été choisis à raison de trois individus par zone agroécologique retenue. Le caractère destructif des pieds de *J. curcas* pour l'étude et l'approche analytique au laboratoire des échantillons des organes (feuille, tige, racine) de chaque individu échantillon pour la détermination des taux de carbone, d'azote, de phosphore et de potassium expliquent la petite taille de l'échantillon. Par zone agroécologique, les individus de *J. curcas* choisis ont entre 12 et 36 mois. Les mesures dendrométriques à savoir diamètre au collet, hauteur à la première ramification, hauteur totale et nombre de branches ont été collectées sur chaque pied de *J. curcas* échantillonné, et les coordonnées géographiques ont été enregistrées. Chaque pied de *J. curcas* échantillonné a été sacrifié et les différents organes (feuille, tige, racine) ont été mis en tas et pesés à l'aide d'un peson à ressort de 12 kg. Un échantillon de 1 kg de chaque organe de la plante a été mis en sachet et étiqueté. Au laboratoire, environ 200 g de chaque organe ont été prélevés, découpés et mis ensuite à l'étuve pendant trois jours pour les racines et les tiges et deux jours pour les feuilles à 85°C. Après l'étuvage, les échantillons ont été repesés et les poids secs ont été déterminés. La biomasse sèche totale (BST) de chaque pied échantillonné a été déterminée à partir de la relation :

$$\text{BST (kg)} = \text{BFT (kg)} \times \text{TMS (\%)} \quad (1)$$

BFT (kg) = Biomasse Fraiche Totale ; TMS (%) = Taux de Matière Sèche.

Le taux de carbone dans les organes de *J. curcas* a été déterminé par la méthode de perte au feu (Skalar, 2012). En effet, les échantillons des organes étuvés (feuille, tige, racine) ont été broyés et 1 g a été prélevé et mis dans des creusets en porcelaine dont les poids sont connus à l'avance. Les creusets sont déposés au four pendant douze heures à 550°C et le taux de cendres a été déterminé. En supposant que la matière organique à l'état brut est de 100 %, le taux réel de matière organique (MOréal) dans les organes a été obtenu par la relation :

$$\text{MOréal (\%)} = 100 \% - \text{PC (\%)} \quad (2)$$

MOréal (%) = taux réel de matière organique ; PC (%) = Pourcentage de cendres.

Le taux de carbone a été déterminé par la relation :

$$\% \text{ C} = \frac{\text{MOréal (\%)}}{1,724} \quad (3)$$

Le taux d'Azote (N) a été déterminé par la méthode Kjeldahl (Kjeldahl, 1883), le Phosphore (P) total par la méthode colorimétrique (Bray et Kurtz, 1945) et enfin le Potassium (K) par Spectrophotomètre d'Absorption Atomique (Sahrawat *et al.* 2002 ; Wani *et al.* 2012).

Les quantités de carbone, d'azote, de phosphore et de potassium accumulées par *J. curcas* à l'hectare ont été déterminées à partir de la relation:

$$\text{QEC (t ou kg)} = \text{Qpj (kg)} \times \text{N} \quad (4)$$

QEC (t ou kg) = Quantité Élément Chimique/ha ; N = densité des plants (1111 plants/ha) ; Qpj est la quantité élément chimique par pied de *J. curcas* :

$$\text{Qpj (kg)} = \text{TEC (\%)} \times \text{BST (Kg)}$$

TEC (%) = Teneur en Élément Chimique (%) ; BST est défini dans (1)

Afin d'évaluer l'influence de *J. curcas* sur les caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols, des profils pédologiques ont été réalisés dans chaque zone sélectionnée sous et à 20 m au minimum de chaque pied échantillon de *J. curcas*. Au total dix huit fosses pédologiques ont été réalisées à raison de six fosses pédologiques par zone agroécologique. Chaque fosse pédologique a été géoréférencée, l'une étant réalisée sous un pied de *J. curcas* et l'autre sur sol sans *J. curcas* par zone agroécologique. La distance maximale respectée entre les deux fosses pédologiques par zone agroécologique est de 20 m. Ces profils pédologiques ont été décrits sur le plan morphologique par observation directe et le profil racinaire du *J. curcas* a été apprécié.

Un échantillon de sol de 500 à 600 g a été prélevé dans un sachet étiqueté à chaque horizon du profil pédologique pour la caractérisation physico-chimique du sol. La profondeur des profils varient entre 70 et 100 cm (de la surface au curasse). Les analyses ont été réalisées dans le Laboratoire des Sciences du Sol, Eau et Environnement (LSSEE) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB). Les échantillons de sol ont été séchés à l'air libre et tamisé à 2 mm. Le sol passé au travers du tamis est mis dans un sac en tissu pour la détermination de la granulométrie, du pH, du taux d'Azote (N), du taux de Phosphore (P) et du taux de Potassium (K). La granulométrie a été réalisée par la méthode «pipette» de Robinson (Robinson, 1922), tandis le pH eau a été déterminé par la méthode potentiométrique à partir du rapport sol/solution = 1/2,5 selon les normes Afnor (1981). Le taux de Phosphore (P) assimilable a été déterminé par la méthode colorimétrique (Bray & Kurtz, 1945) et le taux de Potassium (K) est déterminé au Spectrophotomètre d'Absorption Atomique (Sahrawat *et al.* 2002 ; Wani *et al.* 2012). Le taux de carbone des sols a été déterminé par la méthode de Walkley et Black (Nelson et Sommers, 1996 ; Wani *et al.* 2012). En effet, un échantillon de 20 g environ de chaque sol tamisé a été broyé puis tamisé à 0,2 mm et mis en sachet pour la détermination du taux de Carbone (C), de matière organique (MO) et du taux d'Azote (N). La teneur en matière organique (MO) a été obtenue par la détermination du taux de carbone organique par oxydation au K₂Cr₂O₇ en milieu acide H₂SO₄ suivant la méthode de Walkley et Black (Nelson &

Sommers, 1996 ; Wani *et al.* 2012), tandis que la teneur en azote total a été déterminée par la méthode Kjeldahl (Kjeldahl, 1883). Les stocks de matière organique, de carbone, d'azote, de phosphore et de potassium dans le sol à l'hectare ont été déterminés par la relation :

$$\text{SEC (t ou kg)} = \frac{\text{Poids de terre (kg/ha)} \times \text{TEC}}{100} \quad (5)$$

SEC = Stock Élément chimique par ha ;

TEC = Teneur Élément chimique (%) ;

Poids de terre à l'hectare = Volume terre (cm³) × Densité (g/cm³). La densité apparente du sol a été déterminée par prélèvement du sol à l'aide d'un anneau de 100 cm³. Ce sol a été pesé après passage à l'étude jusqu'à constance du poids.

$$\text{Densité (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Poids du sol après étuvage (g)}}{\text{volume de l'anneau de prélèvement (cm}^3\text{)}} \quad (6)$$

Volume terre = Surface à l'hectare (10⁸ cm²) × Epaisseur de l'horizon.

Traitement statistique des données

Le test t à un échantillon a été utilisé pour vérifier si la fraction de carbone dans la biomasse des organes de *J. curcas* échantillonné est de 50 % puisque les données étaient normalement distribuées (test de normalité de Shapiro-Wilk). Une analyse de la covariance à deux facteurs : villages (facteur fixe) ; organes (facteur fixe) et âge (covariable) a été réalisée pour tester les effets de ces facteurs sur le taux de carbone, le taux d'azote, le taux de phosphore et le taux de potassium après vérification de la normalité et l'homogénéité de la variance (Test de Levene) de la série des données des variables. La séparation des moyennes en cas de différence significative a été faite à partir du test de Student-Newman-Keuls pour identifier les groupes homogènes de niveaux des différents facteurs. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec les logiciels R2.15.3 (R Core Team, 2013) et Minitab v16.

Les données obtenues à partir de l'analyse des échantillons des sols au laboratoire, ont été compilées sous forme de tableaux et d'histogrammes afin de comparer l'évolution des stocks des différents éléments physico-chimiques entre les deux systèmes (sol sous *J. curcas* et sol sans *J. curcas*).

RÉSULTATS

Relation allométrique du stock de biomasse sèche en fonction du diamètre des plants de J. curcas.

Le stock total de matière sèche des organes (feuilles, tiges, racines) de *J. curcas* croît en fonction de l'âge. La biomasse souterraine représente en moyenne le tiers de celle aérienne (2,25 kg MS de la partie souterraine contre 6,94 kg MS pour la partie aérienne). La biomasse des feuilles représente en moyenne moins du quart de la biomasse de la tige (1,11 kg MS de la feuille contre 5,82 kg MS pour la tige), tandis que la biomasse souterraine représente en moyenne le quart de la biomasse totale (2,25 kg MS de la partie souterraine contre 9,19 kg MS pour l'arbre entier). Le stock total de biomasse sèche des tiges est plus élevé que celui des racines et des feuilles. La relation allométrique entre le diamètre au collet et la biomasse sèche totale (kg) des pieds de *J. curcas* s'ajuste au mieux à une fonction puissance qui explique 95,7 % des variations de la biomasse sèche totale (Figure 2).

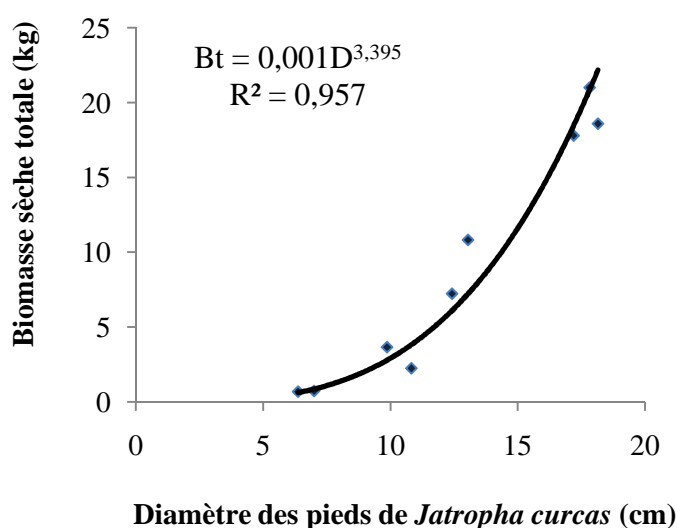


Figure 2. Relation diamètre-biomasse totale (feuille, tige, racine) des pieds de *J. curcas*

Séquestration de carbone par *J. curcas*

La fraction de carbone dans la biomasse des échantillons de feuilles de *J. curcas* n'est pas significativement différente de 50 % ($t = -1,14$; $p = 0,19$). Cette fraction de carbone est par contre significativement différente de 50 % dans la biomasse des échantillons de tige ($t = 14,05$; $p = 0,000$) et de racine ($t = -3,18$; $p = 0,01$). La tige de *J. curcas* séquestre en moyenne un taux plus élevé de carbone (53,28 %) comparativement à la feuille (49,40 %) et à la racine (47,26 %). Ces moyennes diffèrent très significativement entre elles ($P < 0,001$). L'âge (covariable et compris entre 12 et 36 mois) et la zone agroécologique n'influencent pas significativement ($P > 0,05$) le taux de carbone séquestré par *J. curcas*. Les deux facteurs fixes (zones et organes) n'interagissent pas significativement ($P > 0,05$) sur le taux de carbone séquestré par *J. curcas*. De ce fait, l'influence du facteur organe sur le taux de carbone séquestré ne dépend pas de la zone agroécologique.

Le stock de carbone séquestré par *J. curcas* ne varie pas significativement suivant les zones agroécologiques étudiées ($P > 0,05$) mais varie très significativement suivant l'âge et l'organe de la plante ($P < 0,001$). Le stock moyen de carbone (Kg C) accumulé par les organes et l'arbuste entier des jeunes pieds de *J. curcas* indique que la partie aérienne accumule une quantité plus élevée de carbone que la partie souterraine (Tableau 2).

Tableau 2. Stock de carbone séquestré par *J. curcas* suivant l'âge: valeurs moyennes (m) et erreurs-types (se)

Facteurs	1 an		2 ans		3 ans	
	m	Se	m	se	m	se
Organe						
Feuille	0,10	0,24	0,39	0,24	1,13	0,24
Tige	0,30	0,24	2,29	0,24	6,67	0,24
Racine	0,19	0,24	1,03	0,24	1,91	0,24
Arbuste entier	0,59	-	3,71	-	9,71	-
Zone agroécologique						
Zone 1	0,36	0,24	1,86	0,24	3,57	0,24
Zone 2	0,12	0,24	1,25	0,24	3,16	0,24
Zone 3	0,11	0,24	0,61	0,24	2,97	0,24
Stock de carbone des biomasses (kg C.ha⁻¹ ; Plantation de 3 m x 3 m)						
Biomasse aérienne	444,4	-	2977,48	-	8665,8	-
Biomasse souterraine	211,09	-	1144,33	-	2122,01	-
Arbuste entier	655,49	-	4121,81	-	10787,81	-

Zone 1 : Zone extrême Nord-Bénin ; Zone 2 : Zone cotonnière du Centre-Bénin ; Zone 3 : Zone de terre de barre du Sud-Bénin.

Dans une plantation de 3 ans d'âge, le stock de carbone séquestré par la biomasse aérienne de *J. curcas* (8665,80 kg C/ha) est quatre fois celui séquestré par la biomasse souterraine (2122,01 kg C/ha).

Teneur en éléments nutritifs (N, P, K) des pieds de J. curcas

Les taux d'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K) des pieds de *J. curcas* ne varient pas significativement ($P > 0,05$) suivant l'âge (Tableau 3). Les arbustes de *J. curcas* de 1 à 3 ans absorbent en moyenne du sol 5,4 % de potassium, 4,93 % d'azote et 0,73 % de phosphore. La zone agroécologique n'influence pas significativement ($P > 0,05$) le taux d'azote (N), du phosphore (P) des pieds de *J. curcas*. En ce qui concerne le potassium, sa teneur varie significativement ($P < 0,05$) suivant les zones agroécologiques. Les taux d'azote (N) et de potassium (K) des pieds de *J. curcas* varient très significativement ($P < 0,001$) en fonction de l'organe (feuille, tige, racine) de la plante. Ces éléments nutritifs du sol s'accumulent plus dans les feuilles que dans les autres organes (Tableau 4). Les deux facteurs fixes (zone agroécologique et organes) n'interagissent pas significativement ($P > 0,05$) sur le taux des nutriments (N, P, K) des pieds de *J. curcas* (Tableau 3).

Tableau 3. Effets de la zone agro-écologique, des organes et de l'âge sur les taux des éléments nutritifs (N, P, K) des pieds de *J. curcas* : résultats d'analyse de covariance

Facteur	Taux d'azote (N)			Taux de phosphore (P)		Taux de potassium (K)	
	Dd	Seq	F	Seq	F	Seq SS	F
Source	1	SS		SS			
Age	1	0,18	0,30 ns	0,03	2,67 ns	0,69	1,92 ns
Zone agro-écologique	2	0,19	0,94 ns	0,18	2,22 ns	2,49	5,18*
Organe	2	16,39	40,01***	0,14	1,41 ns	9,51	15,80***
Zone agro-écologique*Organe	4	0,15	0,27 ns	0,06	0,44 ns	0,24	0,24 ns

*: différence significative au seuil de 5 % ; **: différence significative au seuil de 1 % ; ***: différence significative au seuil de 0,1 % ; ns = non significative.

Tableau 4. Teneur en éléments nutritifs (N, P, K) par organe de *J. curcas*: valeurs moyennes (m) et erreurs-types (se)

Organe	Azote		Phosphore		Potassium	
	m	se	m	se	M	se
Feuille	2,82a	0,16	0,33a	0,08	2,78a	0,21
Tige	1,20b	0,16	0,14a	0,08	1,62b	0,21
Racine	0,92b	0,16	0,19a	0,08	1,12b	0,21
Zone agroécologique						
Zone 1	1,72a	0,12	0,36a	0,06	2,24a	0,16
Zone 2	1,77a	0,12	0,23a	0,06	1,50b	0,16
Zone 3	1,45a	0,23	0,07a	0,11	1,77b	0,31

Dans la même colonne, les chiffres de différentes lettres sont significativement différents au seuil de 5 % (Test de Newman-Keuls). *: différence significative au seuil de 5 % ; **: différence significative au seuil de 1 % ; ***: différence significative au seuil de 0,1 % ; ns = non significative. Zone 1 : Zone extrême Nord-Bénin ; Zone 2 : Zone cotonnière du Centre-Bénin ; Zone 3 : Zone de terre de barre du Sud-Bénin.

Dans une plantation de trois ans d'âge avec un écartement de 3 m x 3 m, le stock de potassium et d'azote accumulé par hectare dans la biomasse aérienne des pieds de *J. curcas* est respectivement de 130,25 kg/ha et 107,56 kg/ha et représente respectivement plus de cinq fois celui stocké dans la biomasse souterraine (26,99 kg/ha pour le potassium et 22,74 kg/ha pour l'azote). En ce qui concerne le stock de phosphore accumulé dans la biomasse souterraine (5,50 kg/ha), il est la moitié de celui stocké dans la biomasse aérienne (14,04 kg/ha). Dans les plantations de *J. curcas* l'azote (N) et le potassium (K) sont plus accumulés dans le sol que le phosphore (P).

Impact de la culture de J. curcas sur les caractéristiques morphologiques et physico-chimiques des sols.

Les principales caractéristiques physiques des sols (profondeur, densité, texture) des deux systèmes étudiés (sol sans *J. curcas* et sol sous *J. curcas*) ne varient significativement pas d'une zone agro-écologique à une autre (Tableau 5). L'effet des arbustes de *J. curcas* de 1 à 3 ans sur les caractéristiques physiques des sols n'est pas perceptible.

Tableau 5. Profondeur, densité et texture des sols étudiés dans les différents systèmes

Zones agro-écologique	Horizon	Sol sans Jatropha			Sol sous Jatropha		
		Profondeur (cm)	Densité (g/cm ³)	Texture	Profondeur (cm)	Densité (g/cm ³)	Texture
Zone extrême Nord-Bénin (Tomboutou)	A11	0-15	1,38	SL	0-15	1,38	SL
	A12	15-40	1,39	LS	15-40	1,38	LS
	B11	40-75	1,40	LSA	40-80	1,40	LSA
	B12	75-100	1,41	LS	80-100	1,41	LS
Zone cotonnière du Centre-Bénin (Goussigon)	A11	0-7	1,35	SL	0-7	1,35	SL
	A12	7-20	1,38	SL	7-20	1,37	SL
	B11	20-55	1,40	SL	20-55	1,40	SLA
	B12	55-75	1,40	LS	55-70	1,40	LS
Zone de terre de barre du Sud-Bénin (Tori-Zounmè)	A11	0-15	1,35	SL	0-15	1,35	SL
	A12	15-30	1,37	LS	15-30	1,37	LSA
	B21	30-45	1,38	LAS	30-40	1,38	LAS
	B22	45-80	1,40	AS	40-80	1,40	ASL

AS : Argilo-sableux ; ASL : Argilo-sablo-limoneux ; LAS : Limono-argilo-sableux ; LS : Limono-sableux ; LSA : Limono-sablo-argileux ; SL : Sablo-limoneux ; SLA : Sablo-limono-argileux.

Dans les zones cotonnières du Centre-Bénin (zone 2) et de terre de barre du Sud-Bénin (zone 3), les quantités de carbone stockées dans les sols sous *J. curcas* sont plus élevées que celles stockées dans les sols sans *J. curcas*. Dans la zone extrême Nord-Bénin, c'est la tendance inverse qui s'observe. La variation du stock d'azote dans les deux systèmes (sol sans *J. curcas* et sol sous *J. curcas*) suivant les zones agroécologiques suit globalement les mêmes tendances que celle du taux de carbone. Le rapport C/N est inférieur à 10 au niveau des deux premiers horizons des sols des deux systèmes de la zone I (zone extrême Nord-Bénin). Ceci traduit que la vitesse de minéralisation est élevée. Par contre le rapport C/N des sols sous *J. curcas* de 1 à 3 ans des zones V (zone cotonnière du Centre-Bénin) et VI (zone de terre de barre du Sud-Bénin) au niveau du premier horizon varie entre 10 et 13 caractérisant une bonne décomposition de la matière organique du sol. L'influence de *J. curcas* sur la quantité de carbone et d'azote stockée dans le sol dépendrait du type de sol, c'est-à-dire de son niveau de fertilité. Les stocks de phosphore et de potassium sont plus élevés dans les sols sous *J. curcas* de 1 à 3 ans que ceux

sans *J. curcas* dans toutes les trois zones agroécologiques étudiées (Figure 3). *J. curcas* semble avoir un effet positif sur le stock de phosphore et du potassium du sol. L'espèce rend moins acide le sol au niveau du premier horizon dans les trois zones étudiées. Cette tendance s'observe au niveau des autres horizons des sols de la zone extrême Nord-Bénin et de la zone cotonnière du Centre-Bénin. Dans la zone de terre de barre du Sud-Bénin à partir du deuxième horizon les sols sous *J. curcas* de 1 à 3 ans ont leur pH plus acide que ceux sans *J. curcas*. La culture du *J. curcas* semble modifier les caractéristiques physico-chimiques des sols dans le sens d'une augmentation ou d'une diminution en fonction du sol et du climat.

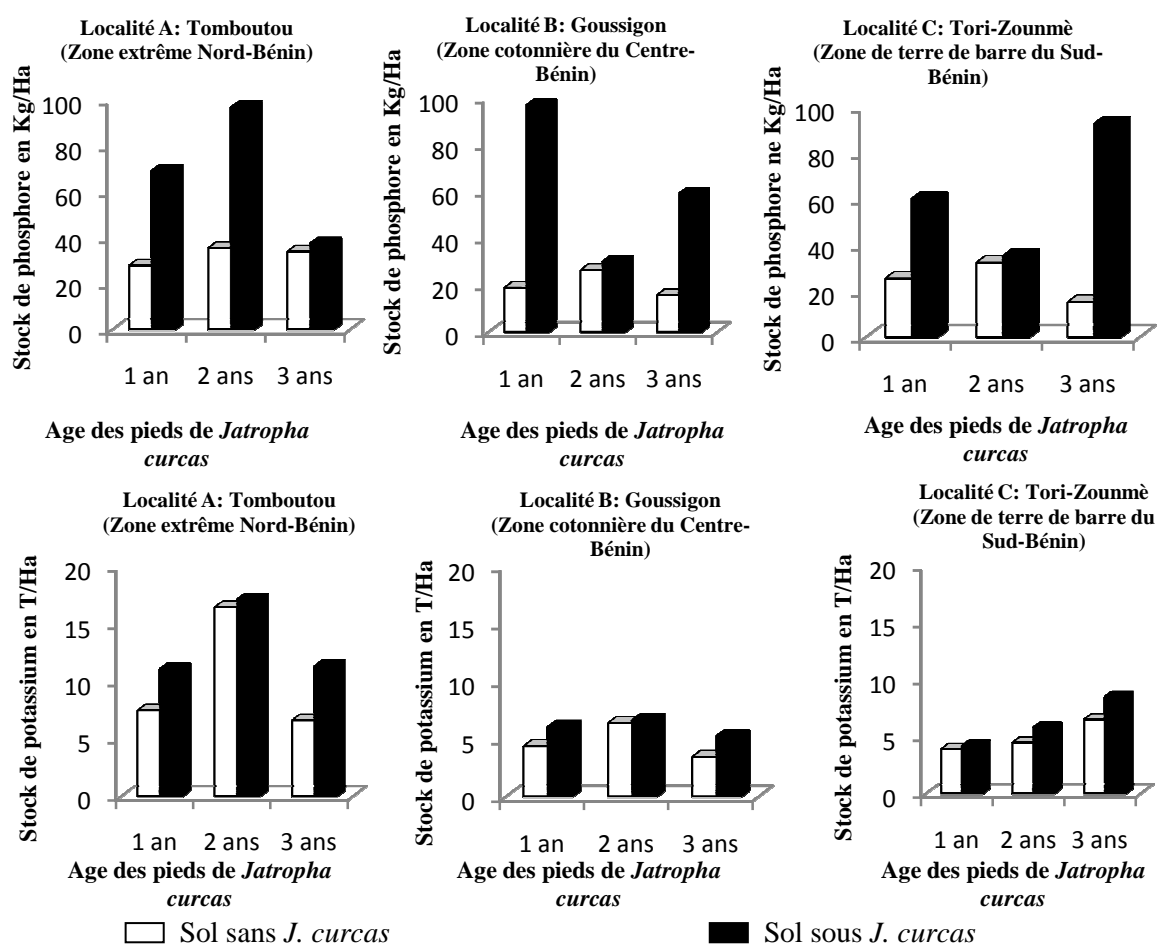


Figure 3. Stock (t/ha) de phosphore et de potassium dans les sols sous ou sans *J. curcas* (Profondeur : de la surface au curasse entre 70 et 100 cm)

DISCUSSION

Estimation allométrique de la biomasse totale des pieds de J. curcas

La biomasse totale des plants de *J. curcas* (feuilles, tiges et racines) croît suivant l'âge. Toutefois, la biomasse aérienne (feuille et tige) augmente plus

rapidement que celle souterraine (racine). Toute chose étant égale par ailleurs, la biomasse totale des plants de *J. curcas* de même âge dans différentes régions devrait varier à cause des conditions climatiques et édaphiques différentes. Dans la présente étude, la différence non significative observée de la biomasse totale des plants de *J. curcas* de même âge suivant les trois zones agroécologiques du Bénin peut s'expliquer par une meilleure adaptation de l'espèce dans ces différentes zones, l'effet de l'âge étant déjà pris en compte dans l'analyse. L'estimation de la relation entre la biomasse sèche totale et le diamètre au collet des pieds de *J. curcas* a été aussi faite par plusieurs auteurs. La synthèse des principaux résultats de ces études révèle que pour de faibles diamètres, la variation entre les équations reste relativement faible. Mais pour des diamètres plus élevés, elle devient plus importante. La relation allométrique trouvée dans la présente étude est proche de celle trouvée par Ghezehei *et al.* (2010). La variation obtenue en comparant les valeurs de la biomasse totale suivant les diamètres peut être due aux différents organes considérés pour exprimer la biomasse totale.

Séquestration de carbone et teneur des éléments nutritifs des pieds de J. curcas

Le stock de carbone séquestré par *J. curcas* augmente suivant l'âge de la plante. Cette augmentation du stock de carbone séquestré est liée à l'augmentation de la biomasse sèche totale de la plante suivant l'âge. Le taux de carbone séquestré par les différents organes de *J. curcas* diffère d'un organe à un autre et reste plus élevé au niveau des tiges. De même, le taux moyen de carbone séquestré par la partie aérienne est supérieur à celui de la partie souterraine. Ces résultats obtenus diffèrent de ceux obtenus par Firdaus (2010) qui trouve un taux moyen de carbone relativement semblable entre les deux parties. Les différences observées entre les études peuvent s'expliquer par les caractéristiques environnementales différentes des zones d'études.

L'augmentation du stock de carbone séquestré par les feuilles de *J. curcas* entre l'âge de un an et trois ans obtenue dans la présente étude est près de trois fois celle obtenue par Wani *et al.* (2012). La quantité de carbone séquestrée par le pied de un an de *J. curcas* trouvée dans cette étude (655,49 kg C.ha⁻¹) est inférieure à celle trouvée par Ndong *et al.* (2009) (750 kg C.ha⁻¹) et à celle de Reinhardt (2007) (900 kg C.ha⁻¹). Les différences observées entre les études s'expliquent par les conditions climatiques et édaphiques différentes des zones d'étude.

Les stocks d'azote et de potassium accumulés dans les feuilles de *J. curcas* sont moins élevés que ceux trouvés par Wani *et al.* (2012) et Garg *et al.* (2011) alors que ceux du phosphore sont plutôt plus élevés. Ces différentes variations sont dues aux niveaux de fertilité non similaires.

Influence de J. curcas sur les stocks de carbone et des éléments nutritifs du sol

Sur les sols ferrallitiques remaniés (zone de terre de barre du Sud-Bénin) et les sols ferrugineux tropicaux (zone cotonnière du Centre-Bénin), les stocks de carbone et d'azote sont plus élevés dans les sols sous *Jatropha* que ceux sans *Jatropha* tandis qu'une tendance inverse s'observe sur les sols bruns ferrugineux (zone extrême Nord-Bénin). En effet, le taux de carbone dans un sol dépend des inputs (litière) et des processus de minéralisation, à moins que le sol soit totalement nu pendant longtemps. Ce taux n'est jamais négligeable et est dépendant du site. Les résultats obtenus sont donc mitigés et peuvent être expliqués par l'historique du couvert végétal sur les sites mais aussi par les types de sols. D'autres auteurs notamment Sanou (2010) ont noté les mêmes tendances de variabilité de l'effet de *J. curcas* suivant le type de sol au Burkina-Faso. L'effet des plantations de 3 ans est généralement plus perceptible au niveau du premier horizon des sols. Cela s'explique par le fait que le carbone du premier horizon est naturellement plus récent que le carbone du deuxième horizon que celui du troisième horizon.

L'influence de *J. curcas* sur l'activité biologique du sol est appréciée à partir du rapport C/N. Il représente l'indicateur principal de la vitesse de minéralisation de la matière organique des sols. Les résultats montrent que l'activité biologique dans les sols est légèrement influencée par *J. curcas*.

Le phosphore joue un rôle très important chez les végétaux car il contrôle les échanges d'énergie, favorise la croissance, la reproduction, etc. Dans la présente étude, *J. curcas* a une influence positive sur la teneur et la quantité de phosphore des sols des trois zones agro-écologiques étudiées. Ces résultats suivent également les mêmes tendances que ceux trouvés par Sanou (2010) qui a remarqué une variabilité dans les teneurs en phosphore du sol d'un système à un autre (sol sous *J. curcas* et sol sans *J. curcas*). En ce qui concerne le potassium, élément indispensable à la synthèse chlorophyllienne, la tendance observée est similaire à celle obtenue au niveau du phosphore. Les travaux de Sanou (2010) ont montré que les sols sont légèrement acides dans la zone d'influence de *J. curcas* contrairement aux sols hors influence de la plante. Ces résultats sont en accord avec ceux de la présente étude où il est remarqué que *J. curcas* rend le sol moins acide.

Globalement, les résultats ont montré que les jeunes pieds de *J. curcas* (1 à 3 ans) semblent améliorer la fertilité des sols de la zone de terre de barre et de la zone cotonnière du Centre-Bénin. Par contre, cet effet fertilisant des pieds de *J. curcas* (1 à 3 ans) n'est pas perceptible sur le sol de la zone extrême Nord-Bénin. Cette variation des résultats est certainement liée à une facilité de composition de la litière de *J. curcas* sur les sols de la zone de terre de barre et de la zone cotonnière du Centre-Bénin rendant disponible au sol du carbone

et des éléments nutritifs contrairement au sol de la zone extrême Nord-Bénin. Ces sols semblent rendre moins récalcitrante la litière de *J. curcas*. Par ailleurs, l'âge des arbustes (1 à 3 ans) considéré dans cette étude ne permet pas de tirer des conclusions convaincantes sur l'impact du *J. curcas* sur le sol. En effet, entre 1 et 3 ans, la biomasse aérienne produite par la plante n'est pas importante pour impacter significativement le sol. Avec des plants de *J. curcas* d'âges plus élevés, la biomasse produite est plus importante et la minéralisation de cette biomasse peut entraîner significativement une fertilisation du sol. De plus, la formation du C dans le sol est un processus qui demande du temps pour décomposer la litière. Pour une plantation de 3 ans ; il est difficile de démontrer que le C du sol dosé y provient. C'est plausible pour le C récent du sol (Particules Organique du carbone non lié à l'argile) mais pas pour tout le C entier du sol qui comprend la fraction humique ancienne.

Cependant, il n'existe aucune information sur le génotype des individus de *J. curcas* utilisés dans les différentes zones agroécologiques visitées. Cette manque d'information est une limite aux différentes conclusions tirées dans cette étude et les études similaires (Sanou, 2010 ; Wani *et al.* 2012). L'hypothèse d'une influence du génome des individus de *J. curcas* sur la séquestration minérale et du carbone de *J. curcas* sous différents types de sol au Bénin et sur l'activité biologique des sols en présence reste une question de recherche non encore élucidée par les travaux antérieurs et aussi par la présente étude. Cette question reste donc ouverte pour les activités de recherche futures sur *J. curcas*.

Implication agronomique des résultats

Les résultats ont montré que *J. curcas* est une plante qui produit une quantité non négligeable de biomasse et de ce fait fixe et stocke une importante quantité de carbone atmosphérique tout en restituant une grande partie au sol. En effet, la restitution du carbone au sol sert le double objectif de réduire la concentration de CO₂ dans l'atmosphère et l'augmentation du carbone organique du sol qui joue un rôle crucial dans l'amélioration de la qualité du sol et la disponibilité des éléments nutritifs (Srinivasarao *et al.* 2009 ; Wani *et al.* 2012). *J. curcas* peut être cultivé sur les sols pauvres comme un moyen d'amélioration de la qualité du sol et de réduction du carbone atmosphérique.

Les travaux ont montré que *J. curcas* absorbe du sol les éléments nutritifs et les accumule dans les organes aériens notamment les feuilles. Pour une gestion durable des agrosystèmes à *J. curcas*, il est donc nécessaire de faire une restitution totale de la biomasse aérienne de la plante au sol pour le maintien de sa fertilité.

Les arbustes de *J. curcas* influencent légèrement l'activité biologique du sol au niveau du premier horizon des sols ferrallitiques remaniés et des sols ferrugineux tropicaux. Par contre, c'est un effet contraire qui s'observe sur les sols bruns ferrugineux. Pour éviter l'effet de compétition entre *J. curcas* et les cultures associées sur les sols bruns ferrugineux, il serait souhaitable de cultiver *J. curcas* à très faible densité.

CONCLUSION

Les résultats obtenus de cette étude ont montré que *J. curcas* fixe et stocke une quantité importante du carbone atmosphérique. La tige de *J. curcas* est l'organe qui accumule en moyenne le taux le plus élevé de carbone tandis que la feuille est l'organe qui stocke les plus fortes quantités des principaux éléments nutritifs à savoir le phosphore, l'azote et le potassium. Le phosphore est l'élément nutritif le moins disponible dans les pieds de *J. curcas* parmi les trois étudiés. L'effet des arbustes de *J. curcas* de 1 à 3 ans sur la morphologie du sol n'est pas perceptible. L'effet de la culture du *J. curcas* sur les caractéristiques chimiques du sol dépend du type de sol et du climat (Zone agroécologique).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHTEN W.M.J., MAES W.H., REUBENS B., MATHIJS, E., SINGH V.P., VERCHOT L. & MUYS B. 2010. Biomass production and allocation in *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. *Biomass and Bioenergy* 34(5): 667-676.
- AFNOR. 1981. Recueil de normes françaises de chimie : analyse, normes fondamentales. Association française de normalisation (AFNOR). 1 :1-546.
- ASSOGBADJO A.E., AMADJI G., GLÈLÈ KAKAÏ R.L., MAMA A., SINSIN B. & VAN DAMME P. 2009. Evaluation écologique et ethnobotanique de *Jatropha curcas* L. au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 3(5): 1065-1077.
- BAILIS R. & MC CARTHY H. 2011. Carbon impacts of direct land use change in semiarid woodlands converted to biofuel plantations in India and Brazil. *GCB Bioenergy*. doi: 10.1111/j.1757-1707.2011.01100.x.
- BENGE M. 2006. Assessment of the potential of *Jatropha curcas* (biodiesel tree), for energy production and other uses in developing countries. Available online at: <http://www.ascension-publishing.com/BIZ/jatropha.pdf>
- BRAY R.H. & KURTZ L.T. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59 : 39-45.
- BROU Y.T., AKINDÈS F. & BIGOT S. 2005. La variabilité climatique en Côte d'Ivoire : entre perceptions sociales et réponses agricoles. *Cahier Agriculture* 14: 533-540.
- FIRDAUS M.S., HANIF A.H.M., SAFIEE A.S. & ISMAIL M.R. 2010. Carbon sequestration potential in soil and biomass of *Jatropha curcas*. In: Paper Presented in 19th World Congress

of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane. Australia, 1-6 August 2010: 62–65.

- FRANCIS G., EDINGER, R. & BECKER K. 2005. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspective of *Jatropha* plantations. *Natural Resources Forum*. 29 :12-24.
- GARG K.K., KARLBERG L., WANI S.P. & BERNDES G. 2011. *Jatropha* production on waste-lands in India: opportunities and trade-offs for soil and water management at the watershed scale. *Biofuel. Bioprod. Biorefin.* 5: 410–430.
- GHEZEHEI S.B., ANNANDALE J.G. & EVERSON C.S. 2009. Shoot allometry of *Jatropha curcas*. *Southern Forests*. 71(4): 279-286.
- GLOBAL CARBON PROJECT (GCP). 2010. www.globalcarbonatlas.org. Consulté le 20.02.2013.
- HELLINGS F. B., HENNY A. R. & YWE J.F. 2012. Carbon storage in *Jatropha curcas* tree in Northern Tanzania. *FACT*. 1-25.
- INSAE. 2013. Résultats provisoires du RGPH4. Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique, Cotonou, Bénin, 8 p. www.insae-bj.org.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry (LULUCF). Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.
- KJELDAHL J. 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern, *Z. Anal. Chem.* 22 : 366-382.
- MBAYE A. 2011. Culture du *Jatropha* au Sénégal : Entre logiques de promoteurs et scepticisme des paysans. *Recueil des résumés de l'atelier final du programme RIPIECSA*. 1-10.
- NDONG R., MONTREJAUD-VIGNOLES M., SAINT GIRONS O., GABRIELLE B., PIROT R., DOMERGUE M. & SABLAYROLLES C. 2009. Life cycle assessment of biofuels from *Jatropha curcas* in West Africa: a field study. *Global Change Biology Bioenergy*. 1 (3) : 197-210.
- NELSON D.W. & SOMMERS L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical Methods. *Soil Science Society of America Book Series* No. 5. SSSA and ASA, Madison, WI. 961–1010.
- PNUD/ECVR. 1995. Carte des zones agroécologiques du Bénin.
- PRASAD C.M.V., KRISHNA M.V.S. M., REDDY C. P. & MOHAN K.R. 2000. Performance evaluation of non-edible vegetable oils as substitute fuels in low heat rejection diesel engines. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D, *Journal of automobile engineering*. 214(2): 181-187.
- R Development Core Team, 2013. R : A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL. <http://www.R-project.org>.
- REINHARDT G., GÄRTNER S., RETTENMAIER N., MÜNCH J. & VON FALKENSTEIN E. 2008. Basic data for *Jatropha* production and use. Mimeo, Institute for Energy and Environmental Research, Heidelberg.
- ROBINSON G.W. 1922. A new method for the mechanical analysis of soils and other dispersions. *J. Agric. Sci.* 12 : 287-291.
- SAHRAWAT K.L., RAVI KUMAR G. & MURTHY K.V.S. 2002. Sulfuric acid-selenium digestion for multi-element analysis in a single digest. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33 : 3757–3765.

- SAÏDOU A., DOSSA A. F. E. P., GNANGLE C., BALOGOUN I. & AHO N. 2012. Evaluation du stock de carbone dans les systèmes agroforestiers à karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) et à néré (*Parkia biglobosa* Jacq. G. Don) en zone Soudanienne du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB), Numéro spécial Agriculture & Forêt – Novembre 2012*. 1-9.
- SANOU F. 2010. Productivité de *Jatropha curcas* et impact de la plante sur les propriétés chimiques du sol : Cas de Bagré (Centre-Est du Burkina-Faso). 1-72.
- SCHUMAN G.E., JANZEN H.H. & HERRICK J.E. 2002. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. *Environmental Pollution*. 116, 391-396.
- SKALAR. 2012. The PRIMACS SLC TOC Analyzer, Available at: [http://www.anatek-co.com/PICs/download file1 20110401102039.pdf](http://www.anatek-co.com/PICs/download_file1_20110401102039.pdf).
- SRINIVASARAO C.H., VITTAL K.P.R., VENKATESWARLU B., WANI S.P., SAHRAWAT K.L., MARIMUTHU S. & KUNDU S. 2009. Carbon stocks in different soil types under diverse rainfed production systems in tropical India. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 40 (15/16) : 2338–2356.
- STRUIJS J. 2008. Shinda Shinda: Options for sustainable bioenergy; a *Jatropha* case study. RIVM report 607034001/2008, Bilthoven.
- WANI S.P., GIRISH C., SAHRAWAT K.L., SRINIVASARAO CH., RAGHVENDRA G., SUSANNA P. & PAVANI M. 2012. Carbon sequestration and land rehabilitation through *Jatropha curcas* (L.) plantation in degraded lands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 161: 112-120.